

Julian Haupt

# **Optimierungspotential in der Intralogistik durch künstliche Intelligenz (KI) in mittelständischen Produktionsunternehmen**

## **MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

Studium: Masterstudium Betriebswirtschaft

Alpen-Adria-Universität Klagenfurt

### **Mitbetreuer**

Postdoc-Ass. DDipl.-Ing. Dr. Christian Truden, BSc  
Alpen-Adria-Universität Klagenfurt  
Institut für Produktions-, Energie- und Umweltmanagement

### **Gutachterin**

Univ.-Prof. Mag. Dr. Margaretha Gansterer  
Alpen-Adria-Universität Klagenfurt  
Institut für Produktions-, Energie- und Umweltmanagement

Klagenfurt, Mai 2024

## Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere an Eides statt, dass ich

- die eingereichte wissenschaftliche Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe,
- die während des Arbeitsvorganges von dritter Seite erfahrene Unterstützung, einschließlich signifikanter Betreuungshinweise, vollständig offengelegt habe,
- die Inhalte, die ich aus Werken Dritter oder eigenen Werken wortwörtlich oder sinngemäß übernommen habe, in geeigneter Form gekennzeichnet und den Ursprung der Information durch möglichst exakte Quellenangaben (z. B. in Fußnoten) ersichtlich gemacht habe,
- den Einsatz von generativen Modellen (Künstliche Intelligenz wie z. B. ChatGPT, Grammarly Go, Midjourney) vollständig und wahrheitsgetreu inkl. Produktversion ausgewiesen habe,
- die eingereichte wissenschaftliche Arbeit bisher weder im Inland noch im Ausland einer Prüfungsbehörde vorgelegt habe und
- bei der Weitergabe jedes Exemplars (z. B. in ausgedruckter oder digitaler Form) der wissenschaftlichen Arbeit sicherstelle, dass diese mit der eingereichten digitalen Version übereinstimmt.

Ich bin mir bewusst, dass eine tatsächenswidrige Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

*Julian Haupt e. h.*

*Klagenfurt, Mai 2024*

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

## **Abstract**

This master's thesis deals with the question of the extent to which intralogistics processes in medium-sized production companies can be optimised.

To this end, possibilities for improvements in the processes and through the use of artificial intelligence (AI) are presented. For the empirical part of the thesis, five medium-sized production companies were selected to analyse their intralogistics processes. With the help of a semi-structured interview guide, the processes were analysed together with the respective managers in order to obtain a holistic understanding of the processes. In the course of this, the companies were categorised according to a level of the maturity model for Industry 4.0. This was followed by the development of recommendations for action to optimise processes. These should serve to achieve a higher level of maturity in the future.

The results show that artificial intelligence can be used in many areas of intralogistics, but that many companies do not yet have the necessary data basis. Fundamental digitalisation measures should therefore be taken to improve processes.

## **Zusammenfassung**

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit der Frage, inwiefern sich Intralogistikprozesse in mittelständischen Produktionsunternehmen optimieren lassen.

Dazu werden Möglichkeiten für Verbesserungen in den Prozessen sowie durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI) vorgestellt. Für den empirischen Teil der Arbeit wurden fünf mittelständische Produktionsunternehmen ausgewählt, um deren Intralogistikprozesse zu untersuchen. Mithilfe eines semi-strukturierten Interviewleitfadens wurden die Prozesse gemeinsam mit den jeweiligen Verantwortlichen analysiert, um ein ganzheitliches Prozessverständnis zu erhalten. Im Zuge dessen wurden die Unternehmen einer Stufe des Reifegradmodells für die Industrie 4.0 eingeordnet. Es folgte die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen, um Prozesse zu optimieren. Diese sollen dazu dienen, in Zukunft einen höheren Reifegrad zu erreichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass künstliche Intelligenz in vielen Bereichen der Intralogistik eingesetzt werden kann, jedoch bei vielen Unternehmen noch nicht die notwendige Datengrundlage vorhanden ist. Es sollten daher grundlegende Digitalisierungsmaßnahmen ergriffen werden, um Prozesse zu verbessern.

## **Inhaltsverzeichnis**

Eidesstattliche Erklärung.....	II
Abstract .....	III
Zusammenfassung .....	IV
Abbildungsverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis .....	VIII
1. Einleitung .....	1
1.1. Problemstellung.....	1
1.2. Gang der Arbeit.....	2
2. Intralogistik .....	3
2.1. Begriffsdefinition und Bedeutung der Intralogistik .....	3
2.2. Outsourcing oder Insourcing?.....	5
2.3. Anforderungen und Transportmittel in der Intralogistik .....	6
2.4. Ressourcenplanung und Produktivität .....	8
2.5. Materialfluss.....	8
2.6. Informationsfluss.....	10
2.7. Informationssysteme im Logistikbereich.....	11
2.8. Wareneingang.....	13
2.9. Kommissionierung .....	16
2.10. Lagerhaltung .....	22
2.11. Warenausgang .....	30
2.12. Lean Management in der Intralogistik.....	32
2.13. Intralogistik in mittelständischen Unternehmen .....	38
3. Integration und Einfluss von künstlicher Intelligenz in der Industrie 4.0.....	40
3.1. Grundlagen der künstlichen Intelligenz.....	40
3.2. Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch künstliche Intelligenz.....	42

3.3.	Industrie 4.0 .....	44
3.4.	Reifegradmodell: Industrie 4.0 Maturity Index .....	49
3.5.	Faktor Mensch in der Industrie 4.0.....	53
3.6.	Datenverarbeitung .....	62
4.	Künstliche Intelligenz in der Intralogistik.....	65
4.1.	Herausforderungen bei der Implementierung von künstlicher Intelligenz .....	65
4.2.	Unterstützung von KI in der Intralogistik.....	67
4.3.	Smart Warehouse .....	68
4.4.	Predictive Logistics .....	73
5.	Empirische Untersuchung – Unternehmensanalyse .....	75
5.1.	Datenerhebung - Analyse von mittelständischen Produktionsunternehmen .....	75
5.2.	Ergebnisse: Status Quo .....	77
5.3.	Ergebnisse: Einsatz von künstlicher Intelligenz.....	79
5.4.	Ergebnisse: Zukünftige Handlungsfelder .....	80
6.	Schlussfolgerung.....	92
7.	Literaturverzeichnis.....	96
8.	Anhang 1: Infoblatt für Prozessanalyse vor Ort .....	102
9.	Anhang 2: Interviewleitfaden.....	103

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Automated Guided Vehicle (AGV)(SSI SCHAEFER, 2024) .....	7
Abbildung 2: Förderband Wareneingang (Richards, 2018) .....	14
Abbildung 3: Barcodes zwei- und dreidimensional (Richards, 2018).....	16
Abbildung 4: Head-up-Display für Kommissionierung (Guo et al., 2014) .....	19
Abbildung 5: Automatisiertes Kleinteilelager (AKL) (Viastore, 2024) .....	24
Abbildung 6: Vertikales Liftmodul (Richards, 2018).....	29
Abbildung 7: 5S-Konzept im Lager (Günther, 2021).....	33
Abbildung 8: Verlauf industrieller Revolutionen, Eigene Darstellung in Anlehnung an (Alenizi et al., 2023).....	45
Abbildung 9: Industrie 4.0 Maturity Index (Schuh et al., 2020) .....	49
Abbildung 10: Anwendung von Industrie 4.0 Technologien am Arbeitsplatz (eigene Darstellung) .....	61
Abbildung 11: Koordination mehrerer AMRs (Fragapane et al., 2021).....	71
Abbildung 12: Übersicht untersuchte Unternehmen (eigene Darstellung).....	75
Abbildung 13: Einordnung der Unternehmen in das Reifegradmodell. Eigene Darstellung in Anlehnung an (Schuh et al., 2020) .....	91

## **Abkürzungsverzeichnis**

Augmented Reality – AR

Automated Guided Vehicle – AGV

Automatisches Kleinteilelager – AKL

Autonome Mobile Roboter – AMR

Computerized Numerical Control – CNC

Computer Aided Design – CAD

Cyber-physische Systeme – CPS

Enterprise Resource Planning – ERP

First In First Out – FIFO

Informationstechnologie – IT

Internet of Things – IoT

Kleine und mittlere Unternehmen – KMU

Künstliche Intelligenz – KI

Lastkraftwagen – LKW

Manufacturing Execution System – MES

Optical Character Recognition – OCR

Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung – OECD

Radio Frequency Identification – RFID

Return on Investment – ROI

Vertikales Liftmodul – VLM

Virtual Reality – VR

Warehouse Management System – WMS

Wireless Local Area Network – WLAN



# 1. Einleitung

## 1.1. Problemstellung

In produzierenden Unternehmen spielt die Intralogistik eine entscheidende Rolle und beeinflusst maßgeblich Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit – insbesondere vor dem Hintergrund, dass Prognosen immer schwieriger werden, die Vielfalt der Waren zunimmt, häufiger und in kleineren Mengen bestellt wird und die Lieferzeit immer weiter verkürzt werden soll (Hompele & Schmidt, 2008). Dabei besteht in Bezug auf Intralogistikprozesse erhebliches Optimierungspotential, welches durch den gezielten Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI) erschlossen werden könnte (Olewe et al., 2023). Allein in Österreich gab es 2021 rund 358.600 Klein- und Mittelunternehmen (KMUs), was einen Anteil von 99,6 Prozent der gesamten Unternehmenslandschaft in Österreich entspricht und die Wichtigkeit der Betrachtung dieser Unternehmensgröße betont (Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort [BMDW], 2022).

Die vielen neuen Technologien wie Internet-of-Things (IoT), KI, Automatisierungstechniken und Robotik optimieren die Intralogistik und führen durch zeitnahe Entscheidungen zu einer Kostenreduktion. Durch IoT-Geräte ist eine Echtzeiterfassung und Echtzeitdatenübertragung möglich, welche durch dynamische Entscheidungen unterstützt werden kann. Ferner werden auch immer mehr autonome Handhabungssysteme, wie mobile Roboter oder Shuttle-Systeme, entwickelt, welche mit Menschen interagieren können (Koster et al., 2021).

In Deutschland befinden sich jedoch erst circa fünf Prozent der Unternehmen auf dem ersten Reifegradniveau für künstliche Intelligenz und haben begonnen, dieses Potential entlang der Wertschöpfungskette zu nutzen. Für Österreich können ähnliche Zahlen vermutet werden. Die Forschung in diesem Bereich ist noch jung, weshalb sich erst wenige Studien mit den Anwendungsfeldern von künstlicher Intelligenz in der Intralogistik beschäftigt haben (Olewe et al., 2023).

2021 wurde mit einem Aufruf von Koster et al. (2021) im ‚Production and Operations Management Journal‘ zur Einreichung von Beiträgen im Bereich des Managements von autonomen und IoT-gesteuerten Intralogistik-Betrieben die Relevanz von fortschreitender Technologie in diesem Bereich aufgezeigt.

Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, Optimierungspotential in der Intralogistik von kleinen und mittelgroßen Produktionsunternehmen – insbesondere durch künstliche Intelligenz – herauszuarbeiten. Dabei werden vor allem Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit und das künftige Potential durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz beleuchtet.

Die zugrundeliegende Forschungsfrage lautet demnach: *Inwieweit kann der Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Optimierung der Intralogistik in mittelständischen Produktionsunternehmen beitragen?* Sie wird mithilfe einer Literaturrecherche sowie der empirischen Untersuchung von Intralogistikprozessen in fünf mittelständischen Produktionsunternehmen in Österreich beantwortet.

## **1.2. Gang der Arbeit**

Zunächst wird der aktuelle Stand der Forschung im Bereich der Intralogistik für produzierende Unternehmen aufgezeigt. Dabei werden wichtige Aspekte wie der Material- und Informationsfluss vorgestellt sowie Werkzeuge und Prozesse in der Intralogistik beleuchtet. Vor allem die Themen Wareneingang, Kommissionierung, Lagerhaltung und Warenausgang werden hierbei in den Vordergrund gerückt. Das Lean Management dient als Grundlage für Optimierungen sowie den Einsatz von künstlicher Intelligenz und wird daher im Folgenden ausführlich behandelt. Abschließend wird die Intralogistik speziell in mittelständischen Produktionsunternehmen fokussiert.

Daran anschließend folgen die theoretischen Grundlagen für KI. Dabei wird vor allem die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und das zukünftige Potential durch künstliche Intelligenz hervorgehoben. Anschließend steht der aktuelle Zeithorizont durch die Industrie 4.0 im Fokus, welcher die Grundlage für das Industrie-4.0-Reifegradmodell ist. Der Faktor ‚Mensch‘ rückt in der Industrie 4.0 immer wieder in den Mittelpunkt, weshalb er auch im Rahmen dieser Masterarbeit behandelt wird. Daran anschließend werden die Grundlagen für künstliche Intelligenz und die dafür benötigte Datenverarbeitung thematisiert.

Kapitel 4 zeigt Einsatzmöglichkeiten von künstlicher Intelligenz in der Intralogistik auf, darunter Lageroptimierung, Smart Warehouse oder Predictive Logistics.

Im empirischen Teil dieser Masterarbeit werden fünf Unternehmen anhand von Prozessanalysen vor Ort untersucht und in den *Industrie 4.0 Maturity Index* eingeordnet. Anschließend werden mögliche Handlungsfelder dieser Unternehmen erarbeitet, um das Optimierungspotential in den Intralogistikprozessen zu verdeutlichen. Zudem sollen mögliche Einsatzfelder von künstlicher Intelligenz in der Intralogistik dieser Unternehmen aufgezeigt werden.

## **2. Intralogistik**

Die Intralogistik vereint mehrere Aspekte wie Materialfluss, Informatik und Betriebswirtschaft. Durch deren Einbeziehung in Kombination mit der Produktvielfalt von Unternehmen steigt die Komplexität und stellt hohe Anforderungen im Bereich der Standortgestaltung, des Prozessmanagements und der operativen Steuerung des Betriebs. Dabei ist der Begriff von der Transportlogistik zu unterscheiden, denn die Intralogistik konzentriert sich auf die Prozesse und Kosten am Standort (Arnold et al., 2007).

In diesem Kapitel erfolgt zunächst eine Erklärung, was unter ‚Intralogistik‘ zu verstehen ist und welche Bedeutung sie für produzierende Unternehmen hat. Anschließend werden die Aspekte Materialfluss, Informationsfluss, Informationssysteme, Wareneingang und Kommissionierung beleuchtet, bevor auf den Bereich Lagerhaltung, Warenausgang und Lean Management eingegangen wird.

### **2.1. Begriffsdefinition und Bedeutung der Intralogistik**

*„Intralogistik ist der Begriff für eine zukunftsweisende Branche. Diese Branche repräsentiert sämtliche Anbieter von Hebezeugen, Förder- und Lagertechnik, Logistik-Software, Dienstleistungen und Komplettsystemen. Die ‚Intralogistik‘ umfasst die Organisation, Steuerung, Durchführung und Optimierung des innerbetrieblichen Materialflusses, der Informationsströme sowie des Warenumschlags in Industrie, Handel und öffentlichen Einrichtungen.“ (Arnold et al., 2007)*

Unter dem Begriff ‚Intralogistik‘ können alle Material- und Warenflüsse an einem Standort zusammengefasst werden. Dabei soll der betriebsinterne Materialfluss organisiert, gesteuert, durchgeführt und optimiert werden, wofür auch die dazugehörigen Informationsflüsse benötigt werden. Des Weiteren braucht es Hilfsmittel und Beförderungstechniken, um die Waren einzulagern und intern zu transportieren (Muchna et al., 2018).

„Intralogistik“ als Begrifflichkeit wurde im deutschsprachigen Raum erstmals 2003 verwendet und bald darauf flächendeckend verwendet. Das, was darunter zu verstehen ist, hat jedoch eine weitaus längere Geschichte: Historisch seit jeher eng mit dem Militär verbunden, gewann die Intralogistik insbesondere nach dem zweiten Weltkrieg an Bedeutung für die Wirtschaft. Dabei fokussierte sich die Logistik in den 1950er Jahren eher auf einzelne Disziplinen wie das Fördern, Heben und Lagern sowie das Transportieren von Waren und Gütern. Erst 1962 gab es einen großen Schritt in Richtung Intralogistik, indem bei Bertelsmann das erste automatische Hochregallager implementiert wurde. Im Laufe der Jahre entwickelte sich die Intralogistik zu einer wichtigen Schlüsseldisziplin für Unternehmen, insbesondere vor dem Hintergrund von Globalisierung und Wettbewerbsdruck (Arnold et al., 2007).

Die Logistik im Allgemeinen gewinnt in Produktionsunternehmen immer mehr an Bedeutung, da die Produktvielfalt größer und die Fertigungstiefe geringer wird. Dadurch muss aber auch die Verfügbarkeit der verschiedenen Produkte stets gewährleistet sein. Vor diesem Hintergrund versuchen Unternehmen, kostenoptimiert zu arbeiten, um den gestiegenen Kundenanforderungen gerecht zu werden. Die Intralogistik ist eine sogenannte „Querschnittstechnologie“, da sie viele Teilprodukte und Branchen umfasst, und somit Interdisziplinarität erfordert. Um eine gemeinsame Lösung in der Intralogistik zu finden, müssen Experten aus verschiedenen Fachgebieten zusammenarbeiten. Für die Intralogistik-Branche gibt es diverse Anlagen, Einzelkomponenten sowie Komplett- und Teilsysteme inklusive der dazugehörigen Software und Dienstleistungen, um die Förder- und Lagertechnik in Unternehmen zu verbessern. Wesentlich ist ferner die passende Logistiksoftware, welche eine industrielle Kommunikation und Systemintegration gewährleistet (Arnold et al., 2007).

Die wesentlichsten Kostentreiber in der Intralogistik sind die Kommissionierung, die Um- und Verpackung sowie der Versand an den Kunden (Richards, 2018). Im Bereich des gesamten Supply Chain Managements ist die Intralogistik ein zentrales Element und hat Einfluss auf das Personal, die Infrastruktur am Standort sowie die Bestände. Ferner müssen Faktoren wie der Automatisierungsgrad, die Flexibilität und die Komplexität der Prozesse berücksichtigt werden. Gerade wenn ein hoher Automatisierungsgrad vorliegt, ist die Informationstechnologie und Software ein kritischer und kostenintensiver Teil. Durch die Intralogistik kann in den verschiedensten Branchen Potential für Kostensenkungen entstehen, wodurch sich eine Differenzierungsmöglichkeit ergibt (Arnold et al., 2007).

Durch eine effiziente Intralogistik und die Optimierung von Prozessen können Durchlaufzeiten gesenkt und der Kundenservice verbessert werden. Auch in Bezug auf den Kommissionierprozess können technische Unterstützungen die Effizienz und zusätzlich die Qualität der Produkte steigern, da sich dadurch Fehler im Prozess minimieren lassen. Neue Anlagen und Fördertechniken müssen robust und zuverlässig sein und der gesamte Prozess sollte transparent gestaltet werden, damit eine Überwachung und Nachverfolgbarkeit im Prozess gewährleistet werden kann (Arnold et al., 2007).

## **2.2. Outsourcing oder Insourcing?**

Verschiedene Risikoaspekte und die steigende Komplexität in Intralogistikprozessen sollten bei der Einführung von neuen Anlagen und IT-Systeme mitbedacht werden. Wenn Produktions- und Logistikstandorte zentralisiert werden, kann dies zu einer größeren Abhängigkeit und Ausfallrisiken führen. Um dieses Risiko zu minimieren, etablieren Unternehmen mehrere Standorte wie zum Beispiel im Konsumgüterhandel. In Bezug auf die IT-Systeme können ebenfalls Ausfälle auftreten, welche zu enormen Schäden führen, da moderne Lager ohne einen reibungslosen Informationsfluss nicht mehr arbeiten können. Das lässt erkennen, dass gute Intralogistikprozesse einen Ausgleich zwischen Effizienz und Flexibilität erfordern, was auch mit einer hohen Anforderung an das Personal und die Organisation einhergeht. Je höher der Automatisierungsgrad ist, desto wichtiger wird das Personal, um die Waren- und Datenströme zu koordinieren (Arnold et al., 2007).

Um die verschiedenen Einflussfaktoren in der Intralogistik ganzheitlich zu betrachten, kann eine Prozesskostenrechnung bei der Entscheidungsfindung zwischen dem technisch Machbaren und dem wirtschaftlich Sinnvollen helfen. Diese stellt gleichzeitig eine fundierte Grundlage für Outsourcing-Entscheidungen dar (Arnold et al., 2007).

Outsourcing kann in der Intralogistik in verschiedenen Bereichen durchgeführt werden, wie der operativen Abwicklung, dem Transport, in Bezug auf Gebäudeflächen oder der Vorverpackung von Materialien. An dieser Stelle ist jedoch festzuhalten, dass der Trend in der Intralogistik eher zum ‚Insourcing‘ geht, da damit eine gewisse Prozesssicherheit gewährleistet ist und Kundennähe präferiert wird. Durch Insourcing werden Prozess entweder erstmalig oder erneut vom Unternehmen selbst durchgeführt. (Arnold et al., 2007).

Beim Outsourcing in der Intralogistik arbeiten Unternehmen mit Zulieferern zusammen. Dadurch kann die Leistung und Effizienz im Unternehmen gesteigert werden, was wiederum zu Kostenvorteilen führt. Die Verantwortlichen sollten aber gründlich überlegen, welche Kompetenzen und Aufgaben ausgelagert werden sollen. Es gibt gute Gründe, kein Outsourcing in der Logistik zu betreiben, insbesondere wenn die Kernkompetenzen in diesem Bereich liegen oder die Logistik essenziell für das Unternehmen ist. Soll jedoch auf Outsourcing gesetzt werden, können die Investitionsausgaben im Bereich der Logistik gesenkt werden und in einem anderen Bereich eingesetzt werden. Richards (2018) weist diesbezüglich darauf hin, dass die Lagerhaltung im Unternehmen oftmals sehr wichtig für den Kundenservice ist und Outsourcing nur dann in Erwägung gezogen werden sollte, wenn das Fachwissen und Management-Know-how in diesem Bereich nicht vorhanden sowie der Zeitaufwand in der Logistik zu hoch ist.

### **2.3. Anforderungen und Transportmittel in der Intralogistik**

Der Prozess der Intralogistik bringt, wie vorhin erwähnt, viele verschiedene Anforderungen mit sich. Zum einen sind die komplexen Anlieferungen im Auge zu behalten, wenn das Unternehmen lokal, international und über Verbundlieferungen Teile erhält. Zum anderen muss durch die unterschiedlichen Transport- und Anlieferzeiten eine genaue Programmplanung und Liefervorschau vorhanden sein. Für die Anlieferungen sollte ein Versorgungsnetz anhand der lokalen Gegebenheiten aufgebaut werden, welches sich an der Infrastruktur und den Spediteuren ausrichtet. Die Verfügbarkeit von nationalen und internationalen Lieferanten sollte zudem bei der Standortwahl berücksichtigt werden (Arnold et al., 2007).

Um die Komplexität der Anlieferung in die Intralogistik einzubinden, sollte sich der grundsätzliche *Aufbau und das Layout der Intralogistik* individuell an das Unternehmen ausrichten und bereits an aktuelle und zukünftige Anforderungen angepasst sein. Im Bereich des Layouts ist es wichtig, die Bereiche Wareneingang, Lagerung, Kommissionierung und Versand zu definieren. In Bezug auf den Raumbedarf hängt dieser von der Anzahl der Ladungen ab, wie viele Palettenplätze benötigt werden, ob im Schichtbetrieb gefertigt wird und daher ein höherer Lagerumschlag prognostiziert wird. Sollte der Platz in der Lagerhalle zu wenig werden, kann das Gebäude möglicherweise erweitert oder zusätzliche Gebäude angemietet werden. Falls dies nicht möglich ist, kann versucht werden, die vorhandene Fläche zu optimieren, indem Bestand reduziert, konsolidiert oder das Lagermedium geändert wird. Im Notfall kann auch auf Lagercontainer ausgewichen werden, wobei hier ein erhöhtes Sicherheits- und Wasserschadenrisiko in Kauf zu nehmen ist (Richards, 2018).

Welches *Transportmittel* in der Intralogistik das ideale ist, hängt vom jeweiligen Unternehmen und den Lagerarten ab. Zudem können gewisse Hindernisse im Lagerbereich zu einem begrenzten Einsatz von Transportmitteln führen. Für den internen Transport können zum Beispiel manuelle oder motorbetriebene Palettenhubwägen oder fahrerlose Transportsysteme wie Automated Guided Vehicles (AGV) eingesetzt werden, wie sie in *Abbildung 1* zu sehen sind. Fahrerlose Transportsysteme haben den Vorteil, die Produktivität zu steigern, Fehlerraten aufgrund der Automatisierung zu reduzieren und aus ergonomischer Sicht die optimale Beladungshöhe aufzuweisen (Richards, 2018). Bei Transportmitteln haben bestehende Konzepte in Unternehmen oftmals eine geringe Flexibilität und sind in den Transportanforderungen nicht sehr dynamisch. Das Ziel ist es, flexible, autonome und kollaborative Transportmittel in der Intralogistik einzusetzen (Scholz et al., 2018).

Die Anzahl der Transportfahrzeuge in der Intralogistik hängt stark vom Transportbedarf ab. Beispielsweise fokussiert sich die Forschung in den vergangenen Jahren immer mehr auf Automated Guided Vehicles (AGVs), welche relativ klein sind und sich auch sehr gut an veränderte Organisationsstrukturen anpassen lassen (siehe *Abbildung 1*). Die Herausforderung der Zukunft ist es nämlich, das veränderliche Konsumverhalten der Kunden und den Einfluss der Technologie immer weiter in die Produktion und Intralogistik einzubinden (Scholz et al., 2018). Der Einsatz von fahrerlosen Transportsystem wird detailliert in Kapitel 4.3 ‚Smart Warehouse‘ beschrieben.



*Abbildung 1: Automated Guided Vehicle (AGV)(SSI SCHAEFER, 2024)*

## **2.4. Ressourcenplanung und Produktivität**

Vor allem für die Ressourcenplanung mit dem Fokus auf Arbeitskräfte und Ausrüstung gibt es einige Faktoren, die im Intralogistik-Bereich beachtet werden sollten: Unzureichende oder übermäßige Ressourcen beeinflussen die Effizienz oder das Finanzergebnis des Unternehmens. Durch die Messung der benötigten Zeit, beispielsweise für die Einlagerung einer Palette in Minuten, kann eine grobe Schätzung über die benötigten Ressourcen gegeben und eine Berechnung anhand der hinterlegten Werte durchgeführt werden. Als möglicher Indikator für die Auslastung im Lager kann die Produktivitätsrate herangezogen werden. Diese lässt sich über mehrere Wege ermitteln: Zum einen können anhand von historischen Unternehmensdaten die mögliche Änderung der Produktivität berechnet werden. Zum anderen ist es möglich, Studien als Vergleich und Richtwert heranzuziehen, um einen Anhaltspunkt für das eigene Unternehmen zu erhalten. Eine genaue Bestimmung erweist sich in der Praxis aber als schwierig, da es von vielen variierenden Faktoren abhängt. In der Produktivitätskennzahl sollten jedenfalls auch Parameter wie die Pausenzeit, Ausrüstungsabholungen und benötigte Schulungen miteinbezogen werden (Richards, 2018).

Um mögliche Engpässe in den Prozessen zu identifizieren, empfehlen sich Simulationen. Diese können auch herangezogen werden, um mögliche Auslastungsunterschiede an Tagen oder in einer Saison vorherzusagen und die Ressourcen dementsprechend anzupassen (Richards, 2018).

Um die Ressourcenplanung ordnungsgemäß durchzuführen, ist es wichtig, die Anforderungen an die Organisation in der Intralogistik klar darzustellen. Der Prozess sollte gut dokumentiert sein und definiert die Struktur. Es sollte eine zentral verantwortliche Stelle für Änderungen im Prozess und technische Stücklisten geben. Zudem ist es empfehlenswert, eine zentrale Programmplanung zu verwenden, die auch die jeweils benötigten Kapazitäten abgleichen und steuern kann (Arnold et al., 2007). Von besonderer Bedeutung für die Werksplanung ist der Materialfluss, da dessen Koordination immer komplexer wird (Pawellek, 2014).

## **2.5. Materialfluss**

Um einen kontinuierlichen Materialfluss zu gewährleisten, sollten der Bedarf, die Kapazität und die Materialien vollständig synchronisiert sein. Oftmals verhindert eine gewisse Variabilität in den Prozessen die vollständige Synchronisierung. Diese kann durch eine veränderte Nachfrage, ein verändertes Angebot oder die Änderung vorhandener Kapazitäten entstehen (Land et al., 2021). Zudem sind für einen kontinuierlichen Materialfluss stabile



Prozesse notwendig und bilden die Grundlage für dauerhaft gute Ergebnisse (Keil, 2012). Um nicht synchronisierte Eingänge in Prozessen zu steuern, sollten Puffer eingesetzt werden (Land et al., 2021).

Die Leistungsziele im Bereich des Materialflusses können variieren. Dabei können sich Unternehmen entweder auf die Verkürzung der Durchlaufzeiten bis zum Kunden oder auf die interne Bestandsreduktion konzentrieren (Land et al., 2021). Ein optimierter Materialfluss beinhaltet eine hohe Lieferbereitschaft des Unternehmens bei geringen Transportkosten und hoher Flexibilität. Vor allem Produktionsunternehmen können dadurch eine geringe Kapitalbindung erzielen. Logistikstrategien sollten auch in Bezug auf die Materialflüsse zwischen Zulieferern und dem Bedarfsort analysiert werden. Traditionell haben Unternehmen die Produktion aus einem zentralen Lager mit den benötigten Materialien versorgt. Eine Optimierung des Materialflusses kann beispielsweise durch die Positionierung des Lagerplatzes in die Nähe des Bedarfsortes geschehen, wobei nicht alle Teile zentral gelagert werden (Pawellek, 2014).

Um die benötigten Bestände in Puffer- oder Zentrallager zu analysieren, sollten die gesamten Produktionsprozesse sowie alle Beobachtungen der Bestände im System visualisiert werden. Anschließend ist es wichtig, die Bestände in Sicherheits-Zyklus und saisonale Bestände zu unterteilen. Auf diese Weise kann die Ursache eines Bestands ermittelt und anschließend seine Notwendigkeit abteilungsübergreifend definiert werden. Das Diagnosemodell von Land et al. (2021) bietet eine Serie von Fragen, welche die Grundursache von Beständen in verschiedenen Produktionsumgebungen ermittelt. Es kommt jedoch auf das Geschäftsmodell des Unternehmens und die Komplexität der Produkte an, wie viel Bestand sinnvoll beziehungsweise inwieweit ein optimaler Materialfluss möglich ist. Durch intelligente Produkte können Flusstörungen selbst diagnostiziert werden, ohne den gesamten Produktionsprozess zu analysieren (Land et al., 2021). Für die weitere Optimierung des Materialflusses werden Informationen benötigt, welche im nächsten Kapitel näher erläutert werden.

## 2.6. Informationsfluss

Für den Informationsfluss ist es wesentlich, Informationen zwischen allen Beteiligten im Logistikprozess weiterzugeben. Ein Ausbau der Vernetzung über alle Ebenen der Intralogistik hinweg ist erforderlich, um Prozesse zu optimieren. Gerade im Bereich der Bedarfs- und Bestandsinformationen können durch eine frühzeitige Nutzung dieser Informationen die Bestände und weitere Folgekosten im Prozess gesenkt werden (Arnold et al., 2007).

Von Relevanz ist es, eine elektronische Verbindung zu den Zulieferern und Kunden zu haben. Dadurch können Informationen besser ausgetauscht und verarbeitet sowie die Verfügbarkeit von Informationen erhöht werden. Yao und Zhu (2012) untersuchten, ob elektronische Verbindungen einen Einfluss auf den Bullwhip-Effekt haben. Dieser zeichnet sich durch eine Verstärkung der Nachfrageschwankung in der gesamten Lieferkette eines Unternehmens aus und führt deshalb zu Ineffizienzen, was sich wiederum in suboptimalen Prozessen widerspiegelt (Yao & Zhu, 2012). Durch den Bullwhip-Effekt können bereits geringe Änderungen des Bedarfs beim Endverbraucher zu starken Schwankungen im Absatzbereich führen. Durch zunehmende Entfernung vom Verbraucherort kann der Bullwhip-Effekt verstärkt werden (Gudehus, 2011). Zu folgendem Ergebnis kamen die Forscher: Der Einsatz von elektronischen Verbindungen zu Lieferanten reduziert die Differenz zwischen dem Lagerbestand und der Nachfrage, während im Vergleich dazu elektronische Verbindungen auf der Kundenseite überraschend zu einer Erhöhung der Differenz führt. Auf Kundenseite kommt es zu Erhöhungen, da Kunden einen besseren Zugang zu mehreren Lieferanten und Produkten erhalten, was zu größeren Unsicherheiten führt. Zudem können elektronische Verbindungen zu niedrigeren Transaktionskosten auf der Lieferantenseite führen, da Koordinations- und Überwachungsaufgaben reduziert und dadurch Kosten gesenkt werden. Weiters kann durch diese Verbindungen auch die Marktreichweite erhöht werden, wodurch zusätzliche Lieferanten leichter auffindbar sind und sich dadurch überhöhte Bestellungen bei einem Lieferanten reduzieren lassen (Yao & Zhu, 2012).

Arnold et al. (2007) weisen darauf hin, dass in Bezug auf die IT-Architektur und den damit verbundenen Informationsfluss mehr darauf zu achten ist, dass die Geschäftsziele dadurch unterstützt werden als auf die technischen Kriterien. Die IT-Architektur kann aufgrund von vier Ebenen bewertet werden: Zum einen ist es die *Effektivität*, welche die Wertschöpfungsfunktion möglichst ohne Redundanzen abbilden soll. Zweitens die *Effizienz*, bei der bewertet werden soll, ob die abgebildete Funktionalität wirklich wirtschaftlich ist. Drittens die *Flexibilität*, bei

der die Architektur schnell auf neue oder sich ändernde Anforderungen reagieren kann. Und viertens die *Komplexität* der Architektur und ob diese in Bezug auf Kosten und Nachhaltigkeit gut handhabbar ist. In Bezug auf die Komplexität kann diese oft zu einer verminderten Flexibilität und höheren Kosten im Zeitverlauf führen, da bei einer hohen Komplexität viele Schnittstellen, Bedienoberflächen und unterschiedliche Technologien vorhanden sind (Arnold et al., 2007). Der beschriebene Informationsfluss bietet die Grundlage für das nächste Kapitel, in dem die Informationssysteme im Logistikbereich behandelt werden.

## **2.7. Informationssysteme im Logistikbereich**

Automatisierung und IT-Systeme sind in der Intralogistik entscheidend, vor allem wenn es um die Steuerung und Kontrolle von Anlagen und Maschinen geht. Es kann zwischen drei Ebenen der Informationsverarbeitung in Intralogistiksystemen unterschieden werden. Zum einen ist es die *Controls-Ebene*, die für eine prozessnahe Steuerung verantwortlich ist. Die zweite Ebene ist das *ERP-System*, welches für die betriebswirtschaftliche Unterstützung der Prozesse verantwortlich ist. Schließlich betrifft die dritte Ebene das *Manufacturing Execution System (MES)*, welches die technische und betriebswirtschaftliche Ebene verbindet. Der Unterschied zwischen ERP-Systemen und MES-Systeme liegt darin, dass ERP-Systeme die Prozesse rund um Finanzen, Personal, Materialwirtschaft und Vertrieb unterstützen, während das MES-System die technischen Prozesse kontrolliert und steuert. Im Normalfall wird in Unternehmen nur ein ERP-System durchgängig eingesetzt, im Vergleich zu einem MES-System, bei dem viele verschiedene Ebenen wie Lagerverwaltung oder Fertigungsleitstand möglich sind. Das Problem bei vielen Systemen im Bereich der Intralogistik ist, dass sie oftmals nur begrenzt erweiterbar und relativ unflexibel gegenüber neuen Anforderungen sind, wobei sie zusätzlich oftmals besonders kostenintensiv in Wartung und Betrieb sind (Arnold et al., 2007).

Im Bereich der Informationssysteme ist vor allem ein Lagerverwaltungssystem von Vorteil, da damit die Lagerproduktivität erhöht werden kann und die Auslastung optimiert wird, was wiederum die Kosten senkt und die Kundenzufriedenheit steigen lässt. Kunden fordern immer öfters einen schnellen und zuverlässigen Datenaustausch in Echtzeit. Für eine moderne Intralogistik sind traditionelle papierbasierte Systeme und Tabellenkalkulationen unzureichend. Das Lagerverwaltungssystem sollte stattdessen als Teil des ERP-Systems eingesetzt werden, wodurch viele Funktionen wie Automatisierungen oder Radio Frequency Identification (RFID)-Technologie unterstützt werden (Richards, 2018). Durch RFID-Technologie kann eine Sendungsverfolgung (tracking) und die Dokumentation der Sendungsherkunft (tracing)

erfolgen. Beispielsweise kann RFID auch für die Objektkennzeichnung und Positionsbestimmung, beispielsweise durch die Kennzeichnung von Boxen, in der gesamten Lieferkette eingesetzt werden (Gudehus, 2011). Durch ein Lagerverwaltungssystem können die Bestände in Echtzeit überblickt und nachverfolgt werden, wodurch Fehlbestände reduziert werden und ein automatischer Nachschub der Materialien erfolgt. Durch dieses System lassen sich auch detaillierte Berichte erstellen, was das Arbeiten mit Stift und Papier obsolet macht. Allerdings muss jedes Unternehmen individuell prüfen, welche Anforderungen es an das System stellt und diese mit der Unternehmensstrategie abgleichen. Für viele Unternehmen kann es herausfordernd sein, das Management von der Notwendigkeit eines Lagermanagementsystems zu überzeugen, da die Integration ins bestehende ERP-System oftmals Schwierigkeiten mit sich bringt (Richards, 2018).

Um das passende Lagerverwaltungssystem für das Unternehmen zu finden, empfiehlt es sich, ein Projektteam zu bilden, welches für die Entscheidung über Anforderungen und Funktionen des Systems verantwortlich ist. In diesem Projektteam sollten Mitarbeiter des Unternehmens vertreten sein, die umfangreiche Betriebserfahrung mitbringen und die Anforderungen des Unternehmens an das System verstehen (Richards, 2018). Es ist ferner ratsam, ein Lastenheft für das Lagerverwaltungssystem zu erstellen, welches die für das spezielle Lager benötigten Funktionen beinhaltet, damit keine sinnlosen oder überflüssigen Funktionen in das System integriert werden (Gudehus, 2011). Vor allem sollten zukünftige Wachstumspläne in die Anforderungen des Systems miteinfließen, um die Vorteile des Systems auch in Zukunft zu nutzen. Zudem sollte es fähig sein, Schnittstellen zu anderen Systemen im Unternehmen, wie dem ERP-System, bereitzustellen. Die Zugänglichkeit des Systems aus der Ferne über das Internet und die Benutzerfreundlichkeit der Bedienung sind weitere Aspekte, die bei der Auswahl zu bedenken sind (Richards, 2018).

Auch für die Produktivsetzung einer Software sollten einige Punkte beachtet werden. Zum einen ist der geeignete Zeitpunkt für die Systemeinführung wichtig. Dieser ist in eher umsatzschwachen Zeiten. Zudem sollte in Zusammenarbeit mit dem Softwareanbieter ein realistischer Implementierungsplan erstellt werden, welcher auch eingehalten werden kann (Richards, 2018). In der Regel wird der Zeitaufwand für die Implementierung von Softwareprogrammen unterschätzt, da Anpassungen der Software an das jeweilige Unternehmen durchgeführt werden müssen, welche das Tagesgeschäft beeinträchtigen können (Gudehus, 2011). Des Weiteren sollten alle Mitarbeiter aus dem Projektteam in der

Implementierungsphase verfügbar sein und es sollten bereits Schulungen für alle anderen Mitarbeitenden geplant werden. Bis das neue System vollständig einsatzbereit ist, empfiehlt es sich, das bestehende System parallel am Laufen zu halten (Richards, 2018).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass IT-Systeme in der Intralogistik vor allem bei der Steuerung und Kontrolle von Anlagen und Maschinen, sowie für den gesamten Betrieb eines Produktionsunternehmens eine große Rolle spielen. Trotzdem sind IT-Systeme oftmals sehr unflexibel gegenüber neuen Anforderungen und zudem oftmals kostenintensiv in der Wartung und Betreuung. Die Wahl der geeigneten Implementierungsstrategie sollte sorgfältig gewählt werden und kann nur durch ein gutes Projektteam ordnungsgemäß gewährleistet werden.

## **2.8. Wareneingang**

Der Wareneingang beinhaltet das Entladen, die Bestandsaktualisierung und die Prüfung der Lieferung auf Abweichungen (Koster et al., 2007). In vielen Unternehmen erfolgt der Wareneingang vormittags, um Platz für den Versand am Nachmittag oder Abend freizuhalten. Dabei kann auch ein Zweischichtbetrieb als sinnvoll erachtet werden, denn damit wird die Gesamtbelastung über den Tag verteilt (Richards, 2018).

Im Wareneingangsprozess gibt es mehrere Faktoren, welche für einen reibungslosen Ablauf beachtet werden sollten. Grundsätzlich ist eine Zusammenarbeit mit dem Lieferanten für eine Optimierung im Wareneingangsprozess essenziell (Richards, 2018). Es sollte das richtige Produkt, in der richtigen Qualität, zum richtigen Zeitpunkt, in der richtigen Menge, zu den richtigen Kosten, am richtigen Ort zur Verfügung stehen (Bichler et al., 2010). Probleme, die bei einer Anlieferung entstehen könnten, sollten bereits davor gelöst werden. Manche Probleme sind zu lösen, indem Anforderungen an die Ware direkt mit dem Lieferanten geklärt werden. Dabei können beispielsweise die Verpackung, die Anzahl pro Verpackung sowie die Etikettierung und die Transportart bereits vorab geklärt werden. Ideal wäre es, wenn die Etikettierung klar zu sehen ist und an den unternehmensinternen Standards ausgerichtet ist. Zudem sollten die Lageranforderungen an das Material bereits beim Lieferanten vorhanden sein. Bei Handelsware kann darauf geachtet werden, dass bereits in der Versandverpackung bestellt wird und die Bestellmengen sich an die Verkaufseinheiten anpassen, damit der Lagerprozess vereinfacht wird (Richards, 2018).

Wenn nicht ausreichend Platz im Wareneingangsbereich vorhanden beziehungsweise dieser schlecht organisiert ist, kann dies zu erheblichen Funktionsstörungen und Engpässen im Prozess führen (Gudehus, 2011). In Bezug auf den Platzbedarf am Wareneingang sollte geprüft werden, ob eine Palettierung oder eine lose Anlieferung der Ware vorteilhafter ist. Falls die Palettierung bevorzugt wird, ist zu prüfen, welche Größen die jeweiligen Paletten haben, um die Lagerregale dementsprechend anzupassen. In Summe sollte immer abgewogen werden, ob die internen Lagerkosten oder die Anpassung beim Lieferanten Mehrkosten verursachen (Richards, 2018).

Eine große Herausforderung im Wareneingang sind die benötigten Arbeitsstunden, da im gesamten Lagerbereich die Personalkosten circa 50 bis 60 Prozent der Gesamtkosten ausmachen. Dabei sollte vor allem im Entladevorgang effizient gearbeitet werden. Beispielsweise kann dieser Vorgang durch Gabelhubwagen und automatische Entladesysteme automatisiert werden. Hierbei ergibt sich jedoch ein Problem mit lose beladenen Anlieferungen, da sie sehr zeitaufwendig sind und möglicherweise sogar eine Palettierung am Wareneingang erfordern. In diesem Fall kann eine Verbesserung der Sortierung durch ein externes Förderband, wie in Abbildung 2 ersichtlich, erreicht werden (Richards, 2018).



*Abbildung 2: Förderband Wareneingang (Richards, 2018)*

Anschließend ist vor der Einlagerung zu überprüfen, ob die Ware einer Qualitätskontrolle unterzogen werden muss. Diese ist insbesondere bei hochwertigen Artikeln notwendig, wie beispielsweise bei Lebensmitteln, Gefahrgütern oder empfindlichen Produkten (Richards, 2018). In Organisationen kann eine effiziente Qualitätssicherung aufgebaut werden, indem Qualitätsmängel aufgrund von Abweichungen der Qualitätsstandards systematisch erfasst und dokumentiert werden (Gudehus, 2011). Für die Qualitätskontrolle sollte ein eigener Bereich in der Nähe des Wareneingangs definiert werden, um einen effizienten Einlagerungsprozess zu gewährleisten. Sollten Produkte im Zuge der Qualitätskontrolle fehlerhaft sein, empfiehlt es sich, diese in einen dafür gekennzeichneten Lagerbereich zu bringen, damit sie nicht in der Produktion weiterverwendet werden. Im Idealfall gehen die Waren direkt ins Lager, wobei bei Bedarf auch eine Stichprobenkontrolle durchgeführt werden kann. Sollten Abweichungen auftreten, werden diese beim Lieferanten reklamiert und in Rechnung gestellt, um Druck auf den Lieferanten in Bezug auf die Liefergenauigkeit auszuüben. Für die Überprüfung der Waren werden oftmals Lieferscheine herangezogen, wobei immer der Kompromiss zwischen dem Zeitaufwand der Überprüfung und der Verzögerung bis zur Verfügbarkeit des Produkts beachtet werden sollte. Hierbei können Technologien wie Barcode-Scanner oder RFID den Prozess effizienter und genauer gestalten. Durch RFID-Technologie können Unternehmen beispielsweise das markierte Produkt in Echtzeit am Wareneingang erkennen und zählen (Richards, 2018).

In Bezug auf Barcode-Scanner lassen sich viele Daten am Wareneingang erfassen. Hierbei können Standarddaten wie die Produktnummer, die Beschreibung und die Menge des Produkts sowie zusätzliche Daten, darunter die Chargen- oder Losnummer und die Seriennummer, erfasst werden. In *Abbildung 3* ist links ein Barcode und rechts ein QR-Code ersichtlich, mit deren Hilfe via Scanner Informationen ausgelesen werden können. Ein Lagermanagementsystem könnte hierbei systemseitig bei der Einlagerung von Produkten unterstützen. Es weist Lagerorte basierend auf Kriterien wie Größe, Gewicht und Lagerumschlagshäufigkeit zu. Dabei kann auch hinterlegt werden, ob für Produkte feste oder willkürliche Standorte ausgewählt werden, was wiederum Auswirkungen auf die Lagerauslastung und die Kommissionierung hat. Zudem sollte die Platzierung von Produkten aufgrund von spezifischen Eigenschaften berücksichtigt werden. Beispielsweise sind gefährliche Artikel in einem geeigneten Bereich zu lagern und schnelldrehende Artikel in mittleren Regalen, damit diese rasch und einfach erreichbar sind. Zudem kann eine Gruppierung von ähnlichen Artikeln, welche häufig zusammen kommissioniert werden, erfolgen (Richards,

2018). Welche Herausforderungen es noch im Bereich der Kommissionierung geben kann und wie Technologien und das richtige Layout dabei unterstützen kann wird im nächsten Kapitel näher erläutert.



Abbildung 3: Barcodes zwei- und dreidimensional (Richards, 2018)

## 2.9. Kommissionierung

Die Kommissionierung wird als Hauptaktivität im gesamten Intralogistikbereich betrachtet, da sie die Zusammenfassung und Sortierung von Aufträgen sowie die Vorbereitung für den Versand beinhaltet. Eine unzureichende Leistung im Bereich der Kommissionierung kann zu schlechtem Kundenservice und hohen Betriebskosten führen (Koster et al., 2007). Deshalb wird in den folgenden Unterkapiteln auf die Herausforderungen und die möglichen Optimierungspotentiale in der Auftragskommissionierung eingegangen. Zudem werden mögliche Technologien, welche solche Optimierungen unterstützen können erläutert und aufgezeigt, welche Rolle das Layout bei der Kommissionierung spielen kann.

### 2.9.1. Herausforderungen und Optimierung der Auftragskommissionierung

Die Kommissionierung von Artikeln ist die arbeitsintensivste und kostspieligste Tätigkeit im gesamten Lagerbereich, da sie schwierig zu automatisieren sowie zu planen und noch dazu fehleranfällig ist, was einen großen Einfluss auf den Kundenservice hat. Dabei sind typische Fehler die Kommissionierung von falschen Artikeln, die falsche Anzahl der Artikel oder das Auslassen von Artikeln. Um die Mitarbeiterleistung in diesem Bereich zu überwachen, kann die Kommissioniergenauigkeit gemessen und die Mitarbeiter bei schlechtem Ergebnis geschult werden. Produktivitätssteigerungen in diesem Bereich haben einen großen Einfluss auf die Gesamtkosten, weshalb ein Kompromiss zwischen Geschwindigkeit, Kosten und Genauigkeit eingegangen werden muss (Richards, 2018).



Um die Kommissioniersysteme in Unternehmen zu verbessern, weisen Guo et al. (2014) auf vollautomatische Lösungen sowie effiziente Sammelsysteme hin. In vielen Unternehmen sind Systeme implementiert, bei denen ein Mitarbeiter durch manuelles Sammeln die Materialien kommissioniert. Dabei entfallen circa 50 Prozent der Zeit auf die Bewegung zwischen den Regalen und 35 Prozent auf die Suche sowie Entnahme von Materialien. Es gibt viele Möglichkeiten, wie die Ware effizienter kommissioniert werden könnte (Guo et al., 2014). Durch Just-in-Time-Anlieferungen und kürzere Auftragsvorlaufzeiten gehen Unternehmen weg von ganzen Kisten und Paletten hin zu kleineren Auftragsmengen (Richards, 2018). Aber durch die kleineren Losgrößen, kundenspezifische Anpassungen, schnelle und pünktliche Lieferung sowie Postponement-Strategien, bei der Entscheidungen aufgrund eines kürzeren Prognosezeitraums hinausgezögert werden, ist die Kommissionierung immer wichtiger und herausfordernder für Unternehmen (Koster et al., 2007).

In der Auftragskommissionierung müssen Kundenaufträge gebündelt, geplant, dem jeweiligen Mitarbeiter zugewiesen und freigegeben werden. Zudem sind die jeweiligen Artikel zu entnehmen oder zu entsorgen. Eine Auftragszeile des Kundenauftrags sollte mindestens aus dem spezifischen Produkt und der festgelegten Menge bestehen. Ziel der Auftragskommissionierung ist es, die Kundenzufriedenheit unter Berücksichtigung der gegebenen Ressourcen, wie Mitarbeiter und Maschinen, zu maximieren und die durchschnittliche Lieferzeit sowie die Genauigkeit der Auftragsabwicklung zu verbessern (Koster et al., 2007). Bei diesen Vorgängen können verschiedene Maschinen eingesetzt werden, welche von einfachen Transportmitteln bis hin zu vollautomatisierten Systemen reichen. Eine britische Studie zeigt, dass in der Praxis verstärkt Palettenhubwägen und Gabelstapler in Kombination mit Regalsystemen zu finden sind (Richards, 2018).

Die Kommissionierung ist entscheidend für die Auftragserfüllung des Kunden. Der Druck, schneller zu kommissionieren, stellt hohe Anforderungen an die Mitarbeiter, die durch autonome und mobile Roboter unterstützt werden können. Natürlich können durch schlechte Koordination Ineffizienzen im Prozess auftreten, beispielsweise bei der Verzögerung von Artikelentnahmen. Zudem zeigen Studien, auf die Sheu und Choi (2023) hinweisen, dass die Verletzungsraten nach Einführung von Robotern in automatisierten Lagern höher ist als zuvor. Es wäre daher empfehlenswert, ein Koordinationssystem zwischen Roboter und Mensch einzuführen, welches die Ermüdung bei der Kommissionierung um 50 Prozent reduzieren kann. Die Roboter passen ihr Verhalten gegenüber dem Menschen an, da diese im Laufe der Schicht

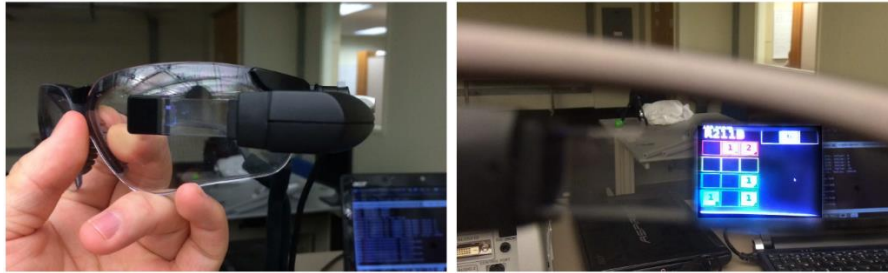
immer weiter ermüden. Der Steuerungsansatz wurde auf Echtzeitdaten entwickelt, um die Koordination zwischen Robotern und Menschen in intelligenten Logistikabläufen zu verbessern. Dabei wurden die Aufträge gemeinsam und menschenfreundlich bearbeitet, wobei sich der Roboter an die Effizienz des Kommissionierers angepasst und dementsprechend reagiert hat. Dies zeigt, dass durch Echtzeitdaten die Effizienz und Koordination in der Mensch-Roboter-Zusammenarbeit deutlich zu verbessern ist (Sheu & Choi, 2023).

### 2.9.2. Technologische Unterstützung im Kommissionierprozess

Durch den technologischen Fortschritt kann in Kommissioniervorgängen die Genauigkeit verbessert und die Produktivität erhöht werden. Es gibt viele verschiedene Kommissioniermethoden wie Papierkommissionierlisten, Kommissionieren mit Label, Barcode-Scanner, RFID oder automatisierte Kommissionierungen. Bei Papierlisten haben Unternehmen zwar eine geringe Investition in die Technologie, aber einen sehr ungenauen Prozess, welcher validiert werden muss und zusätzlich Fehlerpotential aufweist, da oftmals eine manuelle Eingabe im System erforderlich ist (Richards, 2018). Zudem muss bei der Kommissionierung mittels Papierliste diese gehalten werden, was den Prozess unhandlich gestaltet (Guo et al., 2014). Sollte trotzdem eine manuelle Kommissionierung mittels Kommissionierlisten durchgeführt werden, kann deren Gestaltung die Durchlaufzeit erheblich beeinflussen. Durch Verbesserungen in Bezug auf Lesbarkeit und Layout können Suchzeiten reduziert werden. Beispielsweise können die Listen grafische Darstellungen, farbliche Markierungen und Positionierungsinformationen beinhalten (Grosse et al., 2015).

Bei der Kommissionierung mit Label kommissioniert der Mitarbeiter anhand gedruckter Etiketten, was etwas genauer als die Papierliste, aber trotzdem noch manuell ist. Durch den Technologieeinsatz von Barcode-Scanner, RFID oder automatisierter Kommissionierung können Fehler vermieden werden und die Effizienz im Prozess gesteigert werden, wodurch eine bessere Investitionsrendite im Lagermanagement gewährleistet wäre (Richards, 2018). Bei der beleuchteten Lagerplatzzuweisung ist ein schnelles Kommissionieren mit beiden Händen bereits möglich, aber trotzdem ein Scannen der Materialien und Regale notwendig. Guo et al. (2014) stellen zusätzlich die audiounterstützte Kommissionierung sowie die Kommissionierung mittels Head-Up-Display vor. Studien zeigen, dass vor allem die Kommissionierung mit Head-Up-Displays durch Farb- und Formassoziationen eine bessere Leistung bei geringeren Kosten als die Kommissionierung mit beleuchteten Lagerplatzanzeigen oder Papierlisten hervorbringt. Probanden gaben an, dass sie die Nutzung der Head-up-Displays für die Kommissionierung

gegenüber den anderen Methoden bevorzugen, da dadurch die Aufgabenbelastung geringer sei, effizienter gearbeitet werden könne und weniger Fehler passieren würden. Das Head-up-Display mit der grafischen Anzeige, welche auf einer Brille getragen werden kann und in *Abbildung 4* ersichtlich ist, hat sich in der Studie als beste Methode herausgestellt (Guo et al., 2014). Bei der Implementierung von Kommissioniermethoden sollten jedoch auch menschliche Faktoren, wie die Augenbelastung, berücksichtigt werden (Grosse et al., 2015).



*Abbildung 4: Head-up-Display für Kommissionierung (Guo et al., 2014)*

Beim *Barcode-Scanning* werden vertikale Striche zur Produkt- und Lagerplatzidentifikation verwendet, wobei der Scanner in der Hand gehalten wird, stationär verwendet wird oder an einem Transportmittel montiert ist. Die Vorteile beim Barcodescanner sind die schnelle und genaue Datenerfassung, wodurch eine verbesserte Produktivität gewährleistet ist. Nachteile wären ein Beschädigungsrisiko des Geräts oder mögliche Fehler beim Umgang mit dem Scanner (Richards, 2018).

*RFID* basiert dagegen auf Funkwellen, um Gegenstände zu identifizieren. Es kann zwischen passiven Tags, welche ohne Stromversorgung auskommen, dafür aber nur eine begrenzte Reichweite haben, und aktiven Tags, welche eine Stromversorgung benötigen, dafür aber eine höhere Reichweite und Kapazität aufweisen, unterschieden werden. Durch RFID können mehrere Artikel gleichzeitig gelesen und eine höhere Kapazität erreicht werden. Dabei variieren die Kosten für diese Technologie je nach Anwendungsbereich und Systemgröße. Mögliche Probleme können entstehen, wenn die Tags beschädigt sind (Richards, 2018).

Bei *Pick-by-Light-Kommissioniersystemen* scannt der Bediener den Barcode auf dem Kommissionierbehälter und das System signalisiert die Kommissionierplätze in der Zone durch Aufleuchten. Dahinter steht die Erkenntnis, dass Licht von Menschen schneller wahrgenommen wird als Schall. Eine digitale Anzeige zeigt anschließend die zu entnehmende Menge an, die der Bediener anschließend bestätigen muss. Wenn dieser Prozess abgeschlossen ist, wird der Behälter in die nächste Zone weitergeleitet. Dadurch kann die Produktivität erhöht werden, weil

alle Positionen angezeigt werden und eine einfache Schulung gewährleistet ist, was auch für Saisonarbeiter oder Zeitarbeitskräfte von Vorteil ist. Zudem könnte die Fehleranfälligkeit verringert werden, indem ein akustisches Signal ertönt, wenn Material falsch entnommen wurde. Schließlich führen Fehler zu einer weiteren Bearbeitung, Neuverpackung und Lieferung, was mit erheblichen Kosten verbunden ist. Sollten sogenannte Pick-by-Light-Systeme im Kommissionierprozess eingesetzt werden, ist zu beachten, dass diese oft nur in Verbindung mit einer Zonenkommissionierung möglich sind (Richards, 2018).

Die Entscheidung, welche Technologie im Bereich der Kommissionierung eingesetzt werden soll, hängt vom Unternehmen ab. Zum einen ist es wesentlich, den Return on Investment (ROI) für die jeweilige Technologie zu berechnen, wobei auch ergonomische und ökologische Aspekte in die Entscheidung miteinfließen sollten. Zum anderen sollte die Entscheidung an die langfristige Unternehmensstrategie und die Verfügbarkeit von Arbeitskräften ausgerichtet werden. Außerdem gilt es zu erwähnen, dass sich die Technologien der Kommissionierung wie Papierlisten, Barcodes, RFID und Pick-by-light auch kombinieren lassen (Richards, 2018).

### 2.9.3. Layoutgestaltung

Die Gestaltung und Steuerung eines Kommissioniersystems ist wichtig, da Faktoren wie die Layoutgestaltung, die Zuweisung der Produkte zu Lagerplätzen oder die Routen für die Kommissionierung entscheidend sind. Durch robuste Gestaltung und optimale Steuerung des Kommissionierprozesses kann eine Optimierung in diesem Bereich erreicht werden. Die Gestaltung des Layouts lässt sich in zwei Bereiche unterteilen. Zum einen muss das Anlagenlayout, also die Platzierung der unterschiedlichen Abteilungen, und zum anderen das Layout des Kommissionierbereichs an sich berücksichtigt werden. Der Kommissionierbereich eines Unternehmens sollte in Zonen oder Bereiche aufgeteilt werden, wobei jeder Kommissionierer für seine eigene Zone zuständig ist. Dadurch kann das Verkehrsaufkommen im Kommissionierbereich reduziert werden und die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass die jeweilige Artikelposition in der jeweiligen Zone vorhanden ist (Koster et al., 2007).

Eine mögliche Optimierung von Kommissioniersystemen ist von mehreren Faktoren abhängig. Dazu gehören die Lagerzuweisung, ein nicht optimales Lagerlayout, die gewählte Routing-Methode, das Batching und Zoning. Bei der *Lagerzuweisungsstrategie* wird so vorgegangen, dass Produkte mit einer hohen Nachfrage in der Nähe des Kommissionierplatzes positioniert werden, um die Kommissionierzeit zu verkürzen. Weiters kann abhängig vom Layout die optimale Routing-Methode gewählt werden, dabei sollte immer das Entnahmemuster bedacht

werden (Koster et al., 2012). Die optimale Route für das zu kommissionierende Material kann basierend auf der Kommissionierliste und einer Heuristik entworfen werden. Das beste Ergebnis liefert eine kombinierte Heuristik, welche ein vollständiges Durchlaufen aller Gänge mit Ein- und Ausgängen auf derselben Seite kombiniert. Dabei ist zu beachten, dass die optimale Route je nach Organisation unterschiedlich ausfallen kann (Koster et al., 2007). Zudem können durch klare Kommissionier Routen und die Vertrautheit der Mitarbeiter mit den Lagerzuweisungen die Durchlaufzeit sowie das Fehlerrisiko reduziert werden (Grosse et al., 2015).

Um Aufträge zu gruppieren und die Effizienz zu steigern, empfiehlt sich Batching und zusätzlich die Einteilung in Zonen (Koster et al., 2012). Beim Batching werden mehrere kleinere Aufträge konsolidiert, um damit die Artikel in einer einzigen Kommissioniertour zu sammeln, wodurch die Fahrzeit deutlich reduziert wird (Koster et al., 2007). Koster et al. (2012) haben die kürzeste Gesamtdurchlaufzeit im Kommissioniervorgang ermittelt. Die Gesamtzeit wurde definiert, indem ein Auftragspaket unter Berücksichtigung der vorhandenen Arbeitskräfte und -mittel kommissioniert und fertig verpackt wurde.

Es muss eine Balance zwischen Kommissionier- und Verpackungszeit gefunden werden, um die optimale Größe der Zone zu bestimmen. Bei einer größeren Anzahl von Zonen kann die Kommissionierzeit verkürzt werden, jedoch erhöht sich dadurch die Verpackungszeit aufgrund mehrerer unvollständiger Aufträge, da ein Paket erst verpackt werden kann, wenn alle Artikel kommissioniert wurden. Die optimale Zonengröße wurde anhand eines mathematischen Modells ermittelt und in der Fallstudie von Koster et al. (2012) im Vertriebszentrum eines großen Online-Händlers in den Niederlanden verifiziert. Dort werden täglich circa 25.000 Aufträge mit durchschnittlich 1,6 Artikeln pro Auftrag kommissioniert. Dadurch hat auch die Bestimmung der Zonengröße einen signifikanten Einfluss auf die Durchlaufzeit. Es wurden 96 Szenarien untersucht, wobei für dieses Unternehmen eine 18-Zonen-Konfiguration mit jeweils zwei Gängen als Optimum festgestellt wurde. Eine Kommissionierliste enthält 40 Artikel. Die Studie betont die Wichtigkeit von Fallstudien und Versuchen, um die optimale Konfiguration von Kommissioniersystemen im Unternehmen zu identifizieren (Koster et al., 2012). Die optimale Gestaltung des Layouts bietet eine weitere Grundlage für eine verbesserte Lagerhaltung. Welche zusätzlichen Parameter bei der Lagerhaltung bedacht werden müssen und welche Gründe für eine Lagerhaltung sprechen wird im nächsten Kapitel näher erläutert.

## 2.10. Lagerhaltung

Auch die moderne Intralogistik benötigt Lager. Diese sind idealerweise bereits automatisiert, was zu einer höheren Anforderung in Bezug auf die Organisation, die IT-Anbindung und die Kostenminimierung führt (Arnold et al., 2007). In den folgenden Unterkapiteln werden weitere Gründe der Lagerhaltung aufgezeigt, sowie welche Arten der Lagerhaltung möglich sind. Zudem wird das Lagerlayout näher erläutert, da es ein wichtiger Entscheidungsfaktor in der Lagerhaltung ist, aber auch Herausforderungen mit sich bringt, welche durch die richtige Lagertechnik bewältigt werden können.

### 2.10.1. Gründe für die Lagerhaltung

Mithilfe eines Lagers können Transport- und Produktionseinsparungen ermöglicht sowie Preisnachlässe auf Materialien und Produkte genutzt werden. Zudem hilft es Unternehmen, Marktunsicherheiten zu bewältigen und zeitliche sowie räumliche Differenzen im Produktionsprozess zu überbrücken (Koster et al., 2007). Wenngleich ein Lager Kapital bindet, ist es für ein produzierendes Unternehmen unverzichtbar und kann als sogenannter ‚Puffer‘ in vielen Produktions- und Distributionsansätzen verwendet werden (Arnold et al., 2007).

In höher entwickelten Industriestaaten sind automatisierte Lager häufiger implementiert, während in Schwellenländern eher manuelle Lager eingesetzt werden. Ein zentrales Element der Produktion ist die Wertschöpfung am Produkt, wodurch Lager in der Produktion oftmals als Puffer zwischen den einzelnen Produktionsschritten dienen und daher oft direkt im Produktionsumfeld stationiert sind (Arnold et al., 2007).

Zudem kann ein Lager auch für die Vorsortierung von Waren und die Qualitätsprüfung genutzt werden, bevor diese im Prozess weiter bearbeitet werden (Wannenwetsch, 2010). Die Intralogistik muss sich in diesem Bereich auf das unterschiedliche Abrufverhalten der Produktion einstellen. Es können zu Beginn eines Auftrags große Mengen in großen Gebinden abgerufen werden und anschließend kleine Mengen in kleinen Gebinden als Nachlieferung. Hierbei spielt wiederum Software für die Steuerung der Lager eine große Rolle, um den Materialbedarf der Produktion zu koordinieren (Arnold et al., 2007). Die unsichere Nachfrage von Kunden kann zu Lagerbeständen führen, die aber möglichst geringgehalten werden sollen (Richards, 2018). Denn hohe Bestände in der Lagerhaltung verbergen oftmals die wahren Probleme in der Organisation (Land et al., 2021).

Bestände können unterschiedliche Gründe haben. Sie können als Sicherheitsbestand, saisonaler Bestand oder Zyklusbestand geführt werden, wobei bei allen Arten davon ausgegangen wird, dass sie auf eine bestimmte Nachfrage warten (Land et al., 2021). Auch eine saisonale Nachfrage bei gewissen Produkten, wie beispielsweise Speiseeis, kann zur Notwendigkeit eines Lagers führen. Durch den Anstieg der Produktpalette im Unternehmen erhöht sich auch der Bedarf an Lagerfläche. Denn dadurch benötigt das Unternehmen auch verschiedene Komponenten für die Produktion bei Ausfällen von Lieferanten. Um einen reibungslosen Betrieb der Maschinen und Anlagen zu gewährleisten, müssen möglicherweise auch Ersatzteile gelagert werden (Richards, 2018).

### 2.10.2. Arten der Lagerhaltung

In Zukunft werden intelligente und automatisierte Lager essenziell sein (Arnold et al., 2007). Schließlich gilt die Lagerautomatisierung als Schlüssel für Wettbewerbserfolg, wenn verfügbare Flächen knapp sind. Durch Automatisierung werden diese gut ausgenutzt und gleichzeitig Arbeitskräfte entlastet. In den letzten Jahren sind neben vollautomatisierten auch teilautomatisierte Lager entstanden. Insbesondere wird Robotertechnologie für die Auftragsabwicklung eingesetzt, wodurch Arbeitskosten eingespart werden können und eine Verfügbarkeit rund um die Uhr ermöglicht wird (Azadeh et al., 2019). Beispielsweise maximiert der Einsatz eines automatisierten Kleinteilelagers (AKL), welches in *Abbildung 6* ersichtlich ist, den Lagerraum, da dynamisch eingelagert und dadurch ein effizienter Warenfluss möglich wird (Richards, 2018). Grundsätzlich sollte das manuelle Handling von Artikeln minimiert werden, um Kosten zu sparen und flexibel zu bleiben (Arnold et al., 2007).

Die Art des Lagers ist immer einer Kosten-Nutzen-Analyse zu unterziehen, damit es möglichst wirtschaftlich ist (Arnold et al., 2007). Beispielsweise ist die Implementierung eines AKLs mit erheblichen Kosten verbunden (Richards, 2018). Deshalb sollte im Bereich der Lagerautomatisierung eine langfristige Perspektive bei der Entscheidungsfindung eingenommen werden, da diese umfangreiche Investitionen beinhaltet, welche sich erst im Laufe einiger Jahre amortisieren (Azadeh et al., 2019).



Abbildung 5: Automatisiertes Kleinteilelager (AKL) (Viastore, 2024)

Grundsätzlich kann bei einem automatischen Lager zwischen zwei Varianten unterschieden werden. Das erste Prinzip nennt sich *Person zu Ware*, welches jedoch als ineffizient zu beurteilen ist, da die kommissionierende Person viel Zeit aufwenden muss, um die Ware zu kommissionieren, weil die Transportwege weit sind. Dieses Prinzip ist aber möglicherweise dann sinnvoll, wenn aufgrund der Bauart des Lagers beispielsweise keine Regalbediengeräte die Ware zu fest definierten Stationen bringen können. Das zweite, effizientere Prinzip, ist *Ware zur Person*. Dabei wird mithilfe von Regalbediengeräten die Ware zu fest definierten Kommissionier-Stationen gebracht. Dadurch kann sich der Kommissionierer auf seine Haupttätigkeit konzentrieren und muss keine Effizienzverluste durch lange Transportwege in Kauf nehmen (Arnold et al., 2007). Es gibt noch ein drittes Prinzip, bei dem die Ware automatisiert kommissioniert wird. Die *automatisierte Kommissionierung* ist besonders bei hohem Volumen effektiv, beispielsweise bei über 3000 Paketen pro Tag. Mit einer automatisierten Kommissionierung kann die Raumhöhe durch Hochregal- und Schmalganglagersysteme besser ausgenutzt werden, wodurch eine chaotische Lagerung möglich ist. Zudem können Unternehmen Arbeitskräfte einsparen, da diese Methode 24 Stunden, sieben Tage die Woche kommissionieren kann und dabei nur eine minimale Überwachung benötigt, weil wenig manuelles Eingreifen erforderlich ist. Ein Beispiel für automatische Kommissioniersysteme ist das Auftragsverteilungssystem, bei dem eine große Anzahl von Auftragszeilen vorhanden ist, welche effizient abgearbeitet werden müssen (beispielsweise im Versandhandel oder im E-Commerce-Bereich). Zudem könnten Unternehmen durch den Einsatz von Robotik die Kommissionierung von Waren in besonders schwierigen Arbeitsumgebungen erleichtern (Richards, 2018).



In der Praxis wurden bereits viele verschiedene Arten der Lagerhaltung implementiert. Beispielsweise kann ein automatisches Palettenlager als Nachschublager der Produktion dienen. Dabei können große Mengen gleicher Artikel als Puffer gelagert werden, wobei im Wareneingang kleinere Teilmengen in das automatische Behälterlager eingelagert werden. Anschließend werden kleinere Mengen aus den Behältern und größere direkt von der Palette entnommen. Der Nachschub kann automatisch ausgelöst werden, wenn die Bestände in den Behältern unter ein definiertes Minimum fallen, wodurch auch die Ware, die zur Kommissionier-Station transportiert und wieder rückgelagert werden muss, minimiert wird. Für das automatische Behälterlager sollte ein optimales Lagermedium für das jeweilige Material gefunden werden. In der Praxis bevorzugt man vor allem Kunststoffbehälter, wobei eine Standardgröße sinnvoll ist und sich nur die Behälterhöhe variieren lässt. Dadurch können große und kleine Behälter gemischt gelagert werden (Arnold et al., 2007).

### 2.10.3. Entscheidungsfaktoren des Lagerlayouts

Die Betriebskosten eines Lagers machen im Durchschnitt ein bis fünf Prozent des Gesamtumsatzes eines Unternehmens aus. Dieser Richtwert kann je nach Unternehmen und Wert der Waren variieren, gibt aber einen Eindruck, wie wichtig es ist, in diesem Bereich die Kosten zu senken, wenig Lagerbestand zu haben und trotzdem den optimalen Kundennutzen zu erfüllen (Richards, 2018). Wenn Bestandsverwaltungssysteme auf eine festgelegte Lieferkettenstruktur beschränkt sind, können die Gesamtkosten schwer minimiert werden, da alternative Konzepte oder strategische Platzierungen von Materialien nicht möglich sind (Shapiro & Wagner, 2009).

Um die Lagerhaltung zu reduzieren und damit die Lagerkosten zu senken, empfiehlt es sich, auf eine schlanke Fertigung und Just-in-Time-Anlieferungen zu setzen (Koster et al., 2007). ‚Just-in-Time‘ bedeutet eine Bearbeitung oder Anlieferung ohne Zeitpuffer, wobei eine Fließfertigung, geringe Schwankungen in der Durchlaufzeit und eine große Fehlerfreiheit vorhanden sein muss (Gudehus, 2011). Dennoch bleibt es bei den meisten Unternehmen notwendig, Rohstoffe und Materialien zu lagern (Koster et al., 2007).

Die Kostenfaktoren in Lager sind zum einen die Raumkosten, Arbeits- und Lohnkosten, die Kosten für Anlagen und Maschinen sowie Softwarekosten. Der Return on Investment (ROI) ist eine entscheidende Kennzahl für die Effizienz einer Investition, welche aufzeigt, wie schnell sich diese amortisiert. Sie wird besonders bei neuen Lager- und Transportmethoden sowie bei der Bewertung von Anlagen verwendet (Richards, 2018).

Innerhalb der Lagerabteilungen sollten die gegebenen Flächen berücksichtigt werden. Zum einen sind Entscheidungen über die Stapelbarkeit, Losgrößen und der Kompromiss zwischen Raumnutzung und Ein- beziehungsweise Auslagerungseffizienz zu treffen. Des Weiteren sollten die Gangstruktur und -ausrichtung, die Anzahl, Breite und Länge der Gänge sowie die Türpositionen berücksichtigt werden. Werden Maschinen und Geräte eingesetzt, sind die Anzahl der Geräte sowie die Abmessung der Regale zu berücksichtigen. Im Bereich der Ausrüstungsauswahl kommt es auf den Automatisierungsgrad und die Lagersysteme des jeweiligen Unternehmens an. Hierbei werden oftmals auch Kosten-Produktivitäts-Analysen erstellt, um den Nutzen der Automatisierung für das Unternehmen herauszufinden. Um eine Betriebsstrategie für das Lager zu entwickeln, sollten auch die Lager- und Kommissionierstrategien sowie die Auswahl der Ausrüstung berücksichtigt werden, da diese weitreichende Auswirkungen auf Kosten und Effizienz des gesamten Lagers haben. Es soll ferner nicht unerwähnt bleiben, dass die Realität der Lager oft komplexer ist, als es in Forschungsmodellen dargestellt wird, weshalb industrielle Fallstudien von großer Bedeutung sind, um ein Verständnis für reale Problemen zu erhalten (Gu et al., 2010).

Entscheidungen in Lagerhäusern werden in *langfristige* beziehungsweise *taktische Planung* und *kurzfristige* beziehungsweise *operative Planung* unterteilt. In der langfristigen Planung fokussieren sich Unternehmen auf das Layout und das Design des Lagers sowie auf die Systemoptimierung, mit dem Ziel, den Durchsatz oder die Kapazität zu maximieren. Die kurzfristige Planung umfasst operative Entscheidungen, wie die Fahrzeugzuweisung, Vermeidung von Blockaden oder Lagerplatzzuweisungen. Durch analytische Modelle kann die Entscheidungsfindung auf beiden Ebenen unterstützt werden, indem lineare Programmierungs-Modelle eingesetzt werden, welche die Optimierung unter Berücksichtigung mehrerer Nebenbedingungen ermöglichen (Azadeh et al., 2019).

Die Lagerplanung ist eine strategische Entscheidung und umfasst Entscheidungen über die gesamte Struktur des Lagers, die Größe, das detaillierte Layout innerhalb der einzelnen Abteilungen sowie die Auswahl der Lagerausrüstung und den operativen Betrieb. Um die Leistung eines Lagers zu messen, was wichtig für die Planung und den Betrieb eines Lagers ist, werden in der Praxis oftmals *Simulationen* angewendet. Diese Methode kann um *Benchmarking* und *analytische Modelle* ergänzt werden. Denn analytische Modelle, wie beispielsweise lineare Programmierungen, bieten ein schnelles Untersuchen vieler Alternativen, wodurch möglicherweise aber nicht alle Details erfasst werden können. Im Vergleich dazu bieten

Simulationsmodelle eine detailliertere Bewertung, was sie aber komplexer und möglicherweise gerade am Beginn einer Planung unflexibler macht (Gu et al., 2010). Simulationen können auch eingesetzt werden, um für repräsentative Materialien das Investitionsniveau von Beständen zu ermitteln. Des Weiteren könnten Unternehmen, falls vorhanden, auf historische Daten zurückgreifen, um die Lagerhaltungskosten für Materialien zu ermitteln (Shapiro & Wagner, 2009).

In vielen Unternehmen fehlt eine integrierte Planung aller Bereiche in einer Lieferkette. Oftmals werden Lagerbestände und die damit einhergehenden Kosten vernachlässigt. Es sollte allerdings eine Gesamtkostensicht auf Bestände eingerichtet werden, um die Balance zwischen den Lagerhaltungskosten und dem Dienstleistungsniveau zu finden (Shapiro & Wagner, 2009). Vor allem im 20. Jahrhundert galt das Lager in vielen Unternehmen als reine Kostenstelle ohne großen Mehrwert, da die Wirtschaft angebotsorientiert war und der Kunde dadurch hohe Bestände und lange Produktionszeiten in Kauf nahm. Dieser angebotsorientierte Markt hat sich in den vergangenen Jahren hin zu einem Nachfragemarkt geändert, bei dem der Kunde bestimmt, wofür er zahlt und wofür nicht. Die Rolle des Lagers wurde sehr wichtig, da die Kundenbestellungen perfekt erfüllt werden sollen. Dabei ist es die Aufgabe der Unternehmen, sehr kosteneffizient zu arbeiten und zugleich die Produkte korrekt zu etikettieren, zu kommissionieren und zu versenden sowie dabei die Lieferzeiten einzuhalten (Richards, 2018).

#### 2.10.4. Herausforderungen und Methoden in der Lagerplatzverwaltung

Im Bereich der Lagerhaltung gibt es mehrere Herausforderungen, die ein Logistikleiter oder das Unternehmen lösen müssen. Vor allem in Bezug auf Kennzahlen werden in der internen Logistik perfekte Bestellungen für den Kunden gemessen. Diese sollten pünktlich, vollständig, einwandfrei und mit den richtigen Versandpapieren an den Kunden versendet werden. Dabei ist auch die Durchlaufzeit zu beachten, wobei in Zukunft verschiedene Arten von Lieferungen durchgeführt werden. Diese sind zum Beispiel Direktlieferungen an den Kunden oder Großbestellungen an den Handel, wobei hier immer wieder unterschiedliche Anforderungen im Bereich der Kommissionierung auf das Unternehmen zukommen (Richards, 2018).

Es gibt mehrere Möglichkeiten, den Lagerplatz zuzuweisen. Beispielsweise kann eine *chaotische Lagerung*, eine *klassenbasierte Lagerung* oder eine *Lagerung nach der nächstgelegenen offenen Stelle* erfolgen. Bei einer klassenbasierten Lagerung werden Artikel basierend auf ihrer Beliebtheit und Umschlagshäufigkeit in Klassen unterteilt. Jede Klasse bekommt anschließend einen bestimmten Lagerbereich zugeteilt, innerhalb derer chaotisch

eingelagert wird. Das Ziel des Unternehmens sollte es sein, den vorhandenen Lagerplatz optimal auszunutzen und die Transportentfernung sowie die Effizienz bei der Kommissionierung zu berücksichtigen. Je nachdem, welche Methode gewählt wird, hat diese Einfluss auf die Fahrtstrecke und Kommissionierzeit. Hierbei sollte eine Balance zwischen der Effizienz beim Kommissionieren und dem Aufwand für den Nachschub gefunden werden. In der Lagerhaltung können auch Beziehungen zwischen den Produkten, welche häufig gemeinsam bestellt werden, berücksichtigt werden, damit diese Produkte nah beieinander gelagert werden (Koster et al., 2007). Eine empirische Studie zum durchschnittlichen Lagerbestand zeigt auf, dass ein hoher Durchsatz bei Materialien zu niedrigeren Beständen und dadurch niedrigeren Kosten führen kann. Des Weiteren könnten Unternehmen Materialien in Produktklassen basierend auf relevanten Merkmalen wie Lagerungsanforderungen und Kosten einteilen (Shapiro & Wagner, 2009).

Zusätzlich empfiehlt es sich, für die Bestimmung einer effektiven Lagerplatzverteilung das Pareto-Prinzip, auch 80/20-Regel genannt, anzuwenden und in Zusammenarbeit mit der ABC-Analyse einzusetzen. Die sogenannten A-Artikel machen 80 Prozent des Umsatzes aus, wobei die B- und C-Artikel die restlichen 20 Prozent bilden (Richards, 2018). In der Praxis werden Artikel in automatischen Lager- und Bereitstellungssystemen nach der ABC-Methode geordnet, wodurch der optimale Lagerplatz gefunden werden kann und die Fahrzeit bei der Ein- und Auslagerung minimiert wird (Azadeh et al., 2019).

#### 2.10.5. Lagertechnik und Lagermanagement

Die Art der Lagertechnik hängt von der Art der Produkte, deren Größe und dem Durchsatz ab. Wenn ein Unternehmen Waren am Boden lagert, sollten die ergonomischen Nachteile bedacht beziehungsweise sichergestellt werden, dass es eher geringwertige Güter sind und die Raumnutzung dadurch nicht optimal ist. Bei Palettenregalen, welche in vielen Lagern Standard sind, gibt es Sicherheitsrisiken zu beachten, da in schmalen Gängen möglicherweise verschiedene Staplertypen eingesetzt werden müssen. Eine weitere Lagertechnik wären Kartondurchlaufregale, bei denen nach dem First-In-First-Out (FIFO) Prinzip gelagert werden kann und durch die schwerkraftgesteuerten Rollen eine hohe Belegungsrate ermöglicht wird. Für langsam drehende Artikel könnten auch bewegliche Regale eingesetzt werden, welche platzsparend und manuell oder elektrisch bedienbar sind. Für eine kompakte Lagerung in einem geschlossenen System bieten sich vertikale Liftmodule (VLM) an, da hier das benötigte Fach automatisch ausgewählt werden kann und es sich daher ideal für diese Anforderungen eignet.

In *Abbildung 7* ist ein VLM dargestellt, um ein besseres Verständnis über den Aufbau und die Größe zu erhalten (Richards, 2018). Vertikale Liftmodule bestehen aus zwei Tablarsäulen, wobei das benötigte Fach zum Kommissionierer transportiert wird, wodurch die Produktivität gesteigert werden kann, da Laufwege entfallen. In einem VLM kann aber nur eine begrenzte Anzahl an Artikeln gelagert werden, wobei diese in der Praxis verbreitet sind (Azadeh et al., 2019).



*Abbildung 6: Vertikales Liftmodul (Richards, 2018)*

Im Bereich des Lagermanagements sollten die jeweiligen Sicherheitsbestände der Artikel sowie schnell, mittel oder langsam umschlagende und veraltete Artikel identifiziert werden. Sollten sich veraltete Artikel im Lager befinden, welche nicht mehr benötigt werden, können diese entweder dem Lieferanten zurückgegeben, verkauft oder entsorgt werden. Für das Bestandsmanagement ist diese Identifikation von großer Bedeutung und sollte im Zuge der Bestandszählung zyklisch durchgeführt werden, anstelle einer jährlichen Gesamtzählung. Bei der Zykluszählung kann eine ABC-Analyse eingesetzt werden, um die Zählung nach Wert und Umschlagshäufigkeit zu priorisieren, wobei schnelldrehende und hochwertige Artikel häufiger gezählt werden sollten. C-Artikel können auch jährlich gezählt werden. Dadurch lassen sich Abweichungen zum System minimieren (Richards, 2018).

In vielen Unternehmen wird eine einfache Bestellung von Materialien mit Mindest- sowie Höchstbestand durchgeführt. Dabei wird bei Unterschreitung eines Mindestbestands eine Bestellung ausgelöst, wodurch der Bestand wieder auf ein Maximum aufgefüllt wird. Suboptimal laufen solche Bestände, wenn die Mindest- und Höchstbestände ohne datengestützte Analysen bestimmt werden. Durch statistische Verfahren können Sicherheitsbestände und Bestellmengen besser bestimmt werden, was die Bestandskontrolle jedoch komplexer gestaltet (Shapiro & Wagner, 2009).

### **2.11. Warenausgang**

Der Warenausgang und Versand der Ware ist ein weiterer Schlüsselprozess in der Intralogistik, da er eine enge Verbindung mit wertsteigernder Dienstleistung hat und wichtig für die Kundenzufriedenheit ist (Richards, 2018). Durch den Warenausgang wird das Unternehmen entweder mit dem Wareneingang anderer Unternehmen oder mit dem Endkunden verbunden, wodurch eine Verbindung zur externen Lieferkette vorhanden ist (Gudehus, 2011).

Der Versandprozess im Warenausgang sollte bereits vorab gut überlegt und definiert sein. Zum einen sollte die optimale Versandverpackung für das jeweilige Produkt definiert worden sein und zum anderen muss im Versandprozess mit unterschiedlichen Stückgütern, Artikeln und Kartons gearbeitet werden. Abhängig vom Produktwert der versendeten Güter sollte vor dem Versand eine Qualitätskontrolle stattfinden beziehungsweise kann auch eine stichprobenartige Kontrolle durchgeführt werden (Richards, 2018). Durch die Qualitätskontrolle am Warenausgang lassen sich auch Fehler bei der Kommissionierung abfangen, bevor diese an den Kunden versendet werden (Gudehus, 2011). Werden Vollkartons verschickt, können diese einfach per Palettenversand mit einer Stretchfolie gesichert werden. Wichtig ist bei der anschließenden Beladung, den vorhandenen Platz optimal auszunutzen. Dabei kann durch den Einsatz von Software die Beladung optimiert und Versandschäden minimiert werden. Die Planung im Warenausgang ist ausschlaggebend für eine pünktliche Versendung der Ware an den Kunden. Dies erfordert die Koordination aller Lageraktivitäten, da die Vorlaufzeiten immer kürzer und die Bestellannahmen immer später durchgeführt werden. Für die Ladungsvorbereitung und -kontrolle sollte ausreichend Platz im Warenausgang vorhanden sein. Die Versanddokumente und dazugehörige Etikettierung der Ware hat vollständig und korrekt zu sein. Zudem sollten länderspezifische Anforderungen und Vorschriften bei Exporten beachten werden und bei Gefahrguttransporten die Ladung dementsprechend gekennzeichnet und dokumentiert werden (Richards, 2018).

Rijal et al. (2023) untersuchten die Herausforderungen bei der Integration zwischen Lager- und Transportentscheidungen bei Routen. Dabei wurde ein allgemeines Vehicle-Routing-Problem definiert, welches nicht nur die Transportprobleme berücksichtigt, sondern auch die Lagerprozesse, um eine ganzheitliche Effizienzsteigerung und Kostensenkung zu erzielen. Es wurden Herausforderungen, wie ein begrenzter Bereitstellungsraum für flexible Handhabung und eine Anpassung der Fahrzeugeinsatzzeiten für mehr Flexibilität definiert. Das mathematische Modell wurde in einer Fallstudie empirisch verifiziert. Diese führte man bei einem führenden Lebensmitteleinzelhändler in den Niederlanden durch, welcher rund 270 Filialen verschiedener Größen in unterschiedlichen Abfertigungszeiten beliefern musste. Dabei wurden die Bestellungen mindestens einen Tag im Voraus eingereicht, wobei die Kommissionierung immer um 23 Uhr beginnt und die Auslieferung zwischen 3 und 20 Uhr. Dabei haben die Forscher drei Managementinterventionen auf ihre Effizienz hin untersucht. Zum einen war dies die Erweiterung des Bereitstellungsraums am Warenausgang, als zweites die Verhandlung von weniger strikten Lieferzeitfenstern und als dritte Intervention einen integrierten Ansatz für die Lager- und Transportplanung. Die Forscher kamen zu dem Ergebnis, dass die Verhandlung weniger strikter Lieferzeitfenster im Zusammenhang mit einer integrierten Planung zu einer reduzierten Auslastung des Bereitstellungsraums beiträgt. Dies wird gewährleistet, indem Fahrzeuge nicht früher beladen und abfahren müssen, um Platz im Bereitstellungsraum zu schaffen. Außerdem kamen die Forscher zu dem Schluss, dass zusätzlicher Bereitstellungsraum allein keine Kostenvorteile bringt. Die Implementierung einer integrierten Lager- und Transportplanung erfordert spezielle Software, was für kleine und mittlere Unternehmen oftmals eine Herausforderung darstellt. Für jedes Unternehmen sollte individuell eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt werden, welche aufzeigt, wie die Gesamtkosten im Bereich der integrierten Lager- und Transportkosten am besten reduziert werden können (Rijal et al., 2023).

Sollten nach dem Warenausgang und Versand an den Kunden Retouren eintreffen, sind diese gesondert in einem speziellen Bereich im Lager abzuwickeln, um ein effizientes Retourenmanagement zu gewährleisten. Durch die Wiederverwendung von Produkten und diversen EU-Richtlinien gewinnen Retouren immer mehr an Bedeutung, da die Wiederverwertung gefördert wird. Wie Retouren abgewickelt werden, sollte in jedem Unternehmen individuell unter Berücksichtigung der Gesamtkosten entschieden werden. Für ein effektives Retourenmanagement benötigt es Personal, die richtigen Verfahren und Richtlinien sowie Prioritäten. Dazu zählen Schulungen des Personals, Softwareunterstützung

im Prozess und vorgegebene Entscheidungsprozesse (Richards, 2018). In den vorigen Kapiteln wurden die Grundzüge der Intralogistikprozesse beschrieben. Nun sollten diese Prozesse so schlank wie möglich gestaltet werden. Dabei kann die erfolgreiche Implementierung von Lean Management helfen, welches im nächsten Kapitel beschrieben wird.

## **2.12. Lean Management in der Intralogistik**

Der Ursprung des Lean Management liegt in der Automobilindustrie von Toyota und bedeutet, dass Produktionsprozesse so optimiert werden, dass möglichst viel Wertschöpfung erzielt wird und Verschwendung eliminiert wird (Richards, 2018). In den folgenden Unterkapiteln werden einige Anwendungsbeispiele für das Lean Management nähergebracht, sowie der Zielkonflikt zwischen Agilität und Lean Management besprochen. Des Weiteren werden einige Umsetzungsempfehlungen für das Lean Management in Unternehmen aufgezeigt.

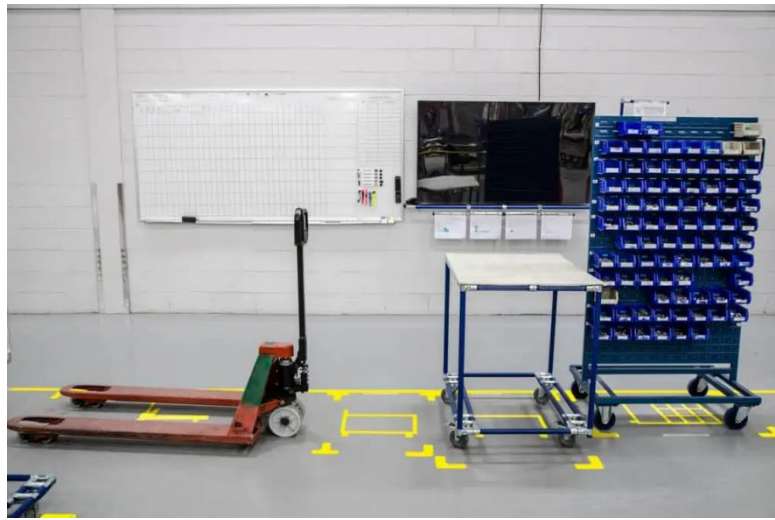
### **2.12.1. Anwendungsbeispiele von Lean Management**

Durch die Anwendung von Lean-Management-Methoden und die Entwicklung von Best-Practice-Anwendungen können Logistikprozesse vereinfacht und standardisiert werden (Cichosz et al., 2020). Gerade im Lager sollte darauf geachtet werden, nicht wertschöpfende Aktivitäten zu identifizieren. Beispielsweise können ungenutzte Lagerflächen durch eine effizientere Anordnung der Paletten umgangen werden. Weiters ist es möglich, übermäßige Bestände aufgrund von fehlender Konsolidierung zu eliminieren, alle Lagerorte zu überprüfen sowie anhand der Regale anzupassen. Es wäre zudem wichtig, in Zusammenarbeit mit der Produktion und möglicherweise der Finanzabteilung im Unternehmen nicht mehr benötigte Produkte zu entsorgen (Richards, 2018).

Richards (2018) weist darauf hin, dass das *5S-Konzept* auch für die Lager in der Intralogistik angewendet werden können. Das 5S-Konzept ist ein Teil von Lean Management und hat daher seinen Ursprung in Japan. 5S steht für sortieren (*seiri*), sichtbare Ordnung schaffen (*seiton*), Sauberkeit (*seiso*), standardisieren (*seiketsu*) und Selbstdisziplin (*shitsuke*) (Liker, 2006). Erstens sollte sortiert werden, indem unnötige Gegenstände entfernt werden. Zweitens sollte aufgeräumt werden, indem die Artikel im Lager effizient und effektiv, je nach Gebrauch, angeordnet werden. Als drittes sollte gesäubert werden, indem ein Reinigungsplan erstellt und der Lagerbereich gründlich gereinigt wird. Viertens sollten im Sinne der Standardisierung Arbeitsstandards eingeführt werden, damit für alle Mitarbeiter im Lager die gleichen Anweisungen gelten. Dabei kann die Einführung von Bodenmarkierungen (siehe Abbildung 8)



dazu führen, dass Transportmittel immer an der gleichen Position aufzufinden sind. Fünftens sollte ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess eingeführt werden, damit diese Konzepte auch im Sinne der Selbstdisziplin aufrechterhalten werden. Zudem kann ein zusätzliches ‚S‘ für Sicherheit stehen, denn Sicherheit in Bezug auf Arbeitsunfälle ist vor allem im Lagerbereich von zentraler Bedeutung. Für die Implementierung und konsequente Ausführung der 5S-Prinzipien sollte eine Person im jeweiligen Bereich dafür verantwortlich gemacht werden (Richards, 2018).



*Abbildung 7: 5S-Konzept im Lager (Günther, 2021)*

### 2.12.2. Zielkonflikt Agilität und Lean Management

Die Grundlagen des Lean Management wurden bereits im vorigen Kapitel kurz besprochen. Dabei kann der Lean Management Ansatz auch im Zielkonflikt zu Agilität stehen. Unternehmen müssen agil sein, um auf Kundennachfragen in Echtzeit zu reagieren. Um den Kundenservice zu verbessern und Wettbewerbsvorteile zu erzielen, aber gleichzeitig Kosten zu senken, benötigt es eine Kombination aus Agilität und Lean Management. Das Lean Management fokussiert sich auf das Beseitigen von Verschwendung, welche für den Kunden keinen Wert aufweist (Goldsby et al., 2006). In der Praxis kombinieren viele Unternehmen die Strategie der Kostenreduzierung mit Kundenorientierung in den Lieferketten, obwohl in der Theorie oftmals die getrennte Anwendung bevorzugt wird. Möchten sich Unternehmen an dynamische Marktanforderungen anpassen, sollte die Lieferkettenstrategie fortlaufend entwickelt und angepasst werden. Vor allem strategische Entscheidungen in der gesamten Lieferkette sollten auf den Bedürfnissen des Unternehmens und der jeweiligen Marktdynamik beruhen (Borgström & Hertz, 2011).

Goldsby et al. (2006) widmen sich in ihren Ausführungen den schlanken, agilen und hybriden Lieferketten. Sie kommen zu folgendem Schluss: Wenn ein Unternehmen die Kundennachfrage agil befriedigen möchte, sollte es versuchen, nur auf Nachfrage zu produzieren, womit auch spekulative Lagerbestände vermieden werden. Hier zeigt sich, dass ein häufiger und offener Informationsaustausch zwischen den Unternehmen, den Zulieferern und den Kunden erfolgen muss, um Wege zu verkürzen. Es wird oftmals abgewogen, ob ein Unternehmen eine Lean Strategie oder eine agile Strategie verfolgen soll. Dabei wird stets das gemeinsame Ziel verfolgt, die Kundenwünsche zu den geringsten Gesamtkosten zu erfüllen (Goldsby et al., 2006).

Es gibt drei Ansätze, wie ein hybrider Ansatz zwischen Lean Management und agilem Ansatz umgesetzt werden kann. Erstens kann das *Pareto-Prinzip* angewendet werden, indem schnelldrehende Produkte, welche 20 Prozent der Artikel ausmachen, auf Vorrat nach dem Lean Prinzip und die restlichen 80 Prozent flexibel nach Kundenauftrag hergestellt werden. Zweitens kann die Nachfrage des Kunden natürlich schwanken, wobei das Unternehmen hier Fremdkapazitäten zur Deckung von Spitzen nutzen kann, um trotzdem eine gewisse Grundnachfrage schlank und effizient befriedigen zu können. Der dritte Ansatz wäre eine *Postponement-Strategie*, bei der die endgültige Form des Produktes erst bei Eingang des Kundenauftrags finalisiert wird, wodurch eine Mass-Customization entsteht (Goldsby et al., 2006). Durch die Modularisierung von Teilen und die Verschiebung von entscheidenden Aktivitäten für den Kunden in den späteren Prozess kann rasch auf Kundenbedürfnisse eingegangen und Wünsche schnellstmöglich erfüllt werden. Dadurch wird aber die Arbeit in der Intralogistik für die Versorgung der Produktion bis zum Eingang des Kundenauftrags aufgeschoben (Borgström & Hertz, 2011).

Die eigene Lieferkette und Logistik kann anhand von drei Aspekten darauf untersucht werden, ob sie schlank und agil ist. Zum einen kann die *Zeit zwischen Bestellung und Auslieferung gemessen* werden, wobei eine kürzere Zeit auf guten Kundenservice und ein schlankes System hinweisen. Der zweite Aspekt wären *niedrige Lagerbestände* in einem agilen System, da nur auftragsbezogen produziert wird. Der dritte Aspekt sind die *Gesamtkosten*, welche den Einkauf von Rohstoffen, die gesamte Intralogistik und die Produktion beinhalten. Goldsby et al. (2006) zeigen auf, dass durch die Lean Strategie die Auftragsabwicklungszeit im Vergleich zu agilen oder kombinierten Strategien deutlich verkürzt werden kann. Allerdings ist die Lean Strategie sehr anfällig in Bezug auf Verzögerungen aufgrund von schwankender Nachfrage, was zu

deutlichen Auftragsrückständen führen kann, wenn keine Bestände vorhanden sind. Im Vergleich dazu reduziert die agile Strategie spekulative Bestände, da die Produkte erst bei Bedarf fertiggestellt werden (Goldsby et al., 2006). Absatzprognosen sind unerlässlich, um die Kapazitäten für künftige Verkäufe zu sichern und die Produktions- sowie Logistikprozesse vorzubereiten (Borgström & Hertz, 2011).

Als Fazit bei der Strategiewahl kann gesagt werden, dass es auf die Produktwerte des Unternehmens ankommt, schließlich müssen viele verschiedene Kostenparameter wie Lagerkosten, Transportkosten und Fertigungskosten beachtet werden. Es hängt grundsätzlich vom Unternehmen ab, in welcher Weise es den schlanken und agilen Ansatz kombiniert, um die kostengünstigste Variante zu erhalten (Goldsby et al., 2006).

### 2.12.3. Wirtschaftlicher Nutzen und Umsetzungsempfehlungen

Das Problem bei vielen Unternehmen ist, dass der wirtschaftliche Nutzen für die kontinuierliche Verbesserung von Prozessen nicht nachgewiesen werden kann, da die Ermittlung des finanziellen Nutzens von Verbesserungsmaßnahmen oftmals nicht richtig durchgeführt wird, was wiederum zu ineffizienten Entscheidungen führt. Wemmerlöv (2021) zeigt auf, dass es grundsätzlich schwierig ist, den wirtschaftlichen Wert einer Prozessoptimierung zu berechnen, da es zwar viele verschiedene Kostenrechnungsansätze gibt, aber kein Rechnungswesen-System eine Messung dieses Wertes implementiert hat. Lean Management ist nur eine Methode von vielen für die Prozessverbesserung, zielt aber wie alle anderen Werkzeuge auf Kostensenkung oder Umsatzsteigerungen ab. Die Prozessverbesserung an sich ergibt sich, wenn sich der Wert des Ausgangs eines Prozesses steigert, indem der Input oder Prozess verändert wird (Wemmerlöv, 2021).

Der Schwerpunkt vieler Studien liegt auf der Kostenreduzierung in Bezug auf die Ressourcennutzung, Lagerbestände sowie Personal und Material, wobei viele Studien Faktoren wie Veränderungskosten, Einbeziehung von Rechnungswesen- und Finanzmitarbeitern oder die Einsparungen in der Zukunft vernachlässigen. Bisherige Studienergebnisse zeigen, dass nur ein geringes wissenschaftliches Interesse an der konkreten Messung von finanziellem Nutzen für Prozessoptimierungen besteht, weshalb Wemmerlöv (2021) einen Rahmen von neun Grundsätzen für die Wertbestimmung von Prozessoptimierungen entwickelt hat. Die ersten Grundsätze zeigen auf, dass auch die Kosten für bereitgestellte Ressourcen und nicht nur für genutzte Ressourcen in die Berechnung mitaufgenommen werden sollen. Zudem ist es wichtig, die Kapazitätskosten und das daraus resultierende Produktionsvolumen ebenfalls in Betracht zu

ziehen. Die weiteren Grundsätze beinhalten die Berücksichtigung des Ressourcenniveaus, des Tätigkeitsvolumens und der finanziellen Leistung vor und nach der Prozessverbesserung, damit diese besser vergleichbar sind. Für die Messung von Arbeit und Material sollten diese mit Standardkosten- und -zeiten bewertet werden. Zudem sind die Auswirkungen der Prozessoptimierung nicht nur auf die Kosten, sondern auch auf den Umsatz zu berücksichtigen. Durch die Optimierung von Prozessen müssen bestimmte Aktivitäten und Maßnahmen möglicherweise nicht mehr durchgeführt werden, wodurch Einsparungen entstehen, welche auch berücksichtigt werden sollten (Wemmerlöv, 2021).

Die gesamten vorhin erwähnten Parameter sollten über einen längeren Zeitraum vor und nach der Implementierung betrachtet werden, da einerseits die Nachfrage des Kunden volatil sein kann und andererseits die Preise aufgrund von Inflationsanpassungen steigen können. Um die zeitliche Veränderung adäquat zu erfassen, sollten kleinere Zeitabschnitte definiert werden, in denen das Unternehmen die Prozessverbesserung messen möchte. Auch die mit der Ausarbeitung und Implementierung verbundenen Kosten in der Prozessverbesserung sollten beachtet werden, wie beispielsweise Kosten für externe Berater, Mitarbeiterschulungen und Arbeitsplatzvorbereitungen. Um den Prozess exakt durchzuführen, sollten interne Buchhaltungs- und Finanzexperten hinzugezogen werden, um die aktuellen Finanzdaten einzubeziehen und möglicherweise auch nichtfinanzielle Daten in den Prozess der Entscheidungsfindung zu integrieren. In Summe beinhaltet das Gesamtergebnis der Berechnungen sowohl die Kosteneinsparungen als auch die zusätzlichen Umsätze, welche durch die Prozessoptimierung erreicht werden können, wobei ein positiver Wert auf eine finanzielle Vorteilhaftigkeit in dem jeweiligen Betrachtungszeitraum hinweist. Je nachdem, welche Aspekte das Unternehmen in dieser Berechnung berücksichtigt, kann die Bestimmung des wirtschaftlichen Werts von Prozessoptimierungen sehr zeitaufwändig und komplex sein. Deshalb sollten sich Unternehmen bei der Berechnung eher auf relevante Projekte fokussieren, welche viele Mitarbeiter oder Produkte betreffen und möglicherweise Investitionen in Maschinen oder Anlagen erfordern (Wemmerlöv, 2021).

Die Art, wie das Management in einem Unternehmen die Umsetzung von Lean-Management-Initiativen kontrolliert, ist entscheidend für den Erfolg. Kontrolle ist grundsätzlich wichtig, um die richtigen Personen den richtigen Aufgaben zuzuweisen. Durch die Managementkontrolle möchten Unternehmen Ressourcen effektiv und effizient nutzen, um ihre Ziele zu erreichen. Prozesse können grundsätzlich durch Leistungsberichte, interne Audits oder Standardanweisungen kontrolliert werden. Das Ergebnis kann zusätzlich kontrolliert werden, wodurch Mitarbeiter durch finanzielle und nichtfinanzielle Anreize motiviert werden, die Ziele zu erreichen. Durch zeitnahe Leistungsberichterstattung lässt sich ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess unterstützen. Zudem kann im Prozess der Berichterstattung zwischen Bottom-up und Top-down Berichterstattung unterschieden werden, wobei die Bottom-up Berichterstattung tägliche Teambesprechungen und eine Überprüfung von Leistungsdaten beinhaltet. Netland et al. (2015) gründeten dazu auch spezielle Implementierungsteams für das Lean Management, welche funktionsübergreifend arbeiten und eine bessere Koordination ermöglichen. Dabei wird in den Betrieben mit einer Faustregel von einem Teammitglied pro 150 Mitarbeiter gerechnet. Die Ergebnisse von Netland et al. (2015) zeigen, dass es einen positiven Zusammenhang zwischen der Bottom-up-Berichterstattung, nichtfinanzieller Belohnung und einer umfassenden Implementierung von Lean-Management-Ansätzen gibt. Wichtig zu erwähnen ist, dass es keinen starken Zusammenhang zwischen internen Audits, finanziellen Belohnungen und dem Ausmaß der Lean Implementierung gibt. Letzteres steht in positivem Zusammenhang mit der Verbesserung der betrieblichen Leistung des Unternehmens, was darauf schließen lässt, dass Lean Management zu einer besseren Unternehmensleistung beiträgt. Durch die Nutzung von Tafeln für die visuelle Darstellung von Indikatoren konnte ein höherer Umsetzungsgrad von Lean Management erreicht werden, da regelmäßige Besprechungen den kontinuierlichen Verbesserungsprozess fördern. Es gab eine anfängliche Skepsis in Bezug auf die finanzielle Vergütung, da diese in einigen Fällen zu weniger Zusammenarbeit und unerwünschtem Verhalten geführt hat. Im Gegensatz dazu haben nichtfinanzielle Belohnungen einen freundschaftlichen Wettbewerb hervorgerufen und dadurch die Umsetzung gefördert (Netland et al., 2015).

In den vergangenen Kapiteln wurden die Grundlagen der Intralogistik vermittelt. Zusätzlich wurden einige Umsetzungsempfehlungen für Lean Management vorgestellt, um die Intralogistikprozesse schlank zu gestalten. Im nächsten Kapitel widmet sich diese Arbeit den mittelständischen Unternehmen, welche die betrachtete Unternehmensgröße in der Forschungsfrage darstellen.

### **2.13. Intralogistik in mittelständischen Unternehmen**

Weltweit benötigen Produktionsunternehmen Digitalisierung, um die Ziele der heutigen Zeit zu erreichen. In Deutschland und Österreich, aber auch in anderen Ländern sind kleine und mittelständische Unternehmen wichtig für die Volkswirtschaft (Kilimis et al., 2019). Die Definition eines klein, beziehungsweise mittelständischem Unternehmen wird laut der europäischen Union an drei Faktoren geknüpft. Als ersten Faktor muss die Mitarbeiteranzahl festgestellt werden, wobei ein Mikrounternehmen nicht mehr als 10 Mitarbeiter, ein Kleinunternehmen nicht mehr als 50 Mitarbeiter und ein mittelständisches Unternehmen nicht mehr als 250 Mitarbeiter beschäftigen darf. Als zweiten und dritten Faktor gelten entweder der Umsatz oder die Bilanzsumme. Der Umsatz darf bei Mikrounternehmen zwei Millionen Euro nicht überschreiten, bei Kleinunternehmen darf es zehn Millionen Euro nicht überschreiten und bei mittelständischen Unternehmen darf der Umsatz 50 Millionen Euro nicht überschreiten. Die Grenzen bei der Bilanzsumme sind bei Mikro- und Kleinunternehmen gleich wie bei der Umsatzgrenze, wobei der Unterschied bei mittelständischen Unternehmen liegt, da die Bilanzsumme hier 43 Millionen Euro nicht überschreiten darf (European Commission, 2023).

KMUs in Österreich haben im Jahr 2021 einen Umsatz von 535,4 Milliarden Euro erwirtschaftet, was zu einer Bruttowertschöpfung von 61 Prozent der gesamten Wertschöpfung in Österreich beiträgt (BMDW, 2022). Dabei ist die digitale Transformation in dieser Unternehmensgröße von der Einführung digitaler Technologien abhängig. Durch den oftmaligen Mangel an digitalen Kompetenzen in den KMUs erfolgt diese recht langsam. Zudem führen unzureichendes Wissen und Fähigkeiten sowie eine negative Einstellung gegenüber den neuen Technologien dazu, dass diese nicht angewendet werden. Dies resultiert bei KMUs zu Fehleinschätzungen bezüglich der Auswirkungen, der Komplexität und dem wirtschaftlichen Nutzen von Digitalisierung (Kilimis et al., 2019). Aber kleine und mittelständische Unternehmen sind im Durchschnitt sehr offen für Veränderungen und können aufgrund ihrer Betriebsgröße schneller strategische Entscheidungen treffen. Die Einführung von Informations- und Digitalisierungstechnologien ist für Produktionsunternehmen sehr wichtig, da die Unternehmensleistung durch effektivere Kunden- und Lieferantenbeziehungen verbessert werden kann (Ghobakhloo & Ching, 2019).

Die digitale Transformation beeinflusst die gesamte Wertschöpfungskette von produzierenden Unternehmen, wobei eine Vielzahl an Technologien bei der Umsetzung unterstützen können und grundlegend für die Industrie 4.0 sind. Dazu zählen Internet of Things (IoT)-Anwendungen

und cyber-physische Systeme. In Deutschland wurde eine Studie durchgeführt, bei der 50 kleine und mittelständische Unternehmen in Bezug auf ihre Umsetzung von Digitalisierungsinitiativen bewertet wurden. Dabei wurden als Hauptproblembereiche ERP-Systeme mit 83 Prozent genannt, Automatisierungstechniken mit 46 Prozent, Fabrikplanung mit 35 Prozent, Logistik und Supply Chain Management mit 28 Prozent sowie Produktionsplanungssysteme mit 22 Prozent. Die Ergebnisse legen nahe, dass vor allem das verarbeitende Gewerbe noch Probleme mit der Digitalisierung hat (Kilimis et al., 2019).

Wie bereits bei Kilimis et al. (2019) ersichtlich ist, bringt die Implementierung fortgeschrittener Digitalisierungstechnologien für KMUs Herausforderungen mit sich, da sie sehr wissensintensiv und komplex sind. Der Einsatz von Informations- und Digitalisierungstechnologien im Kontext einer intelligenten Fertigung stellt an kleine und mittelständische Unternehmen aufgrund der Ressourcenbeschränkung besondere Anforderungen. Zum einen erfordern finanzielle und technologische Beschränkungen gründliche Überlegungen bei der Einführung (Ghobakhloo & Ching, 2019). Kleine und mittelständische Unternehmen sollten sich zunächst auf die Digitalisierung von manuellen Prozessen konzentrieren, welche den größten Nutzen bringen. Zum anderen sollten eventuell vorhandene Probleme im ERP-System gelöst werden, da dies ein zentrales System für die Planung und Verwaltung aller Ressourcen ist. Anschließend kann das ERP-System ganzheitlich im Unternehmen implementiert werden, damit die Prozesse auch im System abgebildet sind. Nach dem ERP-System sollten etwaige Fabrikplanungsprobleme in Kombination mit Logistiktechnologien optimiert werden, was Automatisierungstechnologien einschließt (Kilimis et al., 2019).

Diese Handlungsempfehlungen sollten von jedem Unternehmen individuell abgearbeitet werden, da jedes Unternehmen einen anderen technischen Hintergrund sowie unterschiedliche Infrastruktur hat. Zudem sollte vor der Implementierung etwaiger Technologien eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt werden, damit datenbasierte Entscheidungen getroffen werden können (Kilimis et al., 2019). Die Technologien sollen unbedingt in die Geschäftsstrategie integriert werden, um effektiv genutzt zu werden. Außerdem ist es für KMUs wesentlich, qualifizierte Mitarbeiter in den Bereichen Vernetzung, Datenanalyse und Software-Engineering zu haben (Ghobakhloo & Ching, 2019). Ferner kann das Know-how von bestehenden Mitarbeitern genutzt werden, um möglichen Ängsten entgegenzuwirken (Kilimis et al., 2019).

Für die Implementierung der Technologie ist es dienlich, eine strategische Roadmap zu erstellen (Ghobakhloo & Ching, 2019).

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Grundlagen der Intralogistik in mittelständischen Produktionsunternehmen nähergebracht. In den folgenden Kapiteln werden nun die Industrie 4.0 sowie Einflussfaktoren wie beispielsweise künstliche Intelligenz näher erläutert. Durch die Kapitel zum Thema künstliche Intelligenz und Industrie 4.0 werden weitere Grundlagen für die Beantwortung der Forschungsfrage vermittelt.

### **3. Integration und Einfluss von künstlicher Intelligenz in der Industrie 4.0**

Künstliche Intelligenz (KI) nutzt datengesteuerte Machine-Learning-Algorithmen, um Probleme ähnlich wie Menschen zu lösen, wobei vor allem im Supply Chain Management und in der Logistik ein wachsender Trend zum Einsatz dieser Technologien zu verzeichnen ist (Hasija & Esper, 2022). Deshalb wird in den folgenden Kapiteln der Einsatz von künstlicher Intelligenz besprochen, sowie welche Datengrundlage für den Einsatz vorhanden sein muss. Dies bildet die Grundlage für die spezifische Anwendung von künstlicher Intelligenz in der Intralogistik, welche im Kapitel vier beschrieben wird. Es wird auch auf die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit eingegangen, die Industrie 4.0 näher erläutert, sowie das Industrie 4.0 Reifegradmodell erklärt, welches die Grundlage für den empirischen Teil dieser Arbeit bildet. Als Abschluss dieses Kapitels wird der Faktor ‚Mensch‘ in der Industrie 4.0 näher erläutert, da er einen wesentlichen Beitrag zur Integration von künstlicher Intelligenz in den Unternehmen leistet.

#### **3.1. Grundlagen der künstlichen Intelligenz**

KI wird als Wissenschaft intelligenter Maschinen und Techniken angesehen, wobei der Fokus auf intelligenten Computerprogrammen liegt. Maschinelles Lernen ist ein wesentlicher Bestandteil davon und meint, dass automatische Muster in Datensätzen erkannt werden. Eine weitere Unterkategorie von maschinellem Lernen ist ‚Deep Learning‘ und ermöglicht eine nichtlineare Informationsverarbeitung. Die Forschungsarbeiten in diesem Bereich nehmen in den letzten Jahren deutlich zu, vor allem in Wirtschaft, Unternehmensführung, Marketing, Technik und Medizin (Woschank et al., 2020). In der Logistik und dem Supply Chain Management wird hauptsächlich generative künstliche Intelligenz eingesetzt. Diese kann für maschinelles Sehen, Spracherkennung und die Verarbeitung von natürlicher Sprache, maschinelles Lernen sowie robotergestützte Prozessautomatisierungen eingesetzt werden



(Richey et al., 2023). Lee et al. (2018) bestätigen, dass KI in Forschungsbereichen der Industrie oftmals Bildverarbeitung, Verarbeitung natürlicher Sprache oder Robotik sowie maschinelles Lernen beinhaltet. Das Potential von künstlicher Intelligenz ist enorm, da es große Datenmengen verarbeiten kann und dadurch neue Möglichkeiten der Effizienzsteigerung in der Intralogistik bietet. Intelligente Intralogistiksysteme helfen dabei, Transportkosten einzusparen, Durchlaufzeiten zu minimieren, Bestände zu optimieren und die Reaktionsfähigkeit zu erhöhen (Olewe et al., 2023). Der Grund, warum künstliche Intelligenz im Vergleich zu anderen Technologien, wie beispielsweise Blockchain, bereits früh große Erfolge und Anerkennung verzeichnen konnte, ist beispielsweise die Textgenerierung und das hohe Maß an Geschicklichkeit von Robotern. Die Herausforderungen bei künstlicher Intelligenz liegen darin, dass die Ausgabequalität von den vorhandenen Trainingsdaten und der Aufforderung des jeweiligen Nutzers abhängt (Richey et al., 2023).

Ein Nachteil der künstlichen Intelligenz in Bezug auf den Menschen ist beispielsweise die Unterrepräsentation von Frauen und Minderheiten in den Daten. Dies kann zu Verzerrungen in den Algorithmen führen. Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) arbeitet bereits an Grundsätzen für eine ethische KI-Entwicklung, wodurch mehr Transparenz, Menschenrechte und soziale Inklusion fokussiert werden sollten (Hasija & Esper, 2022). Auch Herausforderungen bei der Integration von künstlicher Intelligenz in die Organisation sollte nicht vernachlässigt werden. Es gibt einige Hürden, darunter Datenschutzrichtlinien, Urheberrechtsfragen, fehlende Regulierungspläne und, wie vorhin erwähnt, ethische Überlegungen, die es zu berücksichtigen gilt (Richey et al., 2023).

Auch die Entwicklung von künstlicher Intelligenz in automatisierten Systemen schreitet weiter voran. Moderne Systeme sind immer öfters interaktiv und an andere Systeme gekoppelt, was die Leistungsfähigkeit erhöht und das Kompetenzniveau in manchen Fällen bereits über jenes von Menschen hebt. Solche automatisierten Systeme können in Zukunft Erwartungen noch übertreffen, was sowohl Chancen als auch Risiken mit sich bringt (Klumpp, 2018). Die Herausforderungen, welche künstliche Intelligenz im Bereich Logistik und Supply Chain Management hervorbringt, sollte bei all den Vorteilen nicht außen vorgelassen werden. In der aktuellen Lage versprechen sich viele Unternehmen durch die Einbindung von künstlicher Intelligenz in den Logistikbereich ein noch nie dagewesenes Potential an Innovation und Effizienz im Unternehmen (Richey et al., 2023).

### **3.2. Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch künstliche Intelligenz**

Um die Intralogistik in einem Unternehmen zu verstehen, wird ein ganzheitliches Verständnis der logistischen Prozesse benötigt. Für eine Optimierung braucht es ein Zusammenspiel aus Technik, IT und dem verfügbaren Personal. Ziel ist es, nachhaltige Wettbewerbsvorteile zu generieren und die Effizienz zu steigern (Arnold et al., 2007). Unter anderem durch diverse Stakeholder werden Unternehmen in der Logistikbranche unter Druck gesetzt, die digitale Transformation voranzutreiben, um sich so im Wettbewerb zu profilieren (Cichosz et al., 2020). Der hohe Wettbewerbsdruck und das Streben nach Wettbewerbsfähigkeit in der Industrie 4.0 motiviert auch kleine und mittelständische Unternehmen zur Einführung von neuen Technologien (Ghobakhloo & Ching, 2019).

Um die digitale Reife des Unternehmens beziehungsweise der Logistikprozesse zu erhöhen, haben einige Unternehmen bereits verschiedene Technologien implementiert. Dabei werden vor allem Projekte umgesetzt, bei denen Papierdokumente abgeschafft, Tracking- und Tracing-Funktionen eingeführt sowie Kundenkontakte und administrative Tätigkeiten digitalisiert werden (Cichosz et al., 2020). Natürlich bleibt die Herausforderung für Unternehmen, die Kosten zu senken, bei gleichzeitig steigendem Servicegrad und verkürzten Durchlaufzeiten (Arnold et al., 2007).

Unternehmen stehen mit ihren Lieferketten vor globalen Herausforderungen, da eine ständige Anpassung in einem komplexen und unsicheren Umfeld durchgeführt werden muss, was zu ständigem Wettbewerb zwischen den Unternehmen führt. Gesellschaftliche Trends wie eine alternde Bevölkerung, Ressourcenerschöpfung und Urbanisierung verstärken dieses komplexe und unsichere Umfeld, wodurch Unternehmen das Erfolgspotential in den jeweiligen Lieferketten erkennen müssen, um die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Durch den demografischen Wandel und die alternde Bevölkerung wird die Notwendigkeit für lebenslanges Lernen und die Nachfrage nach digitalen und menschenzentrierten Fähigkeiten erhöht. Als Folge der Urbanisierung leben immer mehr Menschen in Städten, was größere Mengen an Gütern sowie ein erhöhtes Verkehrsaufkommen bedeutet. Auch die Wünsche der Endverbraucher ändern sich und die Nachfrage nach personalisierten Produkten steigt, was Unternehmen dazu zwingt, ihre Prozesse entlang der Lieferkette zu überdenken. Lieferketten und deren Prozesse müssen sich dieser Dynamik anpassen, um die internen Fähigkeiten und Strategien an diese Dynamik abzustimmen. Lieferkettenaktivitäten beinhalten den

Informationsaustausch, die Koordination, die Integration und Reaktionsfähigkeit der verschiedenen Beteiligten (Pessot et al., 2023).

Durch den Einsatz von KI können zum einen Vorhersagen um bis zu 40 Prozent genauer werden und Überbestände um bis zu 20 Prozent reduziert werden. Diese Zahlen machen deutlich, welche Wettbewerbsvorteile durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz entstehen können (Hasija & Esper, 2022). Zum anderen lassen sich komplexe Entscheidungsprozesse und Abläufe effizienter verwaltet, wodurch auch die Prozesse an sich erneuert werden (Richey et al., 2023). Dennoch wird die Implementierung von künstlicher Intelligenz oftmals als problematisch betrachtet. Denn viele Unternehmen stecken entweder in der Implementierungsphase fest oder berichten, dass ein mangelndes Vertrauen gegenüber KI-Lösungen herrscht. Die größte Angst bei Arbeitnehmern liegt darin, dass sie fürchten, ihren Arbeitsplatz zu verlieren. Das Umsetzungsproblem von KI-Anwendungen ist demnach vor allem auf den Widerstand der Belegschaft zurückzuführen (Hasija & Esper, 2022).

Durch Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie eine guten Zusammenarbeit mit Partnern oder Start-ups kann externes Wissen ins Unternehmen geholt werden, wodurch die Innovationsfähigkeit gesteigert und ein Wettbewerbsvorteil generiert wird (Cichosz et al., 2020). Ebendieser soll durch die Kombination aus innovativen Technologien durch kundenorientierte Produkte, ein starkes Kollaborationsnetzwerk und einen optimalen Ressourceneinsatz gewährleistet werden. Durch eine maßgeschneiderte Implementierung der Technologie auf die Bedürfnisse des Unternehmens kann ein Alleinstellungsmerkmal generiert werden, wodurch sich das Unternehmen von der Konkurrenz abhebt (Battistoni et al., 2023). Durch künstliche Intelligenz kann die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen bereits erheblich gesteigert werden. Um nun näher auf weitere Technologien einzugehen, wird in den nächsten Kapiteln die Industrie 4.0 näher beschrieben.

### 3.3. Industrie 4.0

Die vierte industrielle Revolution, auch als Industrie 4.0 bezeichnet, legt den Fokus auf Konzepte und Technologien, welche zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit von Industrieunternehmen dienen sollen. Dabei liegt ein besonderer Schwerpunkt auf der Digitalisierung, Automatisierung und Vernetzung von Geräten sowie Prozessen (Woschank et al., 2020). In den folgenden Unterkapiteln werden die möglichen Technologien in der Industrie 4.0 aufgezeigt, sowie ein grober Überblick über die möglichen Herausforderungen gegeben. Dieses Kapitel dient als weitere Grundlage für die Einordnung in das Industrie 4.0 Reifegradmodell.

#### 3.3.1. Begriffsdefinition und Geschichte

Der Begriff ‚Industrie 4.0‘ wurde um die 2010er Jahre vorgestellt und wird seither in Fachliteratur und Forschung verwendet. Die neuen Informationstechnologien zur Bewältigung steigender Komplexität sind nur ein Aspekt in der digitalen Transformation. In der Definition der Industrie 4.0 wurde auch die Vision einer smarten Fabrik vorgestellt, die individuelle und nachhaltige Massenproduktion ermöglicht, um globale Kundenwünsche zu erfüllen (Winkelhaus & Grosse, 2020).

Die *erste* industrielle Revolution war durch die Einführung von mechanischen Produktionsanlagen gekennzeichnet, wobei hierfür hauptsächlich natürliche Energien genutzt wurden. Die *zweite* industrielle Revolution kennzeichnete den Einsatz von Öl, Gas und Elektrizität, um die Massenproduktion voranzutreiben. In der *dritten* industriellen Revolution wurden schließlich Computer eingesetzt und grundlegende Prozesse digitalisiert. In Abbildung 9 werden die Revolutionsstufen grafisch dargestellt (Alenizi et al., 2023). Der Begriff *Industrie 4.0* beinhaltet die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien in die Produktion von Industrieunternehmen. Durch diese Integration können Prozesse und Systeme im Unternehmen effizienter gestaltet sowie neue Möglichkeiten geschaffen werden, wie sich Unternehmen von der Konkurrenz bezüglich des Leistungsangebots abheben (Schuh et al., 2020). Zudem kann durch die Kombination von verschiedenen Technologien die Fähigkeit, Informationen in einem Unternehmen zu verarbeiten, verbessert werden (Battistoni et al., 2023).

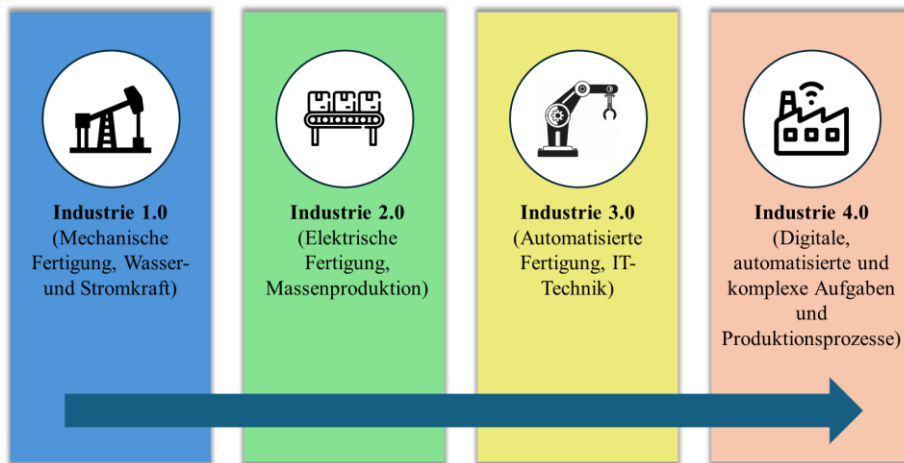


Abbildung 8: Verlauf industrieller Revolutionen, Eigene Darstellung in Anlehnung an (Alenizi et al., 2023)

### 3.3.2. Technologien in der Industrie 4.0

Die Industrie 4.0 bietet Möglichkeiten für den Einsatz von physischer Hardware und Software. Die Hardware beinhaltet Geräte, welche die Arbeit unterstützen oder ersetzen, während die Software als Planungs- und Analysewerkzeug eingesetzt wird. Ersteres können beispielsweise intelligente Wearables, Überwachungsgeräte oder Roboter sein. Der Einsatz solcher Hardware kann die physische Belastung von Mitarbeitern verringern, aber auch zu Motivationsproblemen führen. Deshalb sollte die subjektive Erfahrung bei der Entscheidung über neue Geräte berücksichtigt werden. Durch Industrie-4.0-Software kann die Konnektivität und Datenmenge erhöht werden, was bessere Planungsmodelle ermöglicht und Potential für Wettbewerbsvorteile bietet (Lombaert et al., 2022). Die Industrie befindet sich in einem radikalen Wandel, vor allem durch die Integration von künstlicher Intelligenz und Technologien wie Internet of Things (IoT), Big Data Analytics, Cloud-Computing und cyber-physischen Systemen (CPS) (Lee et al., 2018). In einer smarten Fabrik sind diese Technologien ebenso wie die additive Fertigung wichtige Treiber und werden in den folgenden Absätzen näher beschrieben.

Durch das Internet der Dinge (IoT) wird die Generierung und Übertragung von Informationen und Objekten zu dezentralen oder zentralen Systemen möglich. Diese Technologie ermöglicht die gemeinsame Informationsnutzung über eine einheitliche Plattform. Dabei kann die Informationsgewinnung beispielsweise durch RFID-Technologie oder Sensoren erfolgen. Ein Einsatzbereich von IoT in der Logistik ist beispielsweise die Echtzeit-Informationsverarbeitung für eine höhere Effizienz und Reaktionsfähigkeit in den Prozessen (Winkelhaus & Grosse, 2020). Durch den Einsatz von IoT in der Industrie 4.0 können Maschinen, Produkte und Prozesse zwischen allen Akteuren in der Lieferkette integriert und in Systemen vernetzt werden

(Pessot et al., 2023). Dadurch wird die Sichtbarkeit und Genauigkeit in Logistikprozessen deutlich verbessert. Vor allem im Bereich der Transportlogistik, Lagerverwaltung, dem Bestandsmanagement und der Retouren-Logistik (Reverse Logistics) lassen sich IoT-Anwendungen einsetzen. Die Entscheidung dafür hängt vorwiegend vom Management ab, jedoch spielen auch das IT-Fachwissen, der Wettbewerbsdruck und Sicherheitsbedenken bei der Entscheidung eine Rolle. Als große Herausforderung bei der Implementierung von IoT-Systemen in der Logistik werden Regulierungsprobleme oder Implementierungskosten genannt (Winkelhaus & Grosse, 2020).

Intelligente Verpackungen sind mit RFID oder Temperatursensoren ausgestattet und dadurch eine wichtige Infrastruktur für die Informationsgenerierung und -übertragung. Durch diese Informationen können die Behälter beispielsweise die jeweilige Beladung beeinflussen und so den Materialfluss im Unternehmen verbessern. Zudem kann auch der interne Status der Verpackung auf Beschädigung oder Zerstörung überprüft sowie frühzeitig auf jegliche Veränderungen hingewiesen werden (Winkelhaus & Grosse, 2020).

*Cyber-physische Systeme (CPS)* erweitern den IoT-Ansatz, indem sie – basierend auf Rückkopplungsschleifen zwischen physischen Prozessen und Berechnungen – direkt auf die physische Welt reagieren. Sie können beispielsweise bei intelligenten Logistiksystemen wie der Ressourcenplanung, den Lager- und Transportsystemen (zum Beispiel autonome Schwarmrobotik) oder zur Informationssicherheit dienen. Durch die Zusammenarbeit von IoT und CPS ist eine erhebliche Effizienzsteigerung und Dezentralisierung der Logistikprozesse möglich. Es soll durch Selbstorganisation auf Veränderungen reagiert werden, mit positiven Auswirkungen auf die Durchlaufzeit (Winkelhaus & Grosse, 2020).

Durch den Einsatz von *Big Data* in der Industrie 4.0 können umfangreiche Datensätze zur Optimierung, Steuerung und Vorhersage eines Systems verarbeitet werden (Winkelhaus & Grosse, 2020). Entsprechende Anwendungen können diese Datenmengen zur vorausschauenden Wartung, Prozessoptimierung und Entscheidungsunterstützung heranziehen (Alenizi et al., 2023). Big-Data-Anwendungen lassen sich des Weiteren für optimierte Routen oder kundenindividuelle Dienstleistungen einsetzen. Durch Big Data können Unregelmäßigkeiten in Logistikdaten identifiziert und deren Ursache herausgefunden werden, da es Nachfrage und Bestellungen prognostizieren und so als Vorhersage- und Analysewerkzeug eingesetzt werden kann. Neben dem Bereich Big Data wird in der modernen Logistik häufig auch der Begriff *Cloud Computing* verwendet. Es meint den allgegenwärtigen

Zugang zu Computerressourcen für eine schnelle Bereitstellung von Informationen und benötigte Freigaben (Winkelhaus & Grosse, 2020). Durch Cloud Computing können Daten und Anwendungen von Cloud-Servern gespeichert, verarbeitet und abgerufen werden (Alenizi et al., 2023). In der Logistik kann durch Cloud Computing die Geräteleistung verbessert werden und beispielsweise eine dynamische Ressourcenbereitstellung zur Verarbeitung von großen Datenmengen gewährleisten, was wiederum die Flexibilität und Effizienz in der Logistik steigert (Winkelhaus & Grosse, 2020).

Durch mobile Dienste in der Logistik kann Flexibilität in die Prozesse integriert werden, da Informationen durch Internet oder andere drahtlose Technologien zur richtigen Zeit am richtigen Ort abgerufen werden können. Auch der Bereich *Augmented Reality (AR)* wurde experimentell in verschiedenen Artikeln untersucht, um beispielsweise Kommissioniervorgänge in Bezug auf Effizienz und Fehlerreduktion zu verbessern (Winkelhaus & Grosse, 2020). Durch *Augmented Reality* werden digitale Informationen auf die reale Welt übertragen, was zu einer Verbesserung der Interaktion zwischen Maschinen und Produkten führt (Alenizi et al., 2023). Auch die sozialen Medien wie beispielsweise Twitter können für die Lösung von Lieferprobleme und der Verbesserung von Kundenkommunikation eingesetzt werden. Via *Virtual Reality (VR)* können beispielsweise Schulungen durchgeführt und Informationen für Entscheidungen gesammelt werden. Beispielsweise lassen sich Gabelstaplerfahrer simulieren, wodurch der Transportweg verbessert werden kann (Winkelhaus & Grosse, 2020).

Wie aus dem Artikel von Winkelhaus und Grosse (2020) hervorgeht, enthält die Industrie 4.0 eine Vielzahl an Technologien, welche im Bereich der Logistik eingesetzt werden können. Zudem können durch Simulationen Prozesse und Systeme bereits vor der Implementierung durch digitale Modelle optimiert werden. Die *additive Fertigung*, unter die auch der 3D-Druck fällt, kann zur Herstellung von Produkten herangezogen werden, welche aus digitalen Modellen entstehen und dadurch einen geringeren Materialabfall haben (Alenizi et al., 2023). Durch die additive Fertigung können einzigartige oder nicht mehr hergestellte Produkte gefertigt werden, was das Ersatzteilmanagement und den Prototypenbau revolutioniert (Fawcett & Waller, 2014). *KI-Technologien* können in der Industrie 4.0 zur Überwachung von Prozessen, zur Wartung und Kontrolle sowie für Prozessoptimierungen eingesetzt werden. Zudem kann künstliche Intelligenz in der Industrie 4.0 zur Qualitätssteigerung und Reduzierung von menschlichen Fehlern beitragen (Alenizi et al., 2023).

### 3.3.3. Herausforderungen und Wettbewerbsfähigkeit

Die intelligente Fabrik zielt auf ein vollständig integriertes, kollaboratives Produktionssystem ab, welches in Echtzeit reagieren kann. Für die Integration einer intelligenten Fertigung in das Unternehmen ist eine Vernetzung der physischen und digitalen Welt unerlässlich (Ghobakhloo & Ching, 2019). Zudem bringt die Digitalisierung in der Industrie 4.0 Herausforderungen in der Unternehmenskultur mit sich, da sich nicht nur die Technologie, sondern auch die Organisation als Ganzes verändert. Ziel ist es, eine agile und lernende Organisation zu schaffen, welche sich ständig an die veränderte Umwelt anpasst (Schuh et al., 2020).

Um wettbewerbsfähig zu bleiben, muss auch die Logistik als Schlüsselement effizient agieren und die Logistiksysteme sollten dementsprechend angepasst werden. Die Logistik 4.0 beinhaltet Treiber wie die Globalisierung, den demografischen Wandel, verkürzte Produktlebenszyklen und die erhöhte Nachfrage nach individuellen Produkten. Die Logistik 4.0 soll die individuellen Kundenbedürfnisse nachhaltig ohne erhebliche Kostensteigerungen erfüllen, was nur durch Unterstützung digitaler Technologien möglich ist. Vor allem die zunehmende Bedeutung einer schnellen Reaktion auf Veränderungen in Bezug auf die Echtzeittransparenz soll beachtet werden. Um die Vielfalt von Produktvarianten ohne Kostensteigerung oder Minderung der Qualität herzustellen, müssen neue Wege von Postponement und Modularisierung der Produkte gefunden werden. Es gibt Merkmale in der Logistik 4.0 wie Echtzeit Big-Data Analysen, um beispielsweise einen reduzierten Lagerbestand zu haben, autonome Roboter zu steuern, einen Informationsaustausch in Echtzeit zu gewährleisten und durch smarte Gegenstände einen durchgehenden Informationsfluss herzustellen (Winkelhaus & Grosse, 2020).

Um nun die erforderlichen Technologien, sowie die Herausforderungen und die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen im Bereich der Industrie 4.0 besser bewerten und einordnen zu können, wird im nächsten Kapitel das Industrie 4.0 Reifegradmodell vorgestellt. Das Industrie 4.0 Reifegradmodell wurde für die Einordnung der fünf untersuchten Produktionsunternehmen herangezogen.



### 3.4. Reifegradmodell: Industrie 4.0 Maturity Index

Der ‚Acatech Industrie 4.0 Maturity Index‘ von Schuh et al. (2020) wurde ursprünglich bereits im Jahr 2017 präsentiert und dient als Leitfaden für den digitalen Transformationsprozess. Das Reifegradmodell besteht aus sechs Stufen basieren auf Ressourcen, Informationssystemen, der Organisationsstruktur und Kultur im Unternehmen und ist in Abbildung 10 zu sehen. Diese vier Gestaltungsfelder beinhalten grundlegende Prinzipien, welche von den Unternehmen verfolgt werden sollten, um die jeweiligen Fähigkeiten aufzubauen. Durch die Anwendung des Reifegradmodells entwickeln Unternehmen eine auf sie zugeschnittene digitale Roadmap in der Industrie 4.0, die dazu dient, eine agile Organisation aufzubauen. Das Reifegradmodell wurde in Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen und dem Fraunhofer Institut entwickelt. (Schuh et al., 2020). Im Bereich der akademischen Forschung in den Themenbereichen der Industrie 4.0 sind im deutschsprachigen Raum die RWTH Aachen und das Fraunhofer IOSB prominente Institutionen, welche auch immer wieder wissenschaftliche Artikel zu diesem Thema veröffentlichen (Liao et al., 2017). Dies unterstreicht das Ansehen des Reifegradmodells.

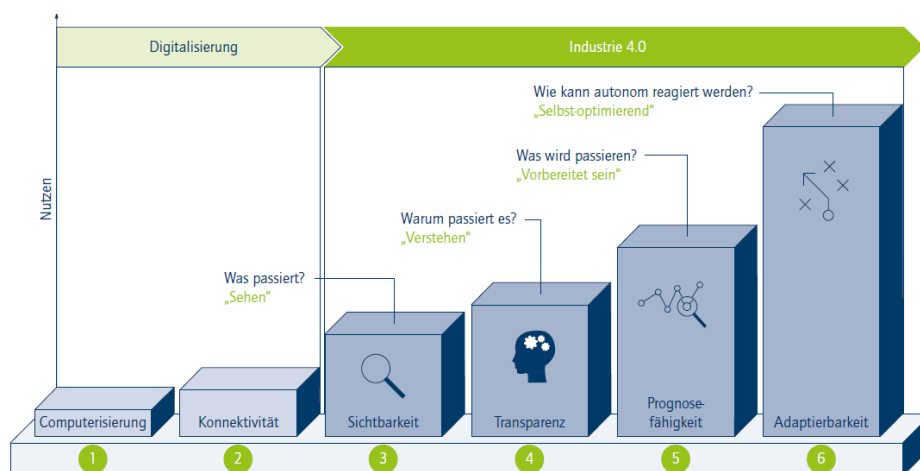


Abbildung 9: Industrie 4.0 Maturity Index (Schuh et al., 2020)

Der Industrie 4.0 Maturity Index wurde in vier Phasen entwickelt. Zunächst wurden Projekte mit strategisch wichtigen Partnern diskutiert. Dies sind zum einen Partner aus der Forschung und zum anderen Partner aus der Industrie. In der zweiten Phase wurde ein Lenkungsausschuss gebildet, welcher die Fortschritte in der Entwicklung des Modells überprüfen sollte. In der dritten Phase wurden die Projekte in der Praxis validiert. Hierfür wurden technologiebasierte Fertigungsunternehmen herangezogen. In der vierten und letzten Phase wurden die

gewonnenen Erkenntnisse aus den vorigen drei Phasen überprüft und bei Bedarf im Modell überarbeitet (S. Mittal et al., 2018).

Der Acatech Industrie 4.0 Maturity Index bietet einen Rahmen, welcher für die Bewertung und Förderung der digitalen Transformation im Zeitalter der Industrie 4.0 herangezogen werden kann. Für kleine und mittelständische Unternehmen ist die Anforderung für die Bewertung allerdings sehr hoch, wodurch möglicherweise eine externe Expertise erforderlich ist. Dies führt zu Kosten und benötigt Zeit, welche in der Entscheidung über den Einsatz bedacht werden sollte (S. Mittal et al., 2018). Die Bewertung des Aufwands, einen höheren KI-Reifegrad zu erreichen, sollte dem individuellen Nutzen des Unternehmens gegenübergestellt werden. Dabei zeigt sich, dass mit höheren technologischen Reifegraden sowohl der Aufwand als auch der Nutzen steigt, wobei der Nutzen durchschnittlich immer höher als der Aufwand bewertet wird (Olewe et al., 2023).

#### 3.4.1. Sechs Stufen des Reifegradmodells

Die erste Stufe im Reifegradmodell ist die *Computerisierung*. Diese Stufe bildet den Ausgangspunkt des Reifegradmodells und liegt noch im Bereich der Digitalisierung. Auf dieser Stufe ist der Einsatz von Informationstechnologie zwar vorhanden, aber noch isoliert von anderen Technologien. Der Schwerpunkt liegt auf der Effizienzsteigerung von wiederkehrenden Aufgaben, wodurch die Produktion effizienter und fehlerfreier wird. Die Computerisierung ermöglicht es den Unternehmen, präzise Produkte zu fertigen. Als Herausforderungen auf dieser Stufe werden nichtdigitalisierte Produktionsmaschinen gesehen. Zum einen haben Produktionsmaschinen oftmals lange Lebenszeiten, zum anderen aber keine Schnittstelle zu den betrieblichen Anwendungssystemen, wodurch eine manuelle Bedienung erforderlich ist. Beispielsweise werden in dieser Stufe bei CNC-Maschinen die CAD-Daten noch manuell übertragen, da die Maschine nicht vernetzt ist. Betriebliche Anwendungssysteme verfügen noch über keine Verbindung zum ERP-System, wodurch beispielsweise Messdaten aus der Qualitätssicherung nicht mit dem Fertigungsauftrag verknüpft sind. Zudem können Fehler, welche im Produktionsprozess passieren, keinen Aufträgen zugeordnet werden. Die Organisation in dieser Stufe ist traditionell und ähnelt einer klassischen Aufbauorganisation, bei der das Anstoßen von Veränderungen und Innovationen eine reine Führungsaufgabe ist. Zudem gibt es klare Kommunikationswege für die Weitergabe von Informationen an die Mitarbeiter (Schuh et al., 2020).

Auf der zweiten Stufe des Reifegradmodells (*Konnektivität*) wird der isolierte Einsatz von IT bereits durch vernetzte Komponenten abgelöst. Dabei sollen die IT-Systeme die Geschäftsprozesse des Unternehmens widerspiegeln. Die operativen Techniken beinhalten Soft- und Hardware für die Steuerung und Überwachung von physischen Geräten. Operative Techniken haben bereits Schnittstellen zur IT in der Organisation, sind aber noch nicht vollständig integriert. Auf dieser Stufe ist bereits die Grundlage für IoT geschaffen, indem eine Anbindung aller Komponenten durch das Internetprotokoll IPv6 durchgeführt wurde. Als Beispiel auf dieser Stufe wird aufgezeigt, dass Fertigungsschritte im Unternehmen bereits automatisch mittels Manufacturing-Execution-Systems (MES) rückgemeldet werden und Hersteller ihre Maschinen und Produkte per Remote Service warten können. Zudem sollten CAD-Daten nicht mehr manuell, sondern mittels Informationstechnologie übertragen werden. Natürlich können auch auf dieser Stufe ältere Maschinen in der Produktion erhalten bleiben, wenn sie die geforderte Qualität liefern. Diese sollten jedoch mit Sensoren nachgerüstet und mit standardisierten IP-Kommunikationstechnologien ausgestattet sein, damit in der Produktion eine Vernetzung stattfinden kann. Generell sollte im Unternehmen die Bereitschaft zur Veränderung herrschen, sodass Veränderungen durch Prozesse im Hintergrund unterstützt und durch klassische Projektmanagementmethoden begleitet werden. Auf dieser Stufe sind kurzfristige Anpassungen oftmals nur bedingt möglich, da Veränderungen einen hohen Aufwand mit sich bringen (Schuh et al., 2020).

Auf Stufe drei, der *Sichtbarkeit*, können die Prozesse aufgrund der in der vorigen Stufe verbauten Sensoren auf vielen Datenpunkten erfasst und überwacht werden. Dadurch lassen sich alle Vorgänge und Zustände im Unternehmen in Echtzeit erfassen. Es entsteht ein sogenannter ‚digitaler Schatten‘, welcher jederzeit ein aktuelles Bild des Unternehmens anhand von Daten ausgibt. Dadurch kann das Management Entscheidungen datenbasiert treffen. Dies bildet die Voraussetzung für die weiteren Entwicklungsstufen im Reifegradmodell. Natürlich bringt der Aufbau eines digitalen Schattens im Unternehmen auch Herausforderungen mit sich. Zum einen haben viele Unternehmen noch keine ‚Single Source of Truth‘ etabliert, was bedeutet, dass Daten auf vielen dezentralen Silos verteilt liegen. Durch die Integration der verschiedenen Softwaresysteme im Unternehmen sollte versucht werden, ein ganzheitliches Bild zu erzeugen. Außerdem werden in manchen Bereichen noch keine Daten gesammelt, was die Vollständigkeit der Daten begrenzt. Ein flächendeckendes Sammeln von Daten ist für Organisationen jedoch essenziell, um einen funktionsfähigen digitalen Schatten zu erstellen, mit dem in weiterer Folge Simulationen der Geschäftsprozesse durchgeführt werden können.

Eine weitere Herausforderung bildet der begrenzte Zugang zu erfassten Daten für alle Personen im Unternehmen. Dabei muss ein Umdenken in der Organisation stattfinden. Zum einen soll klargestellt werden, dass die Daten nicht nur für einzelne Analysen gesammelt werden, sondern im gesamten Unternehmen benötigt werden. Zum anderen will das Unternehmen durch diese Daten ein möglichst ehrliches Abbild der Wirklichkeit im Unternehmen schaffen. Es müssen ferner organisatorische Veränderungen erfolgen. Durch Kollaborationsplattformen sollte im Unternehmen unter den Mitarbeitenden gefördert werden, um die klassischen Ablaufstrukturen aufzubrechen. Weiters sollen die Mitarbeiter stärker in den Veränderungsprozess eingebunden werden, damit eine Akzeptanz gegenüber der Veränderung entsteht und Prozessabweichungen sowie Innovationen offen kommuniziert werden können (Schuh et al., 2020).

Auf der vierten Stufe (*Transparenz*) erfasst der digitale Schatten, welcher in Stufe drei implementiert wurde, bereits den Zustand des Unternehmens. Zusätzlich werden Ursachenanalysen erstellt, was ein gutes Verständnis für Wirkungszusammenhänge in der Organisation bringt. Durch die große Menge an Daten werden neue Technologien wie beispielsweise Big-Data-Anwendungen zur Analyse benötigt. Parallel dazu kommen betriebliche ERP-Systeme zum Einsatz. Durch Big-Data-Anwendungen kann beispielsweise auch der Zustand von Maschinen überwacht und daraus Wirkungszusammenhänge erstellt werden. Diese Zustandsüberwachung wird beispielsweise für die vorausschauende Wartung der Maschinen benötigt. In der Organisation muss der Wille zur Nutzung der gesammelten Daten etabliert werden. Mitarbeitende sollten über Abteilungsgrenzen hinweg in Entscheidungen und Prozesse eingebunden werden, damit Veränderungen und Innovationen von allen vorgeschlagen und umgesetzt werden. Dadurch können Anpassungen agil gesteuert werden, wodurch sich der Nutzen der Veränderung früh zeigt (Schuh et al., 2020).

Auf Stufe 5, genannt *Prognosefähigkeit*, kann das Unternehmen durch den digitalen Schatten bereits die Zukunft prognostizieren. Dabei können durch Simulationen verschiedene Szenarien erstellt und die wahrscheinlichsten identifiziert werden. Sie werden aufgrund ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet, damit in Zukunft schnellere Entscheidungen getroffen und geeignete Maßnahmen gesetzt werden. Dadurch können Maßnahmen, auch wenn sie manuell eingeleitet werden müssen, zu einem agilen Unternehmen beitragen. Zudem gewinnt das Unternehmen eine gewisse Vorwarnzeit, es kann früher auf Planabweichungen oder Störungen im Betriebsablauf hingewiesen werden. Durch diese vorausschauende Durchführung kann ein solider Betriebsablauf gewährleistet werden. Ein praktisches Beispiel für die

Prognosefähigkeit ist die Erkennung von wiederkehrenden Störungen bei einem Transportmittel: Es kann automatisch und rechtzeitig auf ein anderes gewechselt werden. Für diese Stufe braucht es eine Grundlage an gesammelten Daten sowie eine hohe Qualität der Prognosen, was zu Herausforderungen in der Organisation führen kann. Zum einen muss das Unternehmen eine hohe Reaktionsbereitschaft aufweisen, was beinhaltet, dass Mitarbeitende über Entscheidungsbefugnis verfügen. Das erfordert enorme kulturelle als auch organisatorische Veränderungen, was Offenheit für Veränderung und kritische Reflexion des eigenen Tuns mit sich bringt (Schuh et al., 2020).

Die letzte Stufe, die *Adaptierbarkeit*, benötigt Prognosefähigkeit als Grundlage für automatisches Handeln und Selbstoptimierung. Dadurch können Organisationen gewisse Entscheidungen vollständig dem IT-System überlassen, um sich schnell an Veränderungen anzupassen. Dabei hängt der Grad der Autonomie von der Komplexität und dem Kosten-Nutzen-Verhältnis der jeweiligen Entscheidung ab. Es werden vor allem wiederholbare Prozesse fokussiert, da hier eine autonome Gestaltung leichter möglich ist. Auf dieser Reifegradstufe können automatische Prozesse bei Maschinenausfällen oder Lieferverzögerungen angepasst werden. Das Ziel in diesem Reifegrad ist es, digitale Daten für eine autonome und schnelle Entscheidungsfindung zu nutzen, ohne dass der Mensch eingreift. Dies erfordert ein hohes Maß an Kollaboration und eine flexible Organisation, welche ein lebenslanges Lernen der Mitarbeiter fördert. Zudem sollte die Organisation kontinuierlich ihre Kompetenzen überprüfen und reflektieren (Schuh et al., 2020). Da die Einordnung der sechs Stufen des Reifegradmodells auch die Organisation und Kultur des Unternehmens beinhalten, wird im nächsten Kapitel auf den Faktor ‚Mensch‘ in der Industrie 4.0 näher betrachtet.

### **3.5. Faktor Mensch in der Industrie 4.0**

In den folgenden Unterkapiteln werden verschiedenen Faktoren aufgezeigt, welche für den Menschen in der Industrie 4.0 beachtet werden sollten. Zu Beginn wird die richtige Auswahl von qualifizierten Mitarbeitern für die Unternehmen erläutert. Anschließend wird auf den Einsatz des Menschen in Kommissioniersystemen eingegangen. Anschließend wird aufgezeigt, welche neuen Technologien implementiert werden können und welche Auswirkungen diese auf den Arbeitsplatz haben.

### 3.5.1. Mitarbeiterqualifikation und -motivation

Einer der wichtigsten Faktoren in der Intralogistik sind qualifizierte und motivierte Mitarbeiter. Um diese zu finden, können unter anderem Assessment-Center eingesetzt und Schulungen an die Bedürfnisse der Mitarbeiter angepasst werden. Gerade im internationalen Kontext sollten Fremdsprachenkenntnisse berücksichtigt werden (Arnold et al., 2007). Hinzu kommt, dass in Zukunft viele Herausforderungen im Bereich Personalauswahl auf die Unternehmen zukommen werden. Die steigenden Arbeitskosten und die Herausforderung, qualifiziertes Personal zu finden, erhöht die Notwendigkeit, attraktive Arbeitsbedingungen zu schaffen (Richards, 2018). Im Bereich der künstlichen Intelligenz ist die Schulung von Mitarbeitenden und Führungskräften im Umgang mit der Technologie eine große Herausforderung. Logistik- und Supply-Chain-Manager sind gefordert, kollaborativ mit KI-Systemen zusammenzuarbeiten. Dabei sollten Unternehmen proaktiv in die Entwicklung und Schulung von Mitarbeitenden investieren, damit kontinuierliches Lernen gefördert und die Rahmenbedingungen für die Implementierung von künstlicher Intelligenz im Unternehmen geschaffen werden (Richey et al., 2023). Leicht abgeänderte Eingaben steuern den Lernprozess der künstlichen Intelligenz, verfeinern und optimieren das Modell und machen sie robuster für die komplexe Realität. Zudem sollte das Fachwissen der jeweiligen Mitarbeitenden in die künstliche Intelligenz integriert werden um Störungen in der Lieferkette frühzeitig zu bewältigen (Hasijsa & Esper, 2022).

Durch künstliche Intelligenz und die voranschreitende Automatisierung von Arbeitsabläufen sowie Produktivitätssteigerungen werden sich die geforderten Qualifikationen deutlich ändern. Zum einen sollten die Mitarbeiter die Fähigkeiten der künstlichen Intelligenz ergänzen, beispielsweise in Form von Problemlösungsansätzen, zwischenmenschlichen Beziehungen, im Bereich Verhandlungen und Überzeugungsarbeit oder auch im strategischen Denken. Denn in Zukunft werden jene Arbeitsplätze als erstes durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz verdrängt, welche sich wiederholende Aufgaben beinhalten und ein sehr geringes Eingreifen des Menschen in den Arbeitsprozess erfordern. Zum anderen können durch die Einführung von künstlicher Intelligenz im Unternehmen auch neue Arbeitsplätze entstehen. KI-Systeme müssen schließlich verwaltet, gewartet und optimiert werden (Richey et al., 2023).

Die Motivation der Mitarbeiter kann durch Bonusprogramme, Feedbackgespräche und eine Verbesserung der Arbeitszufriedenheit erhöht werden. Sie lässt sich andererseits durch schlechte Systemgestaltung verschlechtern. Wiederholende Aufgaben können zu Langeweile bei den Mitarbeitern führen und sollte durch Arbeitsplatzrotation verringert werden (Grosse et al., 2015).

### 3.5.2. Faktor Mensch in künftigen Kommissioniersystemen

Auch in der Intralogistik wird die Betrachtung von menschlichen Faktoren immer wichtiger, da manuelle Kommissioniervorgänge durch ergonomische Lagerhilfsmittel unterstützt werden können. Außerdem können Zeitdruck und Systemfehler die Arbeitsbelastung erhöhen und Stress verursachen, was zu Ermüdung und Kommissionierfehlern führen kann. Zudem können Kommissioniervorgänge zu Muskel- oder Skeletterkrankungen beitragen, was einen großen Teil der Krankenstände ausmacht und dadurch hohe Kosten verursacht. Es ist möglich, dass eine ungünstige Körperhaltung aufgrund des Layouts der Regale Verletzungen hervorruft. Grosse et al. (2015) unterstreichen die Bedeutung der Berücksichtigung von menschlichen Faktoren in Logistikprozessen, um einerseits die Leistung in den Prozessen zu verbessern und andererseits langfristig Kosten zu senken.

Im Bereich der Kommissionierung ist die manuelle Kommissionierung von Waren besonders kostenintensiv, aber in vielen Unternehmen immer noch dominierend, weshalb eine Automatisierung der Kommissionier- und Lagerprozesse von vielen Unternehmen immer öfters in Betracht gezogen wird (Loske, 2022). Durch die manuelle Kommissionierung und die voranschreitende Automatisierung wird die Notwendigkeit eines ganzheitlichen Ansatzes zwischen Kommissionierplanung und dem Kommissionierer zur Effizienzsteigerung deutlich (Lombaert et al., 2022). In Europa ist ein deutlicher Anstieg von Industrierobotern zu verzeichnen. Trotzdem ist ein menschliches Mitwirken in den Kommissioniervorgängen weiterhin essenziell und die Interaktion zwischen Menschen und Maschinen muss gefördert werden. Durch den Übergang zu einem automatisierten Prozess werden die Mitarbeiter veränderten Arbeitsbelastungen, Sicherheitsbedenken und dadurch auch Stress ausgesetzt. Lagersysteme in den Unternehmen können in Größe, Sortiment und Auslastung stark variieren. Neue Technologien wie Assistenzgeräte oder automatisierte Entscheidungsunterstützungssysteme helfen Mitarbeitern, wobei menschliches Engagement im Prozess dennoch benötigt wird (Loske, 2022).

Zudem müssen Ressourcen wie die Arbeitszeit des Kommissionierers, Roboter und andere Transportfahrzeuge in die Planung miteinfließen. Das Verhalten von Arbeitnehmern ist nicht immer vorhersehbar und sollte berücksichtigt werden. Lombaert et al. (2022) unterstreichen, wie wichtig es ist, den menschlichen Faktor in die Planung zu integrieren, damit dieser angemessen in Entscheidungen berücksichtigt wird. Denn Menschen haben unterschiedliche Faktoren, welche die Arbeit beeinflussen. Gemeint sind eine unterschiedliche Arbeitsgeschwindigkeit, der physische Zustand, subjektive Erfahrungen und Einschätzungen sowie soziodemografische Unterschiede. Über die Zeit verändert sich die Arbeitsleistung eines Kommissionierers, da sie durch Training und Lernen positiv und durch Ermüdung oder Langeweile negativ beeinflusst wird. Zudem kann die körperliche Anstrengung in der Kommissionierung zu höheren Fehlzeiten und Muskel-Skelett-Erkrankungen führen. Kommissionierer erkennen die Bemühungen des Unternehmens, wenn der Arbeitsplatz ergonomisch gestaltet ist. Studien zeigen eine signifikante Auswirkung auf die Produktivität und Ergonomie, wenn Faktoren wie das Alter und die Körpergröße berücksichtigt werden. Zudem ist es notwendig, kulturelle und individuelle Unterschiede in der Arbeitsplatzgestaltung zu berücksichtigen (Lombaert et al., 2022).

Da erst wenige Forschungsarbeiten menschliche Faktoren in der Gestaltung und Modellierung von Kommissionierprozessen einbezogen haben, schlagen Grosse et al. (2015) einen Rahmen vor, um diese in Prozesse zu integrieren. Dabei sollte für jede Tätigkeit bei der Kommissionierung von Materialien die menschlichen Aspekte bewertet werden, um die Auswirkungen der Tätigkeiten auf Leistung, Qualität und Gesundheit am Arbeitsplatz zu untersuchen. Vor allem Größe, Gewicht und Position von Artikeln beeinflussen das Wohlergehen der Mitarbeiter – eine falsche Gestaltung des Systems kann wie bereits erwähnt zu Muskel- oder Skeletterkrankungen führen. Zudem sollten auch psychosoziale Aspekte, wie die Motivation oder das Stressniveau der Arbeitnehmer, berücksichtigt werden, da die Leistung und Gesundheit durch diese Aspekte beeinflusst werden. Durch Trainings und Schulungen für die manuelle Handhabung im Prozess kann die richtige Körperhaltung vermittelt werden, um Verletzungen und Arbeitsunfälle zu reduzieren (Grosse et al., 2015).



Klumpp und Ruiner (2022) haben herausgefunden, dass Personen schneller neue Aufgaben erlernten, wenn es Echtzeit-Feedback durch das System gibt. Dies ist vor allem bei Aufgaben der Fall, bei denen ein sogenannter ‚Learning-by-Doing-Kontext‘ vorhanden ist. Damit lässt sich festhalten, dass es sich bei Feedback des Kommissionier-Systems um einen relevanten Faktor für die Steigerung der Effizienz handelt (Klumpp & Ruiner, 2022).

Die Aufgaben von Menschen können sich ändern oder sogar substituiert werden. Es können beispielsweise gewisse Routen und Wege durch Roboter ersetzt werden oder Aufgaben, welche sich nicht von einem Roboter erledigt lassen, durch andere Technologien unterstützt werden. Es muss in der Organisation vermittelt werden, dass sich Ziele nur erreichen lassen, wenn Soft- und Hardwareelemente sowie Menschen gemeinsam im Prozess arbeiten. Zudem sollte gerade im Bereich der Kommissionierung der Mensch durch die Technologie ein besseres Wohlbefinden und eine Verbesserung der Ergonomie erfahren. Loske (2022) zeigt auf, dass sich die Kommissionierzeiten durch ‚Learning-by-Doing‘ in einem manuellen Prozess um 32 Prozent reduzieren können und in einem automatischen System um bis zu 29 Prozent. Weitere Studien zeigen, dass sowohl die Motivation der Arbeitnehmer die Leistung in Kommissionierprozessen beeinflusst als auch die wiederholte Durchführung von Kommissionieraufgaben zu einem Lernprozess führt, welcher den künftigen Zeitbedarf und Fehler reduziert (Grosse et al., 2015).

Loske (2022) fand heraus, dass Kommissionierer in einem manuellen System eine steilere Lernkurve aufweisen als in einem automatisierten System, da unterschiedliche Lerninhalte vermittelt werden. Zudem wurde herausgefunden, dass ab einem gewissen Punkt an Erfahrung ein Plateau einsetzt und keine signifikanten Verbesserungen in der Leistung mehr erzielt werden können, was besonders bei maschinenintensiven Aufgaben der Fall ist. In automatisierten Systemen werden der Entscheidungsspielraum und die Autonomie der Mitarbeitenden eingeschränkt. Aber die Vereinfachung und Verbesserung der Effizienz im Prozess durch Automatisierungstechniken wird als positiv empfunden. Dadurch fühlen sich Mitarbeiter in Ausnahmesituationen stärker von einem technischen Support abhängig. Dies verändert den Arbeitskontext, wodurch Mitarbeiter im Prozess weniger von der Leistung anderer Mitarbeiter abhängig sind. Durch Echtzeit-Feedback kann der Lernfortschritt in automatisierten Systemen deutlich gesteigert werden, da die Feedbackzyklen öfters vorkommen. Führungskräfte sollte in automatisierten Systemen die Entwicklung von

lernfördernden Arbeitssystemen und kurzen Lernzyklen berücksichtigen, vor allem wenn Zeitarbeitskräfte eingesetzt werden (Loske, 2022).

### 3.5.3. Implementierung und Akzeptanz neuer Technologien

Auch in der Logistik 4.0 wird die Arbeit durch Technologien und eine damit einhergehende Kooperation zwischen Mensch und Maschine beeinflusst. Die Entscheidung, ob neue Technologien von Menschen angenommen werden, hängt stark von den wahrgenommenen Kosten und dem entsprechenden Nutzen der Technologie ab (Winkelhaus et al., 2022). Wenn neue Technologien im Unternehmen vollständig implementiert werden sollen, benötigt dies die Akzeptanz der Nutzer. Die Leistung fortgeschrittener Fertigungstechnologien kann erhöht werden, wenn die Mitarbeiter vor und während der Implementierung geschult werden. Dadurch steigt auch die Arbeitszufriedenheit nach der Einführung. Auch die Implementierung von neuen ERP-Systemen kann als risikoreich betrachtet werden, weshalb es umso wichtiger ist, die Bedeutung von Veränderungsmanagement in solchen Projekten zu betonen (Maghazei et al., 2022).

Um den Einsatz von künstlicher Intelligenz im Unternehmen zu erhöhen, muss das Vertrauen in die Technologie erhöht werden. Zum einen ist vor dem Einsatz von künstlicher Intelligenz auf die Erleichterung der Arbeit hinzuweisen. Wenn die Technologie bereits implementiert wurde, müssen die Mitarbeitenden gefördert werden diese Technologie auch anzuwenden (Hasija & Esper, 2022). Traditionell wird bei der Implementierung von neuen Technologien ein Ansatz gewählt, bei dem zuerst die Implementierung erfolgt und anschließend Mitarbeiter geschult werden. Diese Ansatzweise wird in Zukunft herausgefordert, da in einer schnelllebigen Zeit die Schulung parallel erfolgen sollte, wobei hier die Erfahrungen direkt in die weitere Entwicklung der Technologie einfließen können (Klumpp, 2018). Es ist wichtig zu betonen, dass das Vertrauen nicht nur in die Technologie an sich gestärkt werden sollte, sondern auch in die technologische Infrastruktur sowie die Organisation und Kultur. Vor allem in den frühen Phasen der Einführung sollten Führungskräfte viel Zeit in die Ausbildung und Schulung von Mitarbeitenden setzen. Zudem sollte klar gemacht werden, dass die eigene Arbeitskraft niemals durch die Technologie ersetzt wird (Hasija & Esper, 2022).

Wenn KI-Anwendungen die Freizeit oder soziale Interaktionen betreffen, werden sie von Menschen leichter akzeptiert. Kommt es jedoch im Bereich der Arbeitsaufgaben und den Einkommenspotentialen zum Einsatz, wird dies kritischer betrachtet, vor allem da Menschen befürchten, ihren Arbeitsplatz zu verlieren. Noch mehr Skepsis gibt es in Bezug auf KI im Bereich ‚Gesundheit und Sicherheit‘. Die stärkste Ablehnung gegenüber künstlicher Intelligenz haben Menschen, wenn die Anwendung Entscheidungen rund um das Thema Selbstidentität, Kleidungswahl oder Berufswahl trifft (Klumpp, 2018). Führungskräfte sollten zudem darauf achten, dass künstliche Intelligenz effektiv in die Prozesse integriert wird. Es lässt sich festhalten, dass KI-Technologien intern gut vermarktet werden müssen, damit diese umgesetzt werden. Diese Vermarktung erfordert vor allem eine strategische und bewusste Umsetzung und sollte längerfristig angesetzt werden. Vor allem Weiterbildungsmaßnahmen für die Belegschaft sollten im Vordergrund stehen, da die zunehmende Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien Qualifikationen voraussetzt, wodurch der Mensch wieder im Mittelpunkt steht (Hasija & Esper, 2022).

#### 3.5.4. Auswirkung der Technologien auf Arbeitsplatz und Mitarbeiter

Grundlegend kann gesagt werden, dass die Digitalisierung, und hier vor allem künstliche Intelligenz und Robotik, die Logistik tiefgreifend beeinflusst. Klumpp und Ruiner (2022) erläutern, wie sehr der Faktor Mensch in der digitalen Logistik mitwirkt. Auch Winkelhaus et al. (2022) gehen darauf ein, wie gewisse Faktoren die Arbeitszufriedenheit in der Logistik beeinflussen. Dabei wird untersucht, welche Auswirkungen digitale Technologien und Automatisierungstechnologien, die Gestaltung des Arbeitsplatzes sowie die Veränderung von weiteren Arbeitsmerkmalen auf den Intralogistik-4.0-Arbeitsplatz haben. Dabei werden vor allem die Einflüsse der Arbeitsplatzsicherheit, die Bezahlung und organisatorische Konzepte, wie das Coaching durch Führungskräfte und Schulungen, als Einflussfaktoren auf die Arbeitszufriedenheit bestimmt (Winkelhaus et al., 2022).

Dabei ist die Art der Transformation von einem normalen Intralogistik-Arbeitsplatz hin zu einem digitalen Industrie-4.0-Arbeitsplatz entscheidend. Es gibt auf der individuellen Ebene keine vordefinierte Auswirkung. Idealerweise führt die Digitalisierung zu einem motivierten Team, welches seine Tätigkeiten zufriedenstellend durchführt. Dabei gibt es auf Seiten der Organisation und auf Seiten der Arbeitnehmer einen Nutzen, welcher berücksichtigt werden sollte (Klumpp & Ruiner, 2022).

Die Interaktion zwischen Menschen und Robotern verändert Arbeitsbereiche, wobei der Mensch zunehmend eine Kontroll- und Überwachungsfunktion übernimmt. Vor allem junge Fachkräfte zeigen aufgeschlossen gegenüber neuen Technologien wie künstlicher Intelligenz (Klumpp & Zijm, 2019). Die Forschung in diesem Bereich ist noch jung, es gibt erst wenig theoretische Grundlagen über die Rolle des Menschen in der digitalen Logistik. Jedoch kann festgehalten werden, dass die digitalen Technologien die Arbeit beeinflussen werden und abhängig von der jeweiligen Interaktion von Mensch und Computer sind. Diese beeinflusst die Motivation und Zufriedenheit der Mitarbeitenden, aber auch das individuelle Arbeitsengagement. Durch die voranschreitende Digitalisierung können engere Verbindungen geschaffen werden, wodurch mehr Möglichkeiten zur sozialen Interaktion bestehen (Klumpp & Ruiner, 2022).

Führungskräfte möchten künstliche Intelligenz vor allem dafür einsetzen, schnelle, datengeschützte und objektive Entscheidungen zu treffen (Richey et al., 2023). Wenn automatisierte Systeme spezifische Fähigkeiten entwickeln, ist die Angst und der Widerstand gering, da Entscheidungen überwiegend von Menschen getroffen werden. Wenn die künstliche Intelligenz jedoch Entscheidungen vorschlägt oder sie in einem gewissen Bereich selbstständig trifft, führt dies zu großen Ängsten und Widerstand. Zu erheblichem Widerstand bei Menschen kann eine autonome künstliche Intelligenz führen, welche den Menschen in eine passive Überwachungsrolle drängt (Klumpp, 2018). In der Praxis wird künstliche Intelligenz vor allem in der Bedarfsprognose eingesetzt, was bei den Führungskräften Vertrauen in die Technologie erfordert (Hasijsa & Esper, 2022). Diese sollten aktuelle Markttrends beobachten, um technologische Chancen zu ergreifen und möglicherweise neue Geschäftsmöglichkeiten schneller umzusetzen als die Konkurrenz. Dabei ist auch Offenheit für Veränderungen beim Management und in der Belegschaft erforderlich, da in einem schnell ändernden Umfeld nur so eine ständige Anpassung erfolgen kann (Cichosz et al., 2020).

Anwendungsfälle von Technologien in der Intralogistik 4.0 in Bezug auf den Arbeitsplatz können vielseitig sein. Zum einen können Prozesse kognitiv automatisiert werden, indem digitale Technologien wie beispielsweise Lagerverwaltungssysteme oder KI eingesetzt werden. Des Weiteren können durch Automatisierungstechniken physische Aufgaben erleichtert werden, beispielsweise durch cyber-physische Systeme (CPS). Digitale Technologien und Automatisierungstechniken lassen sich für die gegenseitige Unterstützung am Arbeitsplatz einsetzen, wodurch die Arbeit des Bedieners erleichtert wird. Die Arbeitsaufgaben können

entweder vollständig durch die Technologie substituiert oder durch Automatisierung stark vereinfacht werden. Durch die Reduzierung wiederkehrender Aufgaben kann das Aufgabenfeld der Mitarbeiter erweitert werden. Das wiederum erfordert qualifizierte Mitarbeiter, welche ständig geschult werden. Es wird betont, dass trotz Einsatz von Technologien die menschliche Arbeit in vielen Bereichen unersetzlich bleibt. Die Ergebnisse von Winkelhaus et al. (2022) weisen darauf hin, dass eine intensive Nutzung von Automatisierungstechnologie in der Intralogistik sich negativ auf die Arbeitsmerkmale auswirkt, da eine hohe Prozessstrenge verlangt wird und die Aufgaben der Mitarbeiter in solchen Prozessen begrenzt sind. Zudem ist in hochautomatisierten Arbeitsumgebungen das erforderliche Wissen der Mitarbeitenden minimal, im Vergleich zu weniger automatisierten Unternehmen, wo ein breites Wissen erforderlich ist. Die sozialen Charakteristika werden in hochautomatisierten Unternehmen besonders beeinflusst, da beispielsweise die soziale Interaktion stark eingeschränkt wird. Allerdings zeigen sich durch den hohen Automatisierungsgrad Verbesserungen in der Ergonomie und den Arbeitsbedingungen (Winkelhaus et al., 2022). Eine Übersicht der Vor- und Nachteile in Bezug auf Technologien am Arbeitsplatz ist in Abbildung 11 ersichtlich.

<b>Anwendung von Industrie 4.0 Technologien am Arbeitsplatz</b>	
<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Erleichterung von physischen Aufgaben durch Automatisierungstechnik	Erforderliches Wissen für Mitarbeiter wird minimiert
Reduzierung wiederkehrender Aufgaben	Einschränkung der sozialen Interaktion am Arbeitsplatz
Erweiterung des Aufgabenfelds von Mitarbeitern	
Verbesserung der Ergonomie durch Automatisierungstechnik	

*Abbildung 10: Anwendung von Industrie 4.0 Technologien am Arbeitsplatz (eigene Darstellung)*

Nur wenige Mitarbeiter erkennen diese positiven Auswirkungen. Die meisten haben Angst, ihren Arbeitsplatz zu verlieren und sind deshalb oft negativ auf Technologieeinflüsse eingestimmt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Technologie unterschiedliche Auswirkungen auf die Arbeitsmerkmale in Unternehmen hat. Dabei gibt es Unterschiede zwischen Digitalisierung und Automatisierung. Ersteres wirkt oftmals als Multiplikator manueller Aufgaben und kann diese standardisieren, beschleunigen oder gänzlich ersetzen, was zu einer Erhöhung der Aufgabenvielfalt führt. Die Automatisierung dagegen vereinfacht

manuelle Prozesse und reduziert die Aufgaben von Mitarbeitern, welche monoton sind. Die Intralogistik der Zukunft kann sich positiv oder negativ auf die Arbeitszufriedenheit auswirken, denn sie ist abhängig von der Systemgestaltung des individuellen Arbeitsplatzes und der Präferenz der Mitarbeiter (Winkelhaus et al., 2022).

Für eine intensive Zusammenarbeit und Koordination von Lieferkettensaktivitäten innerhalb einer Organisation ist es zudem wichtig, Teamstrukturen zu bilden, welche Wissen untereinander austauschen und erschaffen. Standardisierung und Zentralisierung sind dafür wichtig, da funktionsübergreifend kommuniziert wird. Durch Standardisierung können größere Informationsmengen leichter verarbeitet werden, in Bezug auf die Mehrdeutigkeit von Informationen ist eine Kommunikation im Team effektiver. Führungskräfte sind aufgefordert, die passende Art der Kommunikation für die jeweilige Art der Information herauszufinden, um eine optimale Verarbeitung der Information in allen Bereichen der internen Lieferkette zu gewährleisten (Turkulainen et al., 2017).

### **3.6. Datenverarbeitung**

Es ist wichtig, über eine große Menge an relevanten Daten zu verfügen, mit denen KI-Anwendungen arbeiten können (Richey et al., 2023). Große Datenmengen können durch Big Data und prädiktive Analytik erfasst, gespeichert, analysiert und visualisiert werden, um Erkenntnisse für die Optimierung von Logistikfunktionen zu erhalten. Durch die schnelle Verarbeitung von großen Datenmengen ist es Unternehmen möglich, sich schnell an verändernde Umgebungen anzupassen. Sie werden dahingehend sehr dynamisch (Sodero et al., 2019).

Bei großen Datenmengen gibt es vor allem bei KMUs Hürden, da robuste Datenverwaltungsprozesse oftmals nicht vorhanden sind und dadurch die Datengrundlage für die Nutzung von künstlicher Intelligenz fehlt. Die grundsätzliche Entwicklung und Wartung von künstlicher Intelligenz in Unternehmen erfordert großes Fachwissen im Bereich Data Analytics, maschinelles Lernen und Softwareentwicklung. Gerade diese Technologien sind für kleinere Unternehmen jedoch mit hohem Kapitaleinsatz verbunden (Richey et al., 2023). Da die vorhandene Datenqualität und -verfügbarkeit als Hürde bei der Implementierung angesehen wird, sollte diese bereits vorab sichergestellt werden (Alenizi et al., 2023). Ferner ist es wichtig, dass die Daten in einer vielschichtigen und repräsentativen Art vorhanden sind, damit KI-Systeme effektiv damit arbeiten können. Dabei können potenzielle Probleme auftreten, sollten

Lücken oder gar falsche Daten herangezogen werden. Wenn keine etablierten Datenverwaltungssysteme vorhanden sind und trotzdem die gesetzlichen Anforderungen in Bezug auf Datenschutz und Datensicherheit eingehalten werden müssen, steht das Unternehmen vor Herausforderungen. Das Thema ‚Datenschutz‘ gewinnt zunehmend an Bedeutung, auch in Bezug auf die Datenschutzgrundverordnung der Europäischen Union und eine mögliche Urheberrechtsregel für künstliche Intelligenz. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für eine effektive und effiziente Datenverwaltung strukturierte Prozesse benötigt werden, um das volle Potential für KI-Anwendungen auszuschöpfen (Richey et al., 2023).

Das Thema ‚verzerrte Daten‘ ist bei künstlicher Intelligenz ebenso zu beachten. Vor allem am Beginn des Trainingsprozesses und in der Datensammlung ist die KI-Technologie anfällig, verzerrte Ergebnisse darzustellen und fehlerhafte Entscheidungsprozesse auszugeben. Richey et al. (2023) beschreiben, dass durch KI rassistische oder geschlechts- und altersbedingte Vorurteile produziert wurden, was der Glaubwürdigkeit von KI-Anwendungen geschadet hat. Als Hauptgrund für diese Vorurteile wurde die Einbeziehung von verzerrten Daten während der Trainingsphase genannt. Verzerrungen entstehen aufgrund von historischen Daten, welche Vorurteile beinhalten, Daten, in denen Minderheitengruppen gering vorhanden sind, oder wenn der Einfluss der Ersteller auf den Datenerfassungsprozess besonders groß ist. Im Anschluss übernehmen die KI-Anwendungen diese Vorurteile und beeinflussen dadurch die Entscheidungsfindung (Richey et al., 2023).

Vorurteile haben auch Auswirkungen auf den Einsatz in der Logistik und im Supply Chain Management. Zum einen könnten Lieferanten, Produkte oder sogar einzelne Regionen ungerechtfertigt bevorzugt werden. Als zweites Beispiel wäre es möglich, dass ungleiche Chancen und systematische Diskriminierungen entstehen. Nicht zuletzt könnten aufgrund von verzerrten Daten fehlerhafte Prognosen und suboptimale Entscheidungen getroffen werden, wodurch die Effizienz und Effektivität des gesamten Unternehmens gefährdet wäre (Richey et al., 2023).

KI braucht, um lernen zu können, neben Trainingsdaten grundsätzliche konsolidierte Daten, menschliches Fachwissen und technologische Mittel. Ein KI-Modell lernt durch die Interaktion mit der jeweiligen Umgebung (Richey et al., 2023). In der Industrie dienen Sensortechnologien als wichtige Sammler von korrekten und zuverlässigen Daten in den jeweiligen Prozessen, wodurch die Produktqualität verbessert und die Fehleranfälligkeit verringert wird sowie produktiver gearbeitet werden kann. Durch die großen Mengen an gesammelten Daten

benötigen Unternehmen auch hier Big-Data-Anwendungen, um Daten effizient zu verarbeiten. Es ist wichtig, bei der Implementierung von Technologien strukturiert und hierarchisch vorzugehen. Angefangen bei einfacher Sensortechnologie bis hin zu fortgeschrittenen Systemen ist es notwendig, die Beziehungen zwischen den Systemen zu verstehen, um das volle Potential zu nutzen (Battistoni et al., 2023).

Als weiteren Punkt braucht es für einen Lernprozess Versuch und Irrtum, um die besten Aktionen und Entscheidungen in den verschiedenen Zuständen zu treffen. Dies erfordert jedoch hohe Rechenressourcen und kann im schlechten Fall undurchsichtig sein. In Bezug auf Undurchsichtigkeit kann das KI-Modell möglicherweise auch Ergebnisse erzeugen, welche nicht auf tatsächlichen Daten beruhen, sondern vom Modell selbst erzeugt werden. Durch falsche Entscheidungen oder fehlerhafte Vorhersagen können in der Logistik falsche Nachfragewerte erzeugt werden. Das wiederum würde zu Fehlbeständen im Lager oder möglicherweise sogar zu Umsatzeinbußen und beschädigten Kundenbeziehungen führen (Richey et al., 2023).

Sollten sich Unternehmen dazu entscheiden, KI in ihren Lieferketten einzusetzen, erhöht dies das Risiko für Datenschutzverletzungen, da sensible Informationen verarbeitet werden (Richey et al., 2023). Es gibt Bedenken zum Thema Sicherheitsrisiken und die Vermeidung von Cyberangriffen (Alenizi et al., 2023). Da die Lieferkette eines Unternehmens mehrere Lieferanten und Kunden beinhaltet, kann sich die Verletzung des Datenschutzes auf das schwächste Glied in der Lieferkette konzentrieren, wobei sich Kriminelle möglicherweise mittels Phishing Zugang zu vertraulichen Daten verschaffen (Richey et al., 2023). Zudem gibt es Bedenken in Bezug auf Datenschutzverletzungen, da insbesondere im Zusammenhang mit Cloud-Lösungen Unternehmens- oder Kundendaten möglicherweise nicht ausreichend geschützt werden (Cichosz et al., 2020). Das Unternehmen sollte daher bereits vor dem Einsatz von künstlicher Intelligenz proaktiv Maßnahmen zur Datensicherheit treffen, was zum einen Ressourcen und Kapital und zum anderen menschliche Fähigkeiten erfordert. Wenn die Sicherheit von Daten nicht gewährleistet ist, kann dies nicht nur zu rechtlichen Konsequenzen führen, sondern auch zum Verlust von Chancen in der Unternehmenswelt und zur Abwendung von Kunden und Lieferanten (Richey et al., 2023). Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die Qualität und die Menge an Daten eine wichtige Grundlage für den Einsatz von künstlicher Intelligenz sind. Wie künstliche Intelligenz in der Intralogistik eingesetzt werden kann und



welche möglichen Herausforderungen das mit sich bringt wird im nächsten Kapitel detaillierter behandelt.

## **4. Künstliche Intelligenz in der Intralogistik**

In diesem Kapitel wird nun der spezifische Einsatz von künstlicher Intelligenz in der Intralogistik besprochen. Dabei wird auf mögliche Herausforderungen bei der Implementierung von KI hingewiesen, als auch wie künstliche Intelligenz in der Intralogistik unterstützen kann. Dabei werden mögliche Anwendungsbeispiel anhand eines Smart Warehouses oder Predictive Logistics näher erläutert.

### **4.1. Herausforderungen bei der Implementierung von künstlicher Intelligenz**

Die Implementierung von KI-Anwendungen in der Logistik erfordert einen Wandel in den Unternehmen. Es gilt, einerseits die Nachhaltigkeitsinitiativen und die digitale Infrastruktur zu erweitern und andererseits dynamisch(er) zu agieren. Künstliche Intelligenz im Bereich der Logistik birgt mitunter Limitierungen in Bezug auf kritische Analysen, das Verständnis über den individuellen Aufbau der Lieferkette oder Beziehungen zwischen Stakeholdern und der Organisation. Sollten Unternehmen KI einsetzen, ist dies zwar vielversprechend, aber auch komplex, weshalb die Expertise von Logistikexperten benötigt wird (Richey et al., 2023). Viele Organisationen haben Schwierigkeiten, durch die schnell aufkommenden technologischen Neuerungen ihre Ressourcen neu auszurichten. Zudem gibt es oft die Herausforderung, aktives Change Management zu betreiben und die Ressourcen wirksam in die Neugestaltung von Prozessen einzusetzen. Um am Markt zu bestehen, müssen sich Organisationen ständig anpassen (Fawcett & Waller, 2014). Deshalb sollten Betriebe eine klare Vision für den Einsatz von künstlicher Intelligenz erarbeiten und dies in realistische Ziele umwandeln, welche mit den vorhandenen Ressourcen zu erreichen sind (Alenizi et al., 2023).

Auch bei der Implementierung von fortgeschrittenen Fertigungstechnologien müssen gewisse Parameter für Unternehmen passend sein. Die Technologien werden anhand des wirtschaftlichen Potentials und der strategischen Bedeutung für das Unternehmen bewertet. Dabei gilt es als besonders herausfordernd, dass neue Technologien in bestehende Prozesse, Verantwortlichkeiten und Berichtswege implementiert werden müssen (Maghazei et al., 2022). Denn als großer Herausforderung bei der Implementierung von KI-Lösungen wird die Integration in bestehende Systeme und Prozesse gesehen (Alenizi et al., 2023). Es sollte stets der richtige Fit zwischen der Notwendigkeit, der finanziellen Bewertung der jeweiligen

Technologie und der Unternehmensstrategie herrschen (Maghazei et al., 2022). Bevor neue Technologien implementiert werden, müssen Hürden überwunden werden. Ein Logistiksystem umfasst viele unterschiedliche Prozesse mit einer Vielfalt an Akteuren, was die Komplexität erhöht. Dadurch ist, wie vorhin bereits erwähnt, eine gewisse Standardisierung von Prozessen nur schwer möglich und erfordert einen hohen organisatorischen Aufwand (Cichosz et al., 2020).

Auch im Bereich der künstlichen Intelligenz müssen komplementäre Investitionen getätigt werden, um eine positive Rendite der Investition zu erzielen. Dies bedeutet, dass es nicht ausreicht, isoliert in eine KI-Lösung zu investieren, da Adaptierungen in diesem Bereich weitere Ressourcen wie speziell geschulte Mitarbeiter, angepasste Prozesse und eine Änderung der Unternehmenskultur erfordern (Maghazei et al., 2022). Zum einen sollten KI-Anwendungen andere Systeme nicht beeinträchtigen, wobei eine Interaktion zwischen den Systemen gegeben sein sollte. Zum anderen braucht es für einen zuverlässigen Einsatz von künstlicher Intelligenz einen umfangreichen und genauen Datensatz, welcher hohen Qualitätsansprüchen gerecht werden muss. Durch den zunehmenden Einsatz von vernetzten Technologien spielt auch das Thema ‚Cybersicherheit‘ eine große Rolle bei der Implementierung (Lee et al., 2018). Als weitere Hürde bei der Implementierung von neuen Technologien werden oftmals die vorhandenen Ressourcen genannt, um neue Technologien einzuführen. Dies kann ein Mangel an Geld- oder Zeitressourcen, aber auch an geeigneten digital qualifizierten Mitarbeitern sein (Cichosz et al., 2020).

Führungskräfte und das Management müssen früh Informationen und Schulungen für die Mitarbeitenden bereitstellen, um einen ineffektiven Einsatz von KI-Anwendungen zu vermeiden. Nur durch Schulungen und eine frühe Einbindung der Mitarbeiter kann effektiv in diesen Systemen gearbeitet und dadurch ein Wettbewerbsvorteil generiert werden. Zudem ist es notwendig, Mitarbeiter individuell aufgrund ihrer Fähigkeiten zu fördern und zu schulen. Weiters kann eine Pilotimplementierung durchgeführt werden, um erste Erfahrungen zu sammeln, ohne neue Technologien im gesamten Unternehmen einzuführen und die Nutzer in die Auswahl von Alternativen einzubeziehen (Klumpp & Zijm, 2019).

## **4.2. Unterstützung von KI in der Intralogistik**

Die Einsatzmöglichkeiten von künstlicher Intelligenz in der Intralogistik sind vielseitig. Beispielsweise kann im Bereich der Einlagerung eine KI-basierte Materialklassifizierung aufgrund der tatsächlichen Logistikbewegungen durchgeführt werden. Auf dieser Basis lässt sich auch der optimale Lagerort und -typ bestimmen, da zukünftige Produktionsaufträge als Parameter in die Optimierung eingebunden werden. Im internen Transport können KI-Anwendungen dabei unterstützen, Materialien auf Ladungsträgern optimal anzuordnen, wodurch die Packungsdichte erhöht wird (Olewe et al., 2023). Künstliche Intelligenz kann des Weiteren auch in der Nachfrageprognose eingesetzt werden. Die Integration von KI in logistische Arbeitsabläufe sollte langfristig ausgelegt sein, da alle internen Strukturen und Prozesse grundlegend neu zu bewerten sind. Wird das Supply Chain Management als Ganzes betrachtet, kann künstliche Intelligenz entweder lieferanten- oder kundenseitig eingesetzt werden. Auf der Lieferantenseite lässt es sich für automatisierte Bestellungen oder Routing-Verbesserungen einsetzen. Auf der Kundenseite kann es vor allem in der Verbesserung der Bearbeitung von Retouren unterstützen, auf operativer Ebene kann die KI-Technologie bei der grundlegenden Verbesserung der Auftragsabwicklung hilfreich sein (Hasija & Esper, 2022).

Künstliche Intelligenz kann durch Integration der Prinzipien der Industrie 4.0 die Effizienz in der Produktion sowie die Produktqualität erheblich verbessern. Dabei kann KI in der automatischen Konfiguration, Planung, Steuerung und Überwachung, Vorhersage, Diagnose und Entscheidungsfindung eingesetzt werden, um Ziele zu erreichen (Alenizi et al., 2023). Wenn künstliche Intelligenz in das bestehende Lagerverwaltungssystem integriert werden soll, erfordert dies ein hohes technisches Fachwissen bei der Implementierung, damit es nahtlos kooperiert. Dabei ist es notwendig, dass Echtzeit-Datenverarbeitung und benutzerfreundliche Schnittstellen für den Endbenutzer in der Organisation oder dem jeweiligen Bereich vorhanden sind und somit als Basis dienen (Richey et al., 2023). Durch Automatisierung werden neue Ebenen in der Logistik geschaffen, in der Software-Agenten und Roboter entweder gänzlich oder teilweise autonom handeln und entscheiden können, was oftmals auf künstlicher Intelligenz basiert. In Zukunft wird eine Zusammenarbeit mit künstlicher Intelligenz erforderlich sein, wodurch das Erkennen von manuellen Eingriffen benötigt wird (Klumpp & Zijm, 2019).

Olewe et al. (2023) stellen zehn Anwendungsfälle für künstliche Intelligenz in der Intralogistik vor. Diese sind beispielsweise KI-basierte Bedarfsplanung des künftigen Material- und Logistikbedarfs. Zudem kann künstliche Intelligenz dabei helfen, die benötigten Personalressourcen anhand des erwarteten Bedarfs zu planen. Um die Bewegungen und Transportwege in der Intralogistik zu minimieren, kann eine KI-basierte Optimierung der Produktionsreihenfolge durchgeführt werden. Zudem können KI-Anwendungen mit vielen Parametern gleichzeitig rechnen, wodurch eine Berechnung von Lieferverzögerungen möglich wird, die auf Lieferantendaten, Wetterdaten und anderen Inputfaktoren beruht (Olewe et al., 2023). Nach der Anlieferung ist bei vielen Materialien eine Qualitätskontrolle notwendig. Vor allem der Einsatz von künstlicher Intelligenz im Qualitätsmanagement spielt eine entscheidende Rolle in der Forschung, da sich viele Studien im Bereich des Qualitätsmanagementsystems in Kombination mit künstlicher Intelligenz befassen. Das Qualitätsmanagement hat mit rund 58 Prozent den höchsten Anteil an KI-Anwendungen in der Industrie (Alenizi et al., 2023). Durch den vermehrten Einsatz von Technologien wie künstliche Intelligenz in der Intralogistik kann sich dieser Bereich in einem Unternehmen zu einem sogenannten Smart Warehouse entwickeln, was im nächsten Kapitel näher erläutert wird.

### **4.3. Smart Warehouse**

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Ziele eines Smart Warehouse anhand einer Literaturübersicht von Zhen und Li (2022) erläutert. Anschließend werden verschiedene technische Möglichkeiten aufgezeigt, welche Unternehmen einsetzen können, um ein Smart Warehouse zu implementieren.

#### **4.3.1. Ziel eines Smart Warehouse**

Das Ziel eines Smart Warehouse sollte sein, die führende Technologie in die Grundprinzipien der Lagerverwaltung zu integrieren. In intelligenten Lagern werden Automatisierungstechniken und die Prozessintegration als Kernelement angesehen, um effizient zu arbeiten. Vor allem die Integration von neuen Technologien wie Internet of Things (IoT) und cyber-physische Systeme (CPS) werden benötigt, um die Lagerverwaltung als Ganzes zu optimieren. Die Zukunft der Lagerhaltung muss aber auch ökologische Aspekte und die Nachhaltigkeit in ihre Ziele integrieren, weshalb ein Rahmen geschaffen werden sollte, welcher diese Elemente mit der Verknüpfung von Informationen beinhaltet. Die Literaturübersicht von Zhen und Li (2022) zum Thema ‚Smart Warehouse‘ behandelt einerseits die Literatur vor 2015, bei der sich die Forschung auf die grundlegenden Konzepte der Lagerverwaltung konzentriert hat und auf die

Lagergestaltung sowie die Planung und Optimierung von Kommissionierprozessen eingegangen ist. Die Literatur nach 2015 fokussiert sich stärker auf neue Technologien wie Internet of Things, Industrie 4.0 und deren Einfluss auf die Lagerverwaltung. Es werden verschiedene Entwicklungen von Automatisierungstechniken untersucht und wie sich diese auf die Effizienz im Lagerbereich auswirken (Zhen & Li, 2022).

#### 4.3.2. Technische Möglichkeiten

Der Einsatz von RFID-Technologie ist, je nach Typ, vor allem für Distanzen von mehreren Metern gut geeignet, einfach im Aufbau und günstig. RFID-Tags haben im Vergleich zu Barcodes einen bidirektionalen Datenaustausch, wobei kein direkter Sichtkontakt notwendig und ein größerer Datenspeicher vorhanden ist. RFID kann beispielsweise bei der Kennzeichnung von Lagerplätzen oder Stationen für die Bereitstellung von Materialien eingesetzt werden (Arnold et al., 2007). Die RFID-Technologie trägt allgemein zur Verbesserung des Lagermanagements, von Fertigungsprozessen und dem gesamten Materialfluss bei. Im Vergleich zu traditionellen Barcode-Systemen konnten in der Praxis erhebliche Einsparungen im Bereich des Wareneingangs, der Einlagerung und Kommissionierung sowie im Versand durch RFID-Technologie erreicht werden. Vor allem im Bereich der automatischen Identifizierung von Objekten in der Lagerhaltung wird RFID als Schlüsseltechnologie angesehen (Ross et al., 2009).

Durch RFID kann in einem Smart Warehouse die Lokalisierung von Material erfolgen sowie eine durchgehende Bestandsverfolgung durchgeführt werden. Die Genauigkeit der Informationsübertragung durch RFID ist für die Effizienz im Lager entscheidend (Zhen & Li, 2022). Allerdings benötigen Unternehmen eine standardisierte Technologie, um RFID einzusetzen. Zudem sind die RFID-Etiketten kostenintensiver als herkömmliche Barcodes, was in einer Kosten-Nutzen-Analyse abgewogen werden sollte. Unternehmen könnten dem entgegenwirken, indem zu Beginn nicht alle Elemente in der Logistik mit RFID ausgestattet werden, sondern Barcodes koexistent sind. Es ist wichtig, in der Organisation ein Verständnis über den Kompromiss zwischen Kosten und Leistung der RFID-Technologie zu schaffen, damit der Einsatz auch von der Organisation akzeptiert und umgesetzt wird. Ross et al. (2009) erforschten Implementierungsstrategien für RFID-Technologie und verglichen die Gesamtkosten miteinander. Dabei wurden die größten Einsparungen bei der Palettierung sowie bei Angestellten beobachtet, welche mit Verwaltungstätigkeiten wie Dokumentenbearbeitung und Qualitätssicherung beschäftigt sind. Der vollständige Einsatz von RFID-Technologie zeigt

die niedrigsten Gesamtkosten für das Personal im täglichen Betrieb, jedoch die höchsten Leerlaufkosten. Dabei ist auch die Arbeitsauslastung in diesem Szenario am niedrigsten. Wenn die verschiedenen Funktionen im Bereich der Intralogistik betrachtet werden, gibt es unterschiedliche Vorteile von RFID-Technologie (Ross et al., 2009).

Die beiden Schlüsseltechnologien, um Logistikaktivitäten zu verknüpfen, sind Internet of Things und cyber-physische Systeme. Zum anderen werden für eine Verbesserung der Lernkurve und die Verbindung sowie Kommunikation im Lager auch RFID, Warehouse Management Systeme (WMS) und Augmented Reality (AR) eingesetzt. Durch IoT- und CPS-Technologie können die Lagerplätze präziser zugewiesen und die Systemreaktionsfähigkeit verbessert werden (Zhen & Li, 2022). Zudem werden Logistikprozesse durch Echtzeitdatenanalysen optimiert. Hierbei kann durch prädiktive Analysen eine strategische Instandhaltungsstrategie der Maschinen und Anlagen erarbeitet werden (Woschank et al., 2020). Das Warehouse Management System lässt sich durch Technologien wie IoT ergänzen, um die Lagerprozesse sowie die Produktivität zu verbessern und eine höhere Geschwindigkeit sowie eine niedrigere Fehlerquote bei der Kommissionierung zu erhalten. Das Potential von cyber-physischen Systemen wird in Zukunft noch höher sein, da beispielsweise beim Routing in robotisierten Lagerhallen die Vorerkennung von potenziellen Kollisionen und die Vermeidung dieser betrachtet wird. Die Routenplanung sowie die damit verbundene Kollisionsvermeidung sind wichtige Faktoren im Lagerbetrieb, um Staus und Unfälle zu vermeiden (Zhen & Li, 2022).

Im Bereich der Software hat sich *Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)* stark weiterentwickelt. SLAM transformiert 3D-Punktwolken, welche von den Sensoren erfasst wurden, in eine Referenzkarte, während dynamische Hindernisse gefiltert werden. Dadurch können durch Algorithmen kollisionsfreie Routen berechnet werden, welche dynamisch auf den Verkehr und Hindernisse in der Umgebung reagieren. Durch diese Technologie erstellen *autonome mobile Roboter (AMRs)* bei der Echtzeitnavigation detaillierte Karten der Umgebung, welche beispielhaft in *Abbildung 12* ersichtlich sind. Durch künstliche Intelligenz wie beispielsweise Bildverarbeitung und maschinelles Lernen können AMRs bei der Navigation und komplexen Steuerung unterstützt werden (Fragapane et al., 2021).

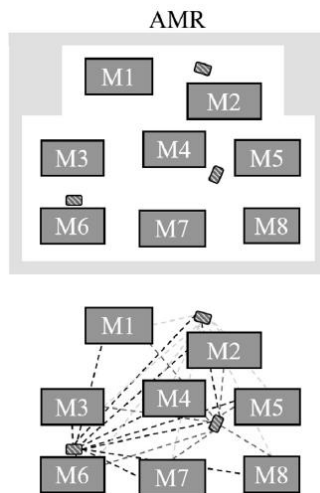


Abbildung 11: Koordination mehrerer AMRs (Fragapane et al., 2021)

Durch Automatisierung im Lagerbereich können Arbeitskosten und Fehler reduziert werden, was zu einer höheren Effizienz führt. Zudem werden im Bereich der Kommissionierung automatisierte Systeme immer beliebter. Die Implementierung eines automatisierten Lagersystems erfordert jedoch hohe Investitionen und sollte eine sorgfältige Planung beinhalten. Durch die vielen Entwicklungen im Bereich der Computertechnologie wird es für Unternehmen immer komplexer, die optimale Strategie für die Gestaltung und Steuerung von automatisierten Lagern zu finden. Im Bereich der Kommissionierung und Handhabung im Lagerbereich werden Automated Guided Vehicles (AGV) oder autonome mobile Roboter (AMR) eingesetzt, um die Mitarbeiter zu unterstützen, beziehungsweise wenn dies vom Unternehmen gewünscht ist, zu ersetzen (Zhen & Li, 2022). AMRs können Entscheidungen autonom treffen und reduzieren dadurch den Bedarf an einer zentralen externen Steuerung der Roboter. Dies führt zu effizienteren und dynamischen Reaktionen auf Veränderungen (Fragapane et al., 2021).

Durch den Einsatz von *Mobile Fulfillment Roboter-Systemen* kann die Produktivität von Kommissionierern verdoppelt werden, indem die Lagerbehälter von Robotern zu einem ergonomisch gestalteten Arbeitsplatz transportiert werden. Dabei bewegt sich der Roboter zu den benötigten Lagerorten, hebt die Pods an, in denen die benötigten Behälter enthalten sind, und transportiert sie zu den Kommissionierstationen, wo die benötigte Menge entnommen wird. Um die Durchlaufzeiten zu minimieren, sollte der Bestand auf möglichst viele Pods verteilt werden. Für diese Systeme ist auch der Einsatz von künstlicher Intelligenz wesentlich, da so die dynamische Lagerung und Optimierung der Materialzuordnung zum Lagerplatz gewährleistet werden kann (Azadeh et al., 2019).

Der Kommissionierprozess kann aber auch durch Auftragssequenzierung, Batching und Splitting optimiert werden. Bei der korrekten Auftragssequenzierung lässt sich durch unproduktive Bewegungen die Gesamteffizienz im Prozess verbessern. Beim Batching von Aufträgen werden Anforderungen aus verschiedenen Aufträgen konsolidiert, um so die Effizienz zu steigern. Auch die Aufteilung eines Auftrags auf mehrere Mitarbeiter im Kommissionierbereich kann sinnvoll sein, um die Effizienz zu verbessern und zusätzlich an Flexibilität zu gewinnen. Die Entscheidung, ob Aufträge gesplittet werden, beeinflusst die Zuweisung von Aufträgen zu AGVs oder AMRs, was berücksichtigt werden sollte (Zhen & Li, 2022).

Wenn Transportfahrzeuge mit Sensoren ausgestattet sind, kann ein digitales Abbild des Arbeitsraums der Fahrzeuge erstellt werden, was vor allem in kleinen Arbeitsräumen mit vielen Fahrzeugen von Nutzen ist. Durch Sensoren auf Transportmitteln kann eine effiziente Route geplant und schnell auf Veränderungen im jeweiligen Arbeitsbereich reagiert werden. Auf Basis des digitalen Abbilds können autonome Transportmittel selbstständig ihren Transportweg wählen. Wenn mehrere autonome Fahrzeuge eingesetzt werden, können diese verschiedene Aufgaben übernehmen (Scholz et al., 2018). Autonome Fahrzeuge versprechen mehr Sicherheit und Kosteneinsparungen im Bereich des internen Transports. Dabei gibt es bei dieser Technologie Herausforderungen im Bereich Regulatorien und Strategie (Fawcett & Waller, 2014).

Durch neue Hardware- und Software-Technologien konnte eine Revolution bei AGVs und AMR entstehen. Hardwareentwicklungen der letzten Jahre beinhalten neue Sensortechnologien wie 3D-Kameras für autonome Navigation und Umgebungserkennung sowie Sensoren für eine präzise Entfernungsmessung und Hinderniserkennung (Fragapane et al., 2021). Zusätzlich können durch den Einsatz von KI-Technologie die Schwarmrobotik und fundierte Ortungssysteme in Lagerhäusern optimiert werden. Beispielsweise hat das Unternehmen DHL einen digitalen Zwilling im Unternehmen eingeführt, was durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz Verknüpfungen von Sensordaten in einem räumlichen Modell des Unternehmens durchführt. Dadurch können Vorhersagen über das zukünftige Verhalten im Bereich der Logistik generiert werden (Woschank et al., 2020).



Sollten Transportfahrzeuge mit Sensoren ausgestattet werden, gibt es zwei Arten, den Arbeitsraum so auszustatten, dass die Fahrzeuge vollautonom fahren können. Zum einen können alle benötigten Sensoren auf jedem Fahrzeug montiert werden und zum anderen können Sensoren in der Infrastruktur implementiert werden, um diese für die Lokalisierung und Hinderniserkennung einzusetzen. Die zweite Variante ist eine kostengünstigere Lösung, wobei die ideale Wahl von der Größe des Einsatzbereichs und den Fahrzeugen abhängt. Es können nahezu unbegrenzt Transportfahrzeuge in einem System eingesetzt werden, da Sensoren keine übergeordnete Instanz für die Datenübertragung benötigen und jedes Fahrzeug seine eigenen Prozessoreinheiten für die Bewältigung der jeweiligen Aufgaben hat. Zudem ist auch die Erweiterung des Arbeitsbereiches einfach durchzuführen, da nur eine Implementierung der Sensoren und die Erweiterung der Systemkapazität notwendig ist (Scholz et al., 2018).

Durch neue Fortbewegungsmechanismen ist die Stabilität und Manövrierfähigkeit der Roboter deutlich gestiegen. Zudem hat sich die Batteriekapazität und Lademethode verbessert, wodurch eine höhere Betriebsdauer bei kleinerer Größe der AMRs erreicht werden kann. Für die Anzahl der benötigten autonomen Fahrzeuge in der Intralogistik können mathematische Optimierungen, Simulationen und Warteschlangennetzwerkmodelle eingesetzt werden. Dabei unterstützen Simulationen in der Produktion, um die benötigte Anzahl an Fahrzeugen für eine hohe Auslastung zu ermitteln. Im Bereich der Lagerhaltung können verschiedene Layoutkonfigurationen und die jeweilige Optimierung untersucht werden, um die Durchsatzleistung zu verbessern und die Arbeitslast besser zu verteilen. Zudem sollte auch das Ressourcenmanagement der Roboter in die Optimierung miteinbezogen werden. Beispielsweise ist der optimale Ort für Ladestationen und Strategien zum Tausch der Batterien zu beachten (Fragapane et al., 2021).

#### **4.4. Predictive Logistics**

Big-Data-Technologien und prädiktive Analysen ermöglichen die Erfassung, Speicherung, Analyse und Visualisierung umfangreicher Daten, um Einblicke zu gewinnen, die zur Optimierung von Intralogistikprozessen genutzt werden können. Der Einsatz von Big Data und prädiktiver Analytik in der Logistik kann viele Herausforderungen mit sich bringen und eine kostenintensive Investition darstellen, welche in der Regel aber zu überlegenen Leistungen führt. Im Bereich der Logistik lassen sich dadurch Vorhersagen, Optimierungen, Planung und Kontrolle durchführen, was zu einer Leistungsverbesserung führt, da sich Führungskräfte effektiver auf ihre Kerntätigkeit konzentrieren können (Sodero et al., 2019). Auch im Bereich

der vorausschauenden Wartung kann KI-Technologie wie beispielsweise maschinelles Lernen eingesetzt werden, um zukünftige Wartungen bereits vorzeitig einzuplanen (Alenizi et al., 2023). Bei der vorausschauenden Wartung lässt sich künstliche Intelligenz als Analysetechnologie einsetzen, indem sie sensorische Daten in nützliche Informationen transformiert, wodurch diese für die Zustandsvorhersage oder das Wartungsmanagement für Maschinen herangezogen werden kann. Ziel solcher Zustandsvorhersagen an Maschinen ist es, die Wartungskosten zu minimieren und die Produktqualität zu optimieren (Lee et al., 2018). Außerdem können durch den Einsatz von Big-Data-Anwendungen und prädiktiver Analytik mehrere AMRs optimal je nach Bedarf verteilt werden (Fragapane et al., 2021). Auch die Entscheidungsfindung in Organisationen lässt sich durch Big Data und prädiktive Analyse beeinflussen, vor allem wenn Unternehmen von einer intuitiven zu einer datenbasierten Entscheidungsfindung wechseln möchten (Sodero et al., 2019).

Es ist darauf hinzuweisen, dass mangelndes Bewusstsein über den Umgang mit Big Data und prädiktive Analytik-Anwendungen das Ergebnis beeinflussen kann. Der Wert einer solchen Anwendung hängt davon ab, wie sie genutzt wird. Wesentlich ist es, Verständnis über die Unterschiede zu herkömmlichen Softwaresystemen zu schaffen, um die Vorteile im vollen Umfang zu nutzen. Es lässt sich festhalten, dass die Investition in solche Anwendungen nicht gleich die Leistung bestimmen, da der Wert stark von der Organisation abhängt, welche die Technologie anwendet. Eine effektive Nutzung solcher Systeme erfordert Akzeptanz in allen Bereichen des Unternehmens (Sodero et al., 2019). Durch die Fortschritte im Bereich Big Data und Predictive Analytics werden neue Möglichkeiten geschaffen, Wettbewerbsvorteile aufzubauen und die Nähe zum Kunden zu verbessern. Unternehmen können aufgrund von Kundenprofilen Vorhersagen treffen, welche die Produktentwicklung, die Preisgestaltung und gezielte Werbeaktionen beinhalten. Beispielsweise hat Amazon einen vorausschauenden Versand eingeführt, bei dem basierend auf prädiktiven Analysen Produkte für den Versand vorbereitet werden, bevor die Kunden das Produkt bestellen. Trotz dieser Vorteile sollte die Privatsphäre der Kunden in Bezug auf den Datenschutz berücksichtigt werden (Fawcett & Waller, 2014).

## 5. Empirische Untersuchung – Unternehmensanalyse

In diesem Kapitel wird der empirische Teil dieser Arbeit behandelt. Dabei wird zu Beginn die Datenerhebung bei mittelständischen Produktionsunternehmen beschrieben. Diese Datenerhebung wurde durchgeführt, indem bei fünf Unternehmen der derzeitige Stand der Prozesse analysiert wurde, damit eingeordnet werden kann, in welchem digitalen Reifegrad sich das jeweilige Unternehmen befindet. Anschließend wurde untersucht, ob die Unternehmen bereits künstliche Intelligenz in ihren Prozessen einsetzen. Zum Abschluss dieses Kapitels werden die einzelnen Handlungsfelder für jedes Unternehmen erarbeitet, um aufzuzeigen, in welchen Bereichen Handlungsbedarf besteht, um einen höheren Reifegrad zu erreichen.

### 5.1. Datenerhebung - Analyse von mittelständischen Produktionsunternehmen

Aufgrund der möglichen Optimierungspotentiale von mittelständischen Produktionsunternehmen wurden für den empirischen Teil dieser Arbeit fünf mittelständische Produktionsunternehmen auf ihre Logistikprozesse hin untersucht. Aus Gründen der Diversifikation wurden Betriebe aus verschiedenen Branchen herangezogen. Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, Optimierungspotential in mittelständischen Produktionsbetrieben zu identifizieren. Dabei wurden die Prozesse mit den jeweiligen Vertretern der Unternehmen vor Ort analysiert. Abbildung 13 zeigt eine Übersicht über die untersuchten Unternehmen.

Unternehmen	Branche
Unternehmen 1	Produktionsunternehmen in der Lebensmittelindustrie
Unternehmen 2	Produktionsunternehmen im Bereich Balkon und Zaun
Unternehmen 3	Produktionsunternehmen im Bereich der Halbleiterindustrie
Unternehmen 4	Produktionsunternehmen im Bereich Ladestation für Elektromobilität
Unternehmen 5	Produktionsunternehmen im Bereich Fenster und Türen

Abbildung 12: Übersicht untersuchte Unternehmen (eigene Darstellung)

Jeder Firmenbesuch startete mit einer Vorstellungsrunde der Firmenvertreter, damit geklärt werden konnte, ob die jeweiligen Personen auch Erfahrung und Kompetenz in der Logistik aufweisen und die Prozessanalyse ordnungsgemäß durchgeführt werden kann. Anschließend erfolgte eine Präsentation durch den Autor dieser Forschungsarbeit, bei der die inhaltlichen Themen der Masterarbeit sowie die Vorgehensweise bei der empirischen Forschung dargelegt wurden. Dazu

erfolgte eine grundlegende Erklärung, wie die Prozessanalyse durchgeführt werden soll. Die Einführung in das Thema der Masterarbeit beinhaltete die Begriffserklärung der Intralogistik, Erläuterungen zum Thema künstliche Intelligenz und wie diese in der Intralogistik eingesetzt werden können, eine Erklärung des Reifegradmodells und der einzelnen Themenblöcke des Interviewleitfadens. Der Interviewleitfaden dient als Richtlinie, um die Prozesse in den Unternehmen systematisch zu analysieren und ein ganzheitliches Bild über alle Unternehmensbereiche zu erhalten.

Bei den fünf Unternehmen wurde eine Prozessanalyse der Intralogistik durchgeführt, um zu identifizieren, welchen digitalen Reifegrad diese haben und ob bereits KI eingesetzt wird. Jede Analyse nahm circa zwei Stunden in Anspruch. Die Analysen wurden bei den Unternehmen vor Ort durchgeführt, wobei jeder Prozessschritt mit einer zuständigen Person durchgegangen wurde. Die Analyse startete im Wareneingang und folgte dem Materialfluss zum Lagerbereich. Sie endete am Warenausgang und im Versandbereich. Zusätzlich wurden Fragen zum Thema künstliche Intelligenz und Organisation sowie Kultur des Unternehmens gestellt, um die Prozesse ordnungsgemäß in den Industrie 4.0 Maturity Index einordnen zu können.

Die Fragen im Wareneingangsbereich sollten Einblick in den eigentlichen Wareneingangsprozess, die dort verwendeten Informationssystemen sowie die Datenverarbeitung liefern. Anschließend wurden im Lagerbereich die Ein- und Auslagerprozesse hinterfragt, der interne Transport untersucht sowie die Informationssysteme und Datenverarbeitung in diesem Bereich geklärt. Im Themenblock Warenausgang und Versand wurden die Prozesse in diesem Bereich sowie Kundenschnittstellen, Informationssysteme und die Datenverarbeitung geklärt. Zwischen den drei Themenblöcken wurde im Rundgang immer wieder erfragt, ob in einem dieser Bereiche bereits künstliche Intelligenz eingesetzt wird. Wenn ja, wurde ermittelt, in welcher Form und welche Herausforderungen es bei der Implementierung gab. Wenn nein, wurde zusammen mit den Verantwortlichen analysiert, welchen Grund es dafür gibt. Zum Abschluss wurden Fragen zur Organisation und der Veränderungskultur im Unternehmen gestellt sowie erfragt, ob Ressourcen für die Transformation in die Industrie 4.0 vorhanden sind und wie Informationssysteme in die Organisation integriert werden.

Nach der Analyse vor Ort wurden alle Informationen der einzelnen Themenblöcke und Prozesse verschriftlicht und sind in Anhang 2 dieser Arbeit ersichtlich. Anschließend wurden Handlungsempfehlungen für die jeweiligen Prozessblöcke Wareneingang, Lager und Warenausgang erarbeitet. Diese Handlungsempfehlungen dienen dazu, den Reifegrad der jeweiligen Prozesse zu erhöhen und mögliche Einsatzfelder von künstlicher Intelligenz aufzuzeigen. Sie wurden den Unternehmen in einem weiteren Termin präsentiert. Dabei wurden detailliert die Prozessanalysen und jeweiligen Handlungsfelder besprochen und anschließend die Einordnung in das Reifegradmodell erörtert sowie besprochen, in welchen Reifegrad das Unternehmen kommen kann, sollte es die Handlungsempfehlungen umsetzen.

## **5.2. Ergebnisse: Status Quo**

Im Wareneingang werden in allen untersuchten Unternehmen ERP-Systeme eingesetzt, beispielsweise für die Buchung des Wareneingangs. Ein Unternehmen verfügt über sehr wenig Informationen am Wareneingang zum genauen Lieferzeitpunkt von Materialien und kompensiert dieses Informationsdefizit mit einem hohen Lagerbestand. Ein weiteres Unternehmen hat bereits im ERP-System ein Dashboard für den Wareneingangsbereich, welches den Status der Anlieferungen und Bestellungen anzeigt. Diese Daten müssen aber manuell durch den Einkauf gepflegt werden. Im Vergleich dazu bucht ein Unternehmen das Material beim Wareneingang im ERP-System, aber anschließend bis zum Versand an den Kunden nicht mehr. Dadurch fehlen notwendige Zwischenbuchungen und die Datengrundlage, wodurch die Transparenz im Prozess nicht vorhanden ist. Ein weiteres Unternehmen erfasst im Wareneingangsbereich auch den Chargencode für die Nachverfolgbarkeit, aber arbeitet oftmals abgekoppelt vom System auf Papier. Bei den Unternehmen wird im Bereich Wareneingang auch eine Qualitätskontrolle von Lieferungen durchgeführt, falls dies erforderlich ist. Sollten weitere Qualitätskontrollen im Laufe des Prozesses notwendig sein, werden diese durchgeführt und in einem System dokumentiert. Der Materialtransport im Wareneingang variiert bei den Unternehmen je nach Material und umfasst Gabelstapler, Palettenhubwägen oder Rollentische.

Im Lager werden die Lagerplätze der Unternehmen oftmals nicht spezifisch im ERP-System abgebildet, sondern nur in ein Hauptlager gebucht. Es werden bei keinem Unternehmen Daten über die Lagerkapazität an den verschiedenen Lagerstandorten gemessen, sondern es wird auf die Erfahrung der Mitarbeiter gesetzt. Zudem erfolgt in den meisten Unternehmen keine Abstimmung zwischen Einkauf und Lager bezüglich des verfügbaren Lagerplatzes. Die Kommunikation über den Materialbedarf der Produktion wird bei den meisten Unternehmen in

einem ERP-System durchgeführt. Ein Unternehmen hat wie im Wareneingangsbereich ein Dashboard im ERP-System, über den Materialbedarf der Produktion. Aber es wird auch noch per Mail oder Telefon kommuniziert. Die Produktionsplanung und damit die Bedarfsplanung von Materialien aus dem Lager erfolgt unterschiedlich: In manchen Unternehmen erfolgt diese in Microsoft Excel und auf Papier, in anderen Unternehmen durchgehend im ERP-System. In einem Betrieb wird das Material an gewissen Lagerplätzen anhand eines beiliegenden Zettels identifiziert. Das gleiche Unternehmen hat hingegen an einem anderen Lagerort ein automatisiertes Lagersystem, welches mit Barcode-Identifikation und dem FIFO-Prinzip arbeitet. Dabei arbeitet das Unternehmen in diesem automatisierten Lagersystem auch mit voretikettierten Kisten des Lieferanten, welche als Umlaufverpackung dient. Ein weiteres Unternehmen arbeitet mit Barcodes an den Transportboxen und Lagerplätzen, damit effiziente Buchungen im ERP-System erfolgen können. Die Transportmittel im Lagerbereich reichen von Hubwagen bis zu Staplern in Hochregallager. Zwei Unternehmen benutzen nummerierte Transportwägen für den internen Transport, welche nicht mit Sensoren ausgestattet sind, aber bei einem Unternehmen Barcodes enthalten. Bei den meisten der untersuchten Unternehmen sind die Lagerplätze nummeriert und gut sichtbar. In allen Lagern erfolgt eine jährliche Überprüfung des Lagerbestandes durch die Inventur. In zwei Unternehmen muss monatlich eine Überprüfung der Waren durchgeführt werden, da kein durchgehendes Bestandsmanagement implementiert ist.

Im Bereich Warenausgang und Versand erfolgt die Kommissionierung in einem Unternehmen manuell und ohne Scanner, basierend auf den Erfahrungen der Mitarbeiter. Im Warenausgang befinden sich bei den meisten Unternehmen Tore, welche entweder farblich oder mit Zahlen organisiert sind und zugewiesen werden können. Bei einem Unternehmen planen firmeninterne Transportlogistiker die Routen sowie die Beladung des LKWs. Dieses Unternehmen stellt anhand von Barcodes auf Transportwägen sicher, dass die Zuordnung der Ware korrekt und die Lieferung vollständig ist. Zudem wird bei den meisten Unternehmen vor dem Versand eine weitere Qualitätskontrolle durchgeführt. Bei einem Unternehmen wird die zu versendende Ware zusätzlich mit einem Foto dokumentiert. Für die meisten Unternehmen ist der Versand- und damit der Intralogistikprozess mit der Übergabe an den Spediteur abgeschlossen. Ein Unternehmen muss auf die Unterschrift des Endkunden warten, um den Prozess im System abzuschließen. Im Zwischenlager vor dem Versand wird bei allen Unternehmen ein FIFO-Prinzip angewendet. Ein Unternehmen hat, wie in den anderen Bereichen, ein Dashboard für den Versand der Waren im ERP-System, bei dem alle Bestell- und Lieferdaten ersichtlich sind.

Dieses Dashboard muss aber manuell von Mitarbeitern im Vertrieb gewartet werden. Bei den meisten Unternehmen dienen Lieferscheine als Kommissionierlisten für den Versand.

### **5.3. Ergebnisse: Einsatz von künstlicher Intelligenz**

In den fünf mittelständischen Produktionsunternehmen gibt es im Bereich der Intralogistik derzeit noch keinen konsequenten Einsatz von künstlicher Intelligenz. Zum einen fehlt bei vielen Unternehmen die Datengrundlage, da im Prozess oftmals manuell gearbeitet wird. Zum anderen werden Daten, sofern vorhanden, derzeit noch nicht richtig genutzt. Die fehlende Datengrundlage wurde auch von Richey et al. (2023) als eine der größten Hürden für den Einsatz von künstlicher Intelligenz in kleinen und mittelständischen Unternehmen identifiziert.

Die Unternehmen sehen ferner die Dokumentation, eine grundlegende Strukturierung und die Digitalisierung der Prozesse als Herausforderung bei der Einführung von KI-basierten Systemen. Außerdem sollte laut einem Firmenvertreter erst ein durchgängiges ERP-System im Unternehmen implementiert werden, bevor künstliche Intelligenz im Logistik- und Produktionsbereich eingesetzt wird, was dem Vorgehen im Reifegradmodell entspricht. In einem Unternehmen gibt es bereits eine Arbeitsgruppe, welche sich mit Verbesserungen des ERP-Systems beschäftigt, da auch hier noch nicht genügend Daten gesammelt und die Systeme für KI-Technologien noch nicht vorhanden sind. Kilimis et al. (2019) kommen zu dem Schluss, dass Probleme im ERP-System gleich zu Beginn gelöst werden sollten, da es sich um ein zentrales System handelt. Erst dann sollten andere Probleme behoben werden. Auch Arnold et al. (2007) sind der Ansicht, dass ein durchgängiges ERP-System eingesetzt werden sollte. Richey et al. (2023) weisen ebenso darauf hin, dass eine effektive und effiziente Datenverwaltung sowie strukturierte Prozesse vorhanden sein müssen, um das volle Potential von KI-Anwendungen auszuschöpfen. Dadurch zeigt sich, dass Unternehmen in der Praxis die gleichen Herausforderungen haben, wie sie die derzeitige Forschung aufzeigt.

Ein Unternehmen testet derzeit eine Software, welche die Planung und Montage bei Kunden vor Ort mittels künstlicher Intelligenz optimieren soll. Da das Unternehmen auch eine interne Entwicklungsabteilung hat und intensiv mit einem Softwareunternehmen zusammenarbeitet, sind die Ressourcen in diesem Bereich bereits vorhanden. Bei allen anderen Unternehmen ist dies nicht in diesem Ausmaß der Fall. Das deckt sich mit den Ergebnissen von Cichosz et al. (2020), welche aufzeigen, dass eine Hürde in der Implementierung von neuen Technologien der Mangel an Geld- oder Zeitressourcen sowie hochqualifizierten Mitarbeitern ist. Auch

Battistoni et al. (2023) gehen in ihrem Artikel auf kleine und mittelständische Unternehmen ein, welche aufgrund der begrenzten Ressourcen oftmals Schwierigkeiten haben, eine digitale Transformation einzuleiten.

Die untersuchten Unternehmen sehen in ihren Prozessen grundsätzlich mögliche Anwendungsbereiche für künstliche Intelligenz. Zum Beispiel erkennt Unternehmen 1 Möglichkeiten für die Produktionsplanung in Zusammenhang mit der Intralogistik. Es sollten Prognosen für die Zukunft anhand von Nachfragedaten für gewisse Lebensmittel erstellt werden. Dieser Anwendungsfall kann durch künstliche Intelligenz durchaus umgesetzt werden, wie Hasija und Esper (2022) aufzeigen.

#### **5.4. Ergebnisse: Zukünftige Handlungsfelder**

In den Themenblöcken *Wareneingang*, *Lager* und *Warenausgang* konnten bei allen fünf Unternehmen potenzielle Handlungsfelder identifiziert werden, welche sich an den spezifischen Prozessen ausrichten. Durch die dargestellten Anpassungen könnten Prozesse optimiert werden, wodurch sich ein höherer digitaler Reifegrad erreichen ließe. Nicht alle Handlungsfelder sind zwingend auf künstliche Intelligenz ausgerichtet, sondern betreffen mitunter die Schaffung einer Grundlage für den zukünftigen Einsatz von KI.

Generell orientieren sich Unternehmen immer an ihren aktuellen Herausforderungen und versuchen anschließend, konkrete Lösungen dafür zu finden. Dadurch können Insellösungen entstehen, welche möglicherweise nicht nahtlos in die bestehende IT-Infrastruktur eingefügt werden können. Da die Anforderungen problemorientiert sind, machen sich die Unternehmen bis zur Einführung der Systeme keine wesentlichen Gedanken um Datenmodelle. Im Folgenden werden die gewonnenen Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen für jedes der untersuchten Unternehmen einzeln dargestellt.

##### **5.4.1. Unternehmen 1**

In Unternehmen 1 werden Bestellungen per Mail an den Wareneingang gesendet und dort ausgedruckt. Es empfiehlt sich, die Bestellungen stattdessen in ein durchgängiges System zu integrieren, um einen stabilen digitalen Prozess zu gewährleisten, wie es Arnold et al. (2007) empfehlen. Zudem sollten mehr Daten im Wareneingangsbereich erhoben werden, um eine Rückverfolgbarkeit der Waren sicherzustellen. Da in Unternehmen 1 die Ankunftszeit von Lieferanten nicht immer genau bestimmt werden kann, könnte dies als Handlungsfeld durch die



Unterstützung von künstlicher Intelligenz verbessert werden. Auf diese Weise ließen sich Lieferanten proaktiv in einem System überwachen und die Personen am Wareneingang würden bei Ankunft automatisch benachrichtigt. So könnten auch Lieferverzögerungen aufgrund von Verkehrslage, Wetterdaten und anderen Variablen in die Berechnung miteinbezogen werden, wie es von Olewe et al. (2023) beschrieben wird. Nach der Anlieferung erfolgt die Qualitätskontrolle derzeit händisch auf Zetteln und wird anschließend ins System eingetragen. Würde stattdessen auf digitale Messgeräte gesetzt, könnte eine automatische Eintragung im System erfolgen und Fehler vermieden werden. Dadurch wäre es auch möglich, den Wareneingang effizient im System zu buchen, wodurch dieser schneller verfügbar wäre.

Im Bereich der Lagerhaltung kommen Informationen über die benötigten Waren für die Produktion aus der wöchentlichen Produktionsplanung. Hierbei könnte der Einsatz von künstlicher Intelligenz in Kombination mit prädiktiven Analysen sinnvoll sein, um ein vorausschauendes Bestandsmanagement der benötigten Waren zu ermöglichen. Auch Woschank et al. (2020) erwähnen, dass künstliche Intelligenz in Kombination mit prädiktiven Analysen bei Entscheidungen unterstützen können, was die Relevanz der Handlungsempfehlung unterstreicht. In Unternehmen 1 wird keine Lagerkapazität erfasst, sondern anhand der Erfahrung von Mitarbeitern eingeschätzt. Es empfiehlt sich stattdessen, das gesamte Lagermanagement digital zu erfassen und im System zu hinterlegen. Derzeit wird an vielen Lagerorten eine monatliche Inventur aufgrund eines nicht optimalen Bestandsmanagements durchgeführt. Durch die Implementierung eines durchgehenden Bestandsmanagement inklusive der Erfassung von relevanten Daten der Artikel ließe sich eine Reduktion des Zeitaufwands durch die Inventur erzielen. Zusätzlich könnten auch die internen Transportmittel wie Hubwagen und andere Transportmittel mit Barcodes, Sensoren und digitalen Waagen ausgestattet werden, um den Transportprozess zu verbessern.

Aktuell erfolgt in Bezug auf den Versand der Waren eine wöchentliche Abstimmung mit der Produktionsleitung. Eine tägliche Abstimmung im Sinne eines Shopfloor Managements würde den Prozess transparenter und planbarer gestalten. In Bezug auf die Kommissionierung für den Versand wird derzeit mit einer manuellen Waage das Gewicht der Produkte ermittelt. Sie erfolgt per Zettel, wobei auf die Erfahrung der Mitarbeiter gesetzt wird, welches Material an welchem Lagerort zu finden ist. Nach der Kommissionierung muss die Ware in die jeweilige Schleuse gebracht werden, welche mit Farben und Nummern gekennzeichnet sind. Derzeit erfolgt keine Bestätigung, ob die Ware erfolgreich von der Schleuse abgeholt wurde. Durch ein

automatischen Waagensystem, welches mit dem ERP-System verbunden ist, könnte der gesamte Prozess digital erfolgen und Fehler vermieden werden. Durch die vollständige Digitalisierung des Kommissionierprozesses mittels mobiler Geräte und intelligenter Routen ließe sich dieser Prozess wesentlich effizienter gestalten. Richards (2018) gibt an, dass Technologien in der Kommissionierung auch kombiniert werden können, was für Unternehmen 1 relevant ist. Des Weiteren empfiehlt es sich, die Versandaufträge anhand der vorhandenen Informationen automatisch zu erstellen, sobald das letzte Material der Liste kommissioniert wurde. Durch die Einführung von Übergabebuchungen und die Implementierung von Monitoren sowie Dashboards am Warenausgang ließe sich in Echtzeit verifizieren, ob die jeweilige Bestellung an der Rampe abgeholt wurde.

Für Unternehmen 1 konnte anhand der Ist-Analyse der Prozesse der Reifegrad 1, *Computerisierung*, festgestellt werden. Dieser Reifegrad befindet sich noch im Bereich der Digitalisierung und erfolgt, da das Unternehmen zwar Informationstechnologie implementiert hat, diese aber oftmals isoliert und ohne Schnittstellen zu anderen Systemen eingesetzt wird und beispielsweise entkoppelt vom System auf Papier gearbeitet wird. Durch die Implementierung der beschriebenen Handlungsfelder könnte das Unternehmen den Reifegrad 3, ‚Sichtbarkeit‘, erreichen und somit den Reifegrad eines Industrie-4.0-Unternehmens erreichen.

#### 5.4.2. Unternehmen 2

In Unternehmen 2 gibt es im Bereich des Wareneingangs derzeit noch keine Visualisierung über Anlieferungen und auch keine Vorschau über den Personalbedarf am Wareneingang. Dabei könnte ein Monitor zur Visualisierung der Anlieferungen bewirken, dass der Prozess übersichtlich und transparent gestaltet wird. Zudem wäre es dadurch möglich, Vorkehrungen zu treffen, um den optimalen Lagerplatz zu identifizieren. Es empfiehlt sich weiters, Kennzahlen wie den Personalbedarf am Wareneingang zu erfassen, um die Auslastung der Mitarbeiter und die Effizienz am Warenausgang zu messen. Durch mobile Geräte am Wareneingang, welche Schnittstellen zum ERP-System aufweisen, können Lieferscheine mittels OCR-Schrifterkennung direkt ins System geladen werden. OCR-Schrifterkennung ist eine computergestützte Technologie, die beispielsweise die Umwandlung von handschriftlichen Texten in Text ermöglicht, welchen Computersysteme verarbeiten können (R. Mittal & Garg, 2020). Durch Schnittstellen zum System könnte eine automatische Buchung des Wareneingangs erfolgen und mögliche Reklamationen gleich direkt im System

durchgeführt werden. Hierbei wäre ein Anwendungsfeld von künstlicher Intelligenz die Unterstützung einer optischen Qualitätskontrolle mittels Bilder der Ware. Der Einsatz von KI in Kombination mit der Qualitätskontrolle ist laut Alenizi et al. (2023) jener Bereich, mit dem sich die Forschung am intensivsten beschäftigt, weshalb eine Anwendung in diesem Bereich durchaus Vorteile mit sich brächte. Derzeit gibt es noch keinen optischen Unterschied, ob die Ware im System gebucht wurde oder nicht. Deshalb sollte unbedingt eine Kennzeichnung am Material eingeführt werden, wenn der Wareneingang gebucht wurde. Zudem wäre es empfehlenswert, an einem Dashboard im System anzuzeigen, wenn die Ware verfügbar ist, was zusätzlich am Monitor ersichtlich sein würde.

Das Material wird oftmals direkt nach dem Wareneingang eingelagert, was bedeutet, dass es nicht zwischengelagert werden muss. Bei der Einlagerung von Material wird ein Etikett im System mit relevanten Informationen gedruckt. Dieses sollte für einen effizienten Prozess direkt am Gabelhubstapler mittels mobiler Geräte gedruckt werden, wodurch ein weiterer Transportweg vermieden wird und das Material schneller eingelagert werden könnte. Der Bedarf der Produktion an Materialien aus dem Lager wird in einem System festgelegt. Sollte jedoch dringend Material benötigt werden, wird per Telefon oder E-Mail kommuniziert. Hier sollte in Zukunft auch in dringenden Fällen durchgehend im System kommuniziert werden, um diese Informationen auf einem Monitor, welcher im Lagerbereich implementiert werden kann, darzustellen und schnell reagieren zu können. Derzeit wird in Unternehmen 2 (wie auch in Unternehmen 1) keine Lagerkapazität gemessen, da genügend Lagerplatz vorhanden ist, um einen Vorrat von vier bis sechs Monaten aufzubauen. Zudem gibt es keine besondere Einlagerstrategie, aber die Lagerdauer, der Lagerstandort und die Lagermenge werden im ERP-System erfasst. Hierbei könnte als Handlungsfeld eine KI-basierte Lagerverwaltung in Kombination mit einer Einlagerstrategie erarbeitet werden. Dadurch würde die KI den bestmöglichen Zeitpunkt berechnen, um die optimale Menge zum optimalen Preis zu beschaffen, indem weitere Parameter, wie der verfügbare Lagerplatz, in die Daten miteinbezogen werden. Dadurch könnte das Ziel des Unternehmens erreicht werden, den Lagerplatz optimal auszunutzen, die Transportentfernungen zu minimieren und die Effizienz in der Kommissionierung zu erhöhen. Darauf weisen auch Koster et al. (2007) hin. Da die Ware im internen Transport auf Transportwägen erfolgt und diese noch keine Sensoren oder RFID-Technologie installiert haben, sollte dies in Zukunft angedacht werden. Durch RFID-Technologie können die Transportwägen besser im Unternehmen lokalisiert werden und möglicherweise ein digitales Abbild der Wägen geschaffen werden, wie es auch Gudehus

(2011) beschreibt. Durch die RFID-Technologie könnte zusätzlich eine automatische Übergabebuchung beim Transport in die Produktion eingeführt werden.

Durch die interne Transportlogistik ist bei Unternehmen 2 der Versandbedarf ersichtlich und wird anhand von Touren geplant. Dies könnte in Zukunft durch einen Monitor visualisiert werden und die Tour nachhaltig anhand von KI und Big-Data-Anwendungen mit Variablen wie Personalbedarf, LKW-Bedarf und vorausschauender Wartung oder Fahrverboten in gewissen Regionen geplant werden, wie es Winkelhaus und Grosse (2020) beschreiben. Zudem könnten die Beladeplanung und Nachfrageprognosen mithilfe von künstlicher Intelligenz anhand von historischen Verkaufsdaten und Erfahrungen optimiert werden. Bevor die Ware verwendet wird, wird sie mittels Barcodes auf den Transportwägen auf Vollständigkeit im System überprüft. Als Qualitätskontrolle wird auch vor der Verladung in den LKW ein Foto angefertigt. Hier könnte eine KI-Anwendung eingesetzt werden, um die Qualitätskontrolle durch künstliche Intelligenz zu unterstützen. Die Qualitätskontrolle am Warenausgang sollte laut Gudehus (2011) beibehalten werden, da dadurch Fehler, welche bei der Kommissionierung entstanden sind, abgefangen werden können, bevor die Lieferung an den Kunden versendet wird. Bereits jetzt sind viele Schnittstellen zu internen IT-Systemen vorhanden, was eine Nachverfolgbarkeit von Produkten bis zum Endkunden gewährleistet. Dieses Tracking und Tracing sollte in Zukunft bereits von Beginn an im Intralogistikprozess durchgeführt werden, damit eine Echtzeit-Statusaktualisierung innerhalb der Intralogistik möglich wird.

Unternehmen 2 konnte mit der höchsten digitalen Reife in das Reifegradmodell eingeordnet werden. Das Unternehmen wurde gesamt in den Reifegrad 3, *Sichtbarkeit*, eingeordnet, da es zwar im Bereich des Wareneingangs etwas niedriger eingestuft werden sollte, aber im Bereich des Warenausgangs definitiv ein digitales Abbild der Ist-Situation aufweist und dieses durch das Tracking und Tracing bis zum Endkunden vorhanden ist. Zudem sind viele Schnittstellen und mobile Geräte im Einsatz, welche den Prozess effizient gestalten. Durch die Implementierung der Handlungsfelder könnten die Prozesse des Unternehmens den Reifegrad 5 (,Prognosefähigkeit‘) erreichen. Dadurch könnten Nachfrage- und Bedarfsprognosen mittels künstlicher Intelligenz und prädiktiven Analysen erstellt werden und das Unternehmen erkennen, was in Zukunft passieren wird.

### 5.4.3. Unternehmen 3

In Unternehmen 3 sind am Wareneingang relativ wenige Informationen über mögliche Anlieferungen vorhanden, da mit manuellen Lieferlisten gearbeitet wird und Bestellungen oftmals per Mail durchgeführt werden. Die Implementierung einer Online-Lieferantenplattform könnte den Prozess wesentlich optimieren, da sich dadurch schnell und unmittelbar Informationen mit den Lieferanten austauschen ließen und auch Bestellungen direkt über das System erfolgen könnten. Die Wichtigkeit von ständigem Informationsaustausch mit Lieferanten deckt sich mit den Erkenntnissen von Goldsby et al. (2006). Zudem sollten weitere Daten wie die Größe und das Gewicht der Ware am Wareneingang erfasst werden, damit im weiteren Prozess der passende Lagerplatz gefunden werden kann. In Unternehmen 3 erfolgt nach der Wareneingangsbuchung keine Zwischenbuchung bis zum Versand an den Kunden. Deshalb sollten intelligente Behälter eingesetzt werden, mit deren Hilfe das Material besser verfolgt werden könnte und die Buchung der Zwischenschritte gewährleistet wäre. In Anlehnung an Woschank et al. (2020) würde das Unternehmen durch den Einsatz von automatischer Identifikation in der Materialverfolgung einen Schritt in Richtung ‚Smart Logistics‘ gehen.

Derzeit hat das Unternehmen sehr hohe Lagerbestände, da die Produktionsplanung nur wöchentlich erfolgt und einen Horizont von sechs Monaten berücksichtigt. Zudem hat das Unternehmen viele Zwischenlager als Puffer, wobei die Auslastung dieser Lager nicht gemessen und der Lagerbestand durch die Mitarbeiter vor Ort kontrolliert wird. Sollte wenig Materialbestand vorhanden sein, melden dies die Mitarbeiter und bestellen nach. Durch eine verbesserte Produktionsplanung im ERP-System könnte für ein durchgängiges Bestandsmanagement gesorgt und die Lagerbestände dadurch gesenkt werden. Zudem sollten Echtzeit-Lagerbestände in einem Lagermanagementsystem erfasst werden, um eine Datengrundlage zu schaffen, mit der KI-Systeme arbeiten können. Durch diese Datengrundlage, in Kombination mit dem Wissen der Facharbeiter über die Lagerauslastung der jeweiligen Lagerorte, könnte eine KI-Lösung dazu beitragen, anhand vieler Parameter die Lagerverwaltung dynamisch zu gestalten. Hasija und Esper (2022) erwähnen, dass das Fachwissen von Mitarbeitern in die Datengrundlage der künstlichen Intelligenz integriert werden soll, um bessere Ergebnisse zu erzielen. Zudem könnten intelligente Behälter oder Barcodes für die Materialien eingeführt werden.

Der Warenausgang und Versand erfolgt in einem Zeitfenster, welches für die Abholung der Ware mit dem jeweiligen Spediteur vereinbart wird. Zusätzlich stehen zwei interne Transportfahrzeuge für den Versand zur Verfügung, welche an zwei definierten Tagen der Woche Lieferungen übernehmen. Hier könnte in Zukunft eine Online-Plattform implementiert werden, in der Transportausschreibungen stattfinden und die komplette Abfertigung sowie Dokumentation durch den Fremdtransport in dieser Plattform erfolgt. Zusätzlich könnte der Einsatz der beiden internen Transportfahrzeuge optimiert werden, indem Lieferungen gesammelt und nur nach Bedarf ausgeliefert werden. Grundsätzlich wird keine Auslastungsmessung am Warenausgang durchgeführt und auch die Lieferpapiere und Dokumentation erfolgen manuell auf Papier. In Zukunft sollte die Auslastung am Warenausgang gemessen werden, um die Aufgaben der Mitarbeiter besser zu priorisieren. Zudem sollte eine Warenausgangsbuchung mit mobilen Geräten implementiert werden, welche eine digitale Signatur und Dokumentation ermöglichen, wodurch ein durchgängiger digitaler Prozess gewährleistet würde. Zudem würde anschließend ein Echtzeit-Tracking des Materials bis zum Endkunden möglich.

Auch Unternehmen 3 wird aufgrund der Prozessanalyse in den Reifegrad 1, der *Computerisierung*, eingeordnet, da derzeit beispielsweise keine Zwischenbuchungen im System erfolgt, wodurch entkoppelt vom System gearbeitet wird. Zudem gibt es keine genauen Aufzeichnungen über den aktuellen Lagerstand im Unternehmen. Durch die Implementierung der Handlungsfelder könnte auch diese Unternehmen in den Reifegrad 3 („Sichtbarkeit“) kommen und ein Industrie-4.0-Unternehmen werden.

#### 5.4.4. Unternehmen 4

In Unternehmen 4 gibt es, wie bereits in der Datenerhebung beschrieben, ein Dashboard, welches die Anlieferungen im System aufzeigt, wobei die Datenpflege noch manuell durch den Einkauf erfolgt. Hierbei könnten über eine Lieferantenplattform die Informationen in Echtzeit ausgetauscht werden und durch den Lieferanten gepflegt werden. Dadurch würde das Unternehmen einen Echtzeit-Status zu jeder Lieferung erhalten und könnte diesen mit einem Monitor am Wareneingang visualisieren. Dadurch wäre es möglich, einen digitalen Arbeitsvorrat zu bestimmen und die Aufträge automatisch Mitarbeitern zuzuordnen. Diese Handlungsempfehlung deckt sich mit den Erkenntnissen von Pessot et al. (2023), die auf die Optimierung des Anlieferungsprozesses durch Echtzeit-Datenübertragung und die damit einhergehende raschere Reaktion auf etwaige Störungen hinweisen. Da derzeit noch keine

Auslastung am Wareneingang gemessen wird, sollten diese und weitere unternehmensrelevante Kennzahlen in Zukunft erfasst werden. Zudem wäre es empfehlenswert, intelligente Packstücke zu implementieren, welche lagerrelevante Informationen für die weitere Verarbeitung beinhalten. Weiters kann durch die intelligenten Behälter auch der Wareneingang automatisch im System rückgemeldet werden. Außerdem gibt es im weiteren Prozess viele weitere Möglichkeiten, durch intelligente Behälter den Materialfluss im Unternehmen zu verbessern, wie Winkelhaus und Grosse (2020) aufzeigen. Durch Lokalisierungstechnologie, wie die RFID-Technologie, kann das Lagermanagement allgemein verbessert werden (Ross et al., 2009). Derzeit müssen die Mitarbeiter noch selbst überprüfen, ob die jeweilige Lieferung einer Prüfpflicht im Sinne der Qualitätskontrolle unterliegt oder nicht. In Zukunft könnte diese Entscheidung autonom im System erfolgen.

Auch im Lagerbereich hat das Unternehmen ein Dashboard im ERP-System für den Bedarf der Produktion. Dieses kann bereits herangezogen werden, um im Lager einen Monitor für die Visualisierung zu implementieren und dadurch Aufgaben zu priorisieren sowie die Auslastung zu optimieren. Es sind alle Lagerplätze im System hinterlegt, wobei keine Lagerauslastung gemessen wird und keine Abstimmung mit dem Einkauf erfolgt. Daher ist zu empfehlen, die Lagerauslastung zu messen und die Eigenschaften der Materialien wie Größe, Gewicht und Lagerumschlagshäufigkeit zu erfassen, damit eine Bestands- und Bedarfsprognose durch künstliche Intelligenz erfolgen und ein optimaler Lagerbestand erreicht werden kann. Zudem könnten KI-Anwendungen eingesetzt werden, um die Lagerplätze automatisiert zuzuweisen. Dadurch kann auch in Zusammenhang mit einer dynamischen Einlagerung der Lagerplatz optimal ausgenutzt werden. Diese Handlungsempfehlung wird durch die Ausführungen von Koster et al. (2007) unterstützt, die darauf hinweisen, dass durch die Einlagerung in einem optimal ausgenutzten Lagerplatz die Effizienz der Kommissionierung verbessert wird. Um Transparenz über den gesamten Prozess zu erhalten, sollte nicht nur nach dem FIFO-Prinzip ein- und ausgelagert werden, sondern auch ein Chargencode der Materialien dokumentiert werden. Der interne Transport erfolgt derzeit mit Hubwagen, Transporttischen und kleinen Rollwagen, welche nicht mit Sensoren, Barcodes oder anderen Technologien ausgestattet sind. In Zukunft könnte eine Produktionsversorgung mittels Automated Guided Vehicle (AGV) implementiert werden, um die Produktion kontinuierlich zu versorgen. Nach Zhen und Li (2022) können die Mitarbeiter vor allem im Bereich der Kommissionierung und der Handhabung im Lagerbereich durch AGVs unterstützt werden, was das Optimierungspotential dieser Handlungsempfehlung hervorhebt.

Die Produkte in Unternehmen 4 werden direkt nach der Funktions- und Qualitätskontrolle in der Produktion verpackt und etikettiert. Dadurch werden fertige Paletten zu je 75 Stück in den Warenausgangsbereich gebracht und händisch ein Übergabeprotokoll ausgefüllt. Durch die Implementierung eines digitalen Übergabeprotokolls mittels mobiler Geräte wäre es möglich, durchgehend im System zu arbeiten. Die Einlagerung nach der Produktion erfolgt nach dem FIFO-Prinzip, die Kommissionierung der Ware für den Versandprozess mit einem Papierlieferschein. Die Produkte werden anschließend mittels Barcodes gescannt und mit dem Lieferschein verknüpft, da die Seriennummer am Lieferschein ersichtlich sein muss. Anschließend kann das Versandetikett im System generiert und gedruckt werden, da das Gewicht mit einer Waage ermittelt werden muss. Hierbei könnte ein systemgestützter Kommissionierprozess mit mobilen Geräten implementiert werden, welcher eine Routenoptimierung und die Reduktion von Fehlern ermöglicht. Zudem könnten automatisch Versanddokumente generiert werden, wenn eine Waage mit dem ERP-System verbunden oder das Gewicht pro Artikel im System hinterlegt wird. Für den Versand hat dieses Unternehmen auch ein Dashboard im ERP-System, in dem Bestell- und Lieferdatum sowie eine Statusfunktion integriert sind. Dieses Dashboard wird manuell vom Vertriebsteam gewartet. Durch die Implementierung eines Monitors am Warenausgang könnten die Versandinformationen in Echtzeit visualisiert werden und für einen besseren Überblick sowie eine Priorisierung der Aufgaben genutzt werden. Zudem wäre es möglich, mithilfe von prädiktiven Analysen und künstlicher Intelligenz das Versandvolumen für bestimmte Tage und Wochen vorherzusagen. Dadurch würde das Unternehmen dynamisch und könnte sich schnell an eine verändernde Umgebung anpassen, wie Sodero et al. (2019) darlegen. Mithilfe der RFID-Technologie an den internen Transportsystemen und Behältern wäre weiters eine automatische Verbuchung im System möglich, sobald das Material in den Rampenbereich gebracht wird.

Das Unternehmen 4 wurde bereits anhand der Analyse vor Ort in den Reifegrad 2, die *Konnektivität*, eingeordnet, wobei in einzelnen Intralogistik-Prozessen bereits Stufe 3, ‚Sichtbarkeit‘, erreicht ist, beispielsweise durch die vielen Dashboards, wodurch ein Abbild der derzeitigen Situation im Unternehmen möglich wird. Trotzdem kann dieses Abbild noch nicht vollständig in Echtzeit und über alle Prozesse erstellt werden. Reifegrad 2 sieht vor, dass Schnittstellen zu anderen IT-Systemen implementiert sind und durch eine gewisse Vernetzung die Grundlage für Internet of Things (IoT) gewährleistet ist, was in diesem Unternehmen der Fall ist. Durch die Umsetzung der Handlungsempfehlungen kann davon ausgegangen werden,



dass das Unternehmen den Reifegrad 4 (,Transparenz‘) erreichen kann, da durch das digitale Abbild hier bereits Ursachen-Wirkungszusammenhänge erarbeitet werden können.

#### 5.4.5. Unternehmen 5

Adaptierungen der Intralogistikprozesse sollten in Unternehmen 5 mit der Implementierung eines durchgehenden Bestandsmanagements beginnen, welches die Grundlage für automatisierte Bestellungen bei Lieferanten ermöglicht. Zudem könnte durch gewonnene Daten am Wareneingang und die Datengrundlage der Produktionsplanung sowie Lagerplätze eine dynamische KI-gesteuerte Lagerplatzfindung implementiert werden, wodurch eine effiziente Lagerverwaltung gewährleistet würde. Des Weiteren sollte auch in diesem Unternehmen die Auslastung am Wareneingang gemessen und ein Monitor für die Überwachung der Anlieferungen eingeführt werden. Die logistische Wareneingangsprüfung könnte wie auch in anderen Unternehmen durch digitale Erfassung der Lieferscheine mittels OCR-Schrifterkennung und systemgestützte Buchung vor Ort unterstützt werden. Durch mobile Geräte und die damit verbundene ortsunabhängige Buchung wäre es möglich, den Wareneingangsprozess effizienter zu gestalten. Diese Handlungsempfehlungen entsprechen den Ausführungen von Richards (2018), der darauf hinweist, dass unter anderem Barcode-Scanner mobil oder auf Transportmitteln montiert werden können.

In Unternehmen 5 gibt es derzeit eine Drei-Tages-Vorschau für den Materialbedarf der Produktion aus dem Lager, welche in einem weiteren System ersichtlich ist. Empfehlenswert wäre, dieses System mittels Schnittstellen mit den anderen Systemen kommunizieren zu lassen oder gänzlich in das ERP-System zu integrieren, um ein durchgängiges System zu erhalten, wie es Arnold et al. (2007) empfehlen. Trotzdem wird der Lagerbestand von Mitarbeitern überprüft und sollte ein Material nicht in ausreichender Menge vorhanden sein, wird nachbestellt, wobei kein Mindestbestand im System hinterlegt ist. Daher wäre es ratsam, einen Mindestbestand für alle Standardartikel einzuführen, sodass bei Unterschreitung im System automatisch nachbestellt und das jeweilige Material auf ein Maximum aufgefüllt wird, wie es Shapiro und Wagner (2009) vorschlagen. Der Lagerbestand muss derzeit monatlich überprüft werden, da kein durchgängiges und aktuelles Bestandsmanagement implementiert ist. Die Lagerplätze sind aktuell noch nicht im System ersichtlich, was bedeutet, dass dort ausschließlich eine ortsgenaue Bestimmung möglich ist, die Lagerdauer sowie die Lagerauslastung jedoch nicht gemessen werden. In Zukunft sollte die Lagerplatzverwaltung digital erfolgen, um den Standort eines Materials genau zu bestimmen und die Lagerauslastung sowie die Lagerdauer bei der Ein- und

Auslagerung zu berücksichtigen. Zudem könnte RFID-Technologie eingesetzt werden, um Materialien oder interne Transportwägen exakt zu lokalisieren. Die internen Transportwägen sind wie auch in den Vergleichsunternehmen weder mit Sensoren ausgestattet noch mit Barcodes beschriftet. Durch eine Implementierung dieser Technologien auf den Transportmitteln könnte eine automatische Buchung im System erfolgen, sollte der Transportwagen oder das Material an einen vordefinierten Platz gebracht werden. Dadurch könnte die Effizienz in diesem Prozess wesentlich gesteigert werden.

Der Logistikleiter in Unternehmen 5 fasst die einzelnen Artikel am Lieferschein auf einer Seite zusammen, damit es für die Mitarbeiter einfacher ist, die Ware zu kommissionieren. Die Rampen am Warenausgang sind gut beschriftet, damit die Ware an die richtige Rampe gebracht werden kann. An dieser Stelle wäre es ratsam, eine automatische Liste für die Kommissionierung zu generieren, welche mittels mobiler Geräte abgearbeitet werden kann, um durchgängig digital zu arbeiten. Durch die mobilen Geräte und den Einsatz von Barcodes könnten Fehler bei der Übergabe und Kommissionierung vermieden werden und im Prozess effizienter gearbeitet werden, weisen Arnold et al. (2007) hin. Zudem sollte auch ein Monitor am Warenausgang implementiert werden, um die Auslastung am Warenausgang visuell darzustellen und möglicherweise Aufgaben zu priorisieren. Des Weiteren sollten, wie bereits im Lagerbereich als Handlungsfeld aufgezeigt, die Transportmittel mit RFID-Technologie ausgestattet werden, damit diese im Warenausgangsbereich schnell lokalisiert und ein digitales Abbild der Transportmittel generiert werden kann. Da eine Buchung im System erst nach der Unterschrift des Lieferscheins beim Endkunden erfolgt, sollte eine systemgestützte Zwischenbuchung eingeführt werden, damit die Realität auch im System abgebildet und ein transparenter Prozess geschaffen wird. Zudem sollte die Unterschrift des Lieferscheins beim Endkunden digital erfolgen, wodurch ein durchgängig digitaler Prozess implementiert und der Auftrag zeitnah abgeschlossen werden könnte.

Unternehmen 5 wird aufgrund der fehlenden Schnittstellen zu Systemen und manuellen Tätigkeiten entkoppelt vom System in den Reifegrad 1, genannt *Computerisierung*, eingeordnet. Zudem werden beispielsweise Transportsysteme eingesetzt, welche nicht mit den Informationssystemen verknüpft sind. Durch die Implementierung der Handlungsfelder könnte der Reifegrad 3 (,Sichtbarkeit‘) erreicht werden.

#### 5.4.6. Zusammenfassung: Einordnung der Unternehmen nach Reifegrad

Alle fünf untersuchten Unternehmen konnten anhand der derzeitigen Prozesse erfolgreich in das Industrie 4.0 Reifegradmodell eingereiht werden. Zudem wurden Handlungsempfehlungen für jedes Unternehmen aufgezeigt, um einen höheren Reifegrad zu erreichen. Unternehmen 1, Unternehmen 3 und Unternehmen 5 haben bei der Status Quo Analyse den gleichen Reifegrad 1 *Computerisierung* erreicht und somit die niedrigste Einstufung in das Reifegradmodell. Diese Einordnung ist hauptsächlich auf die vielen manuellen Prozesse und das Arbeiten entkoppelt vom ERP-System zurückzuführen. Durch die Implementierung der Handlungsfelder können aber alle drei Unternehmen den Reifegrad 3 *Sichtbarkeit* erreichen und somit ein Industrie 4.0 Unternehmen werden. Das Mittelfeld bildet Unternehmen 4, welches anhand der vor Ort Analyse in den Reifegrad 2 *Konnektivität* eingeordnet wird. Dabei werden aber bereits einige Prozesse bei der Analyse in den Reifegrad 3 eingeordnet. Durch die Implementierung der Handlungsfelder kann das Unternehmen in eine souveräne Stufe zwischen Reifegrad 4 und 5 eingeordnet werden und kann somit auch ein Industrie 4.0 Unternehmen werden. Als einziges Unternehmen konnte Unternehmen 2 bereits bei der Ist-Analyse in den Reifegrad 3 eingeordnet werden und ist bereits jetzt auf dem Reifegrad eines Industrie 4.0 Unternehmens. Daher schneidet dieses Unternehmen am besten von allen fünf Unternehmen ab und kann durch die Implementierung der Handlungsfelder den Reifegrad 5 *Prognosefähigkeit* erreichen. Abbildung 14 bietet eine Übersicht aller fünf Unternehmen, von deren Reifegrad anhand der Ist-Analyse, bis hin zum möglichen Reifegrad, sollten die Handlungsfelder implementiert werden.

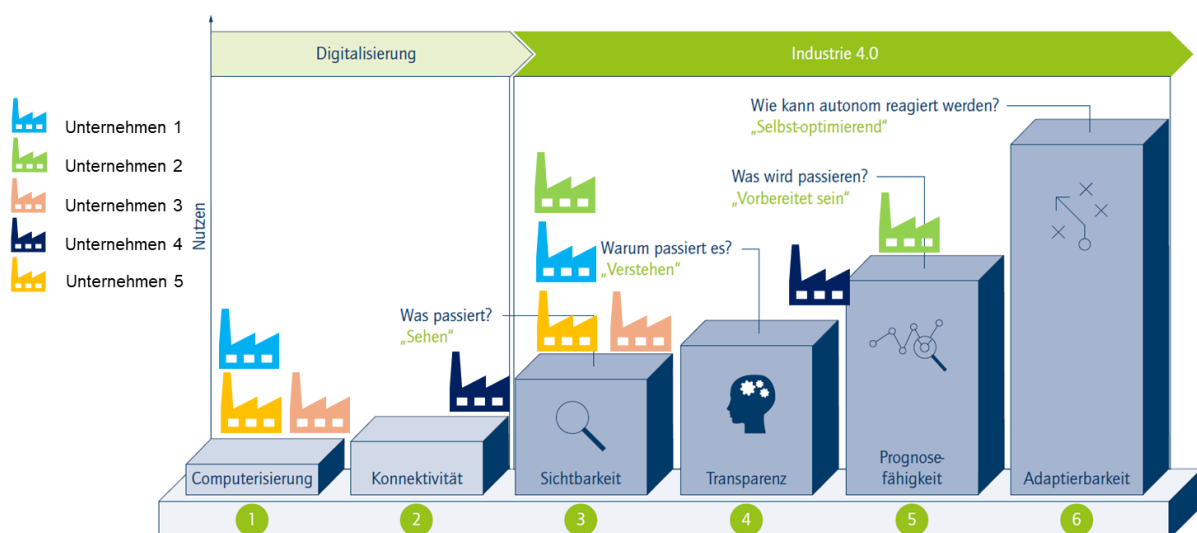


Abbildung 13: Einordnung der Unternehmen in das Reifegradmodell. Eigene Darstellung in Anlehnung an (Schuh et al., 2020)

## 6. Schlussfolgerung

Im letzten Kapitel dieser Arbeit werden die wichtigsten Ergebnisse des empirischen Teils noch einmal zusammengefasst und in Hinblick auf die Literatur aus dem theoretischen Teil dieser Arbeit interpretiert. Des Weiteren schließt dieses Kapitel mit einer Limitation der Arbeit sowie einem kurzen Ausblick auf die zukünftigen Herausforderungen für den Einsatz von künstlicher Intelligenz in Produktionsunternehmen.

In dieser Arbeit wurde die Forschungsfrage adressiert, indem die Optimierungspotentiale durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz in den Intralogistikprozessen mittelständischer Produktionsunternehmen untersucht wurden. Die Analyse fokussierte sich auf fünf Unternehmen aus unterschiedlichsten Branchen: Lebensmittelindustrie, Balkon- und Zaunproduktion, Halbleiterindustrie, Produktion von Ladestationen für Elektromobilität sowie Fenster- und Türenproduktion. Durch detaillierte Prozessanalysen vor Ort wurden diese Unternehmen im Industrie 4.0 Reifegradmodell klassifiziert, um ihren digitalen Reifegrad festzustellen. Basierend auf diesen Analysen wurden spezifische Handlungsempfehlungen für jedes Unternehmen entwickelt, um ihren Reifegrad zu verbessern. Diese Empfehlungen umfassen nicht nur die Anwendung von künstlicher Intelligenz, sondern auch den Einsatz weiterer fortgeschrittener Technologien sowie grundlegende Prozessoptimierungen.

Die Intralogistik in mittelständischen Unternehmen steht vor der Herausforderung, die digitale Transformation zu bewältigen, welche die Industrie 4.0 mit sich bringt (Kilimis et al., 2019). Diese Situation wird durch den Mangel an digitalen Kompetenzen und Ressourcen erschwert, wie die empirische Studie in dieser Arbeit belegen konnte. Dabei wurde festgestellt, dass nur Unternehmen 2 aufgrund einer intensiven Zusammenarbeit mit einem Softwareunternehmen und einer eigenen Entwicklungsabteilung die nötigen Ressourcen für eine digitale Transformation bereitstellt. Die anderen vier untersuchten Unternehmen konnten die Ressourcen in diesem Ausmaß nicht aufweisen, was sich auch mit den Ergebnisse von Cichosz et al. (2020) deckt. Dabei sehen sich die untersuchten Unternehmen mit dem Wettbewerbsdruck konfrontiert, die Intralogistik zu digitalisieren, um konkurrenzfähig zu bleiben. Durch die Integration von neuen Technologien, wie beispielsweise künstliche Intelligenz, können diese Prozesse in den Unternehmen tatsächlich optimiert werden, wodurch auch ein Wettbewerbsvorteil generiert werden kann.

Es gibt viele Möglichkeiten, wie die Intralogistikprozesse in Unternehmen auch ohne den Einsatz von künstlicher Intelligenz optimiert werden können, wodurch die Unternehmen einen höheren digitalen Reifegrad erreichen. Jedoch müssen auch hier die notwendigen Ressourcen bereitgestellt werden, betonen Cichosz et al. (2020) sowie Ghobakhloo und Ching (2019). Zudem sollten sich Optimierungen auch an der jeweiligen Geschäftsstrategie des Unternehmens orientieren (Richards, 2018). Des Weiteren ist es nach Kilimis et al. (2019) und Rijal et al. (2023) wesentlich, vor der Implementierung neuer Technologien immer eine Kosten-Nutzen-Analyse durchzuführen, welche sich individuell an dem Unternehmen orientiert.

Für die untersuchten Unternehmen wurden gezielte Handlungsempfehlungen zur Integration von KI in die Intralogistikprozesse entwickelt. Beispielsweise könnte bei Unternehmen 1 durch den Einsatz von KI eine proaktive Lieferantenüberwachung implementiert werden, welche Lieferverzögerungen aufgrund von Staus, der Wetterlage oder anderen Faktoren vorhersagt, ein Ansatz, der auch von Olewe et al. (2023) beschrieben wird. Bei Unternehmen 2 lässt sich der Wareneingangsprozess durch KI-basierte optische Qualitätskontrollen mittels Bilderkennung optimieren. Diese Technologie könnte bei Unternehmen 2 auch am Warenausgang angewandt werden, da bereits eine bildbasierte Qualitätskontrolle existiert. Die Forschung von Alenizi et al. (2023) betont die Bedeutung und das Potential von künstlicher Intelligenz in der optischen Qualitätskontrolle. Zusätzlich könnte in der Lagerverwaltung von Unternehmen 2 künstliche Intelligenz zur Optimierung in Kombination mit der Einlagerstrategie eingesetzt werden. KI könnte dabei helfen, den optimalen Lagerplatz durch die Analyse des besten Bestellzeitpunkts, der idealen Menge und weiteren relevanten Lagerparameter zu bestimmen.

Für Unternehmen wurde empfohlen, künstliche Intelligenz mit prädiktiven Analysen zu kombinieren, um das zukünftige Versandvolumen vorherzusagen und so eine dynamische Anpassung an wechselnde Bedingungen zu ermöglichen. Dieser Ansatz, welcher auch von Sodero et al. (2019) unterstützt wird, illustriert das Potential von künstlicher Intelligenz in Verbindung mit prädiktiven Analysen. Darüber hinaus kann KI in Kombination mit Big-Data-Anwendungen genutzt werden, um umfangreiche Datenmengen aufzubereiten, mit denen KI-Anwendungen arbeiten und die Intralogistikprozesse weiter optimiert werden. Ein Beispiel hierfür ist Unternehmen 2, das eine nachhaltige Tourenplanung für den Versand implementieren könnte. Bei Unternehmen 1 könnte ebenfalls eine Kombination von künstlicher Intelligenz mit prädiktiven Analysen eingesetzt werden, speziell für ein vorausschauendes Bestandsmanagement, um den zukünftigen Bedarf an Waren effektiv vorherzusagen.

Die Optimierung der Intralogistikprozesse bei den untersuchten Unternehmen beschränkt sich nicht nur auf den Einsatz von künstlicher Intelligenz. Weitere Technologien und Prozessverbesserungen wurden identifiziert, um den digitalen Reifegrad der Unternehmen zu erhöhen. Beispielsweise könnte bei Unternehmen 2 die Einführung eines Monitors am Wareneingang zur Visualisierung der Anlieferungen die Übersichtlichkeit und Transparenz des Prozesses verbessern, was eine effizientere Vorbereitung des Einlagerungsprozesses ermöglicht. Zusätzlich kann durch RFID-Technologie die Lokalisierung von Transportwagen optimiert, was nicht nur ein digitales Abbild ermöglicht, sondern auch automatische Übergabebuchungen, ein Anwendungsfall, den Gudehus (2011) beschreibt. Ein weiteres Handlungsfeld umfasst den Einsatz von Automated Guided Vehicle (AGV) in Unternehmen 4, um eine kontinuierliche Versorgung der Produktion zu gewährleisten. Nach Zhen und Li (2022) unterstützt diese Technologie insbesondere die Mitarbeiter im Lagerbereich. Darüber hinaus kann in Unternehmen 4 der Einsatz von mobilen Geräten den Kommissionierprozess vereinfachen, wodurch Fehler reduziert und Routen sowie Zeitaufwände optimiert werden.

Die Prozessanalyse hat gezeigt, dass Unternehmen 1, Unternehmen 3 und Unternehmen 5 derzeit auf der niedrigsten Stufe des Industrie 4.0 Reifegradmodells, der *Computerisierung* (Reifegrad 1), stehen. Durch gezielte Implementierung der empfohlenen Maßnahmen könnten diese Unternehmen die Reifegrad Stufe 3 *Sichtbarkeit* erreichen. Unternehmen 4 wurde hingegen in der Stufe *Konnektivität* (Reifegrad 2) eingeordnet und hat das Potential, durch Optimierungen den Reifegrad der *Transparenz* (Reifegrad 4) zu erreichen. Nach den erfolgreichen Umsetzungen der vorgeschlagenen Optimierungen würden diese vier Unternehmen bedeutende Fortschritte im Rahmen des Industrie 4.0 Reifegradmodells verzeichnen und dadurch auch als Industrie 4.0 Unternehmen eingeordnet werden. Unternehmen 2 befindet sich bereits auf dem Reifegrad 3, *Sichtbarkeit*, und gilt somit schon als Industrie 4.0 Unternehmen. Es besteht jedoch die Möglichkeit, durch die vorgeschlagenen Handlungsfelder den Reifegrad der *Prognosefähigkeit* (Reifegrad 5) zu erreichen und damit unter den untersuchten Unternehmen die führende Position einzunehmen.

Jedoch sollte der Faktor ‚Mensch‘ bei der Implementierung von neuen Technologien und der Prozessoptimierung immer miteinbezogen werden, um als Unternehmen erfolgreich zu sein. Zudem sollten die Mitarbeiter motiviert und qualifiziert sein, was vor allem durch ausreichende Schulungsmaßnahmen gewährleistet werden muss, was Richey et al. (2023) sowie Maghazei et

al. (2022) ebenfalls hervorheben. Loske (2022) und Lombaert et al. (2022) kommen zum Schluss, dass sich durch neue Technologien, wie dem Einsatz von künstlicher Intelligenz, die Arbeitsbedingungen der Mitarbeiter verändern werden, wobei durchaus positive Aspekte, wie eine bessere Ergonomie oder weniger Belastung am Arbeitsplatz hervorgehoben werden sollten.

Der empirische Teil dieser Masterarbeit zeigte auf, dass künstliche Intelligenz in mittelständischen Produktionsunternehmen durchaus zur Optimierung der Prozesse in der Intralogistik beitragen kann und dadurch ein höherer Reifegrad erreicht werden kann. Allerdings fehlt bei den untersuchten Unternehmen die notwendige Datengrundlage, welche für die effektive Nutzung von KI-Anwendungen benötigt wird. Zudem wird häufig manuell in den Prozessen gearbeitet, was insbesondere bei Unternehmen 5 und Unternehmen 3 zu Entkoppelungen vom System führt. Folglich werden derzeit in keinem der fünf untersuchten Unternehmen KI-Anwendungen im Bereich der Intralogistik eingesetzt. Diese Beobachtungen decken sich auch mit den Ergebnissen von Battistoni et al. (2023) sowie Cichosz et al. (2020), welche aufzeigen, dass vor allem kleine und mittelständische Produktionsunternehmen Schwierigkeiten haben, die notwendigen Ressourcen für den Einsatz von künstlicher Intelligenz in der Industrie 4.0 bereitzustellen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind auf mittelständische Produktionsunternehmen in den untersuchten Branchen limitiert. Es wurde versucht, unterschiedliche Branchen und Unternehmensgrößen mit verschiedenen digitalen Reifegraden in die Forschung aufzunehmen, um eine Diversifikation der Ergebnisse zu erreichen. Zukünftige Forschung in diesem Bereich sollte sich auf andere Branchen und andere Unternehmensgrößen beziehen. Durch die Untersuchung von weiteren Unternehmensgrößen und Branchen können weitere Erkenntnisse und Optimierungspotentiale in der Intralogistik aufgezeigt werden. Ein weiterer wichtiger Aspekt, der in Zukunft stärkere Beachtung finden sollte, ist die Einhaltung von Datenschutz und Datensicherheit, deren Bedeutung durch den Einsatz von KI-Anwendungen zunimmt. Wie Richey et al. (2023) hervorheben, gewinnen auch Sicherheitsbedenken wie Cyberangriffe, Sicherheitsrisiken und Phishing an Bedeutung. Alenizi et al. (2023) unterstreichen ebenfalls diese Herausforderungen. Es ist entscheidend, diese Themen in künftigen Forschungen zu adressieren, um effektive Strategien zur Bewältigung dieser Risiken zu entwickeln.

## 7. Literaturverzeichnis

- Alenizi, F. A., Abbasi, S., Hussein Mohammed, A. & Masoud Rahmani, A. (2023). The artificial intelligence technologies in Industry 4.0: A taxonomy, approaches, and future directions. *Computers & Industrial Engineering*, 185, 109662.  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109662>
- Arnold, D., Günther, P., Wesselowski, R., Müller, P. P., Miebach, J., Balbach, U., Blauermel, G., Konz, H., Hübner, D., Grepp, G., Spathelf, C., Wisser, J., Lippolt Christian, Alicke, K., Hahn-Woernle, C., Dullinger, K.-H., Beumer, C., Prieschenk, H., Welsch, V., . . . Hompel, M. ten (Hrsg.). (2007). *VDI-Buch. Intralogistik: Potentiale, Perspektiven, Prognosen*. Springer.
- Azadeh, K., Koster, R. de & Roy, D. (2019). Robotized and Automated Warehouse Systems: Review and Recent Developments. *Transportation Science*, 53(4), 917–945.  
<https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0873>
- Battistoni, E., Gitto, S., Murgia, G. & Campisi, D. (2023). Adoption paths of digital transformation in manufacturing SME. *International Journal of Production Economics*, 255, 108675. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108675>
- Bichler, K., Krohn, R., Riedel, G. & Schöppach, F. (2010). *Beschaffungs- und Lagerwirtschaft: Praxisorientierte Darstellung der Grundlagen, Technologien und Verfahren* (9., aktualisierte und überarb. Aufl.). Gabler.
- Borgström, B. & Hertz, S. (2011). Supply Chain Strategies: Changes in Customer Order-Based Production. *Journal of Business Logistics*, 32(4), 361–373.  
<https://doi.org/10.1111/j.0000-0000.2011.01031.x>
- Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort. (2022). *KMU im Fokus 2021: Bericht über die Situation und Entwicklung kleiner und mittlerer Unternehmen der österreichischen Wirtschaft*.  
[https://www.parlament.gv.at/dokument/XXVII/III/672/imfname\\_1451336.pdf](https://www.parlament.gv.at/dokument/XXVII/III/672/imfname_1451336.pdf)
- Cichosz, M., Wallenburg, C. M. & Knemeyer, A. M. (2020). Digital transformation at logistics service providers: barriers, success factors and leading practices. *The International Journal of Logistics Management*, 31(2), 209–238.  
<https://doi.org/10.1108/IJLM-08-2019-0229>
- European Commission. (2023, 23. November). *SME definition Internal Market Industry Entrepreneurship and SMEs*. [https://single-market-economy.ec.europa.eu/smes/sme-definition\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/smes/sme-definition_en)



- Fawcett, S. E. & Waller, M. A. (2014). Supply Chain Game Changers—Mega, Nano, and Virtual Trends—And Forces That Impede Supply Chain Design (i.e., Building a Winning Team). *Journal of Business Logistics*, 35(3), 157–164.  
<https://doi.org/10.1111/jbl.12058>
- Fragapane, G., Koster, R. de, Sgarbossa, F. & Strandhagen, J. O. (2021). Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: Literature review and research agenda. *European Journal of Operational Research*, 294(2), 405–426.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.01.019>
- Ghobakhloo, M. & Ching, N. T. (2019). Adoption of digital technologies of smart manufacturing in SMEs. *Journal of Industrial Information Integration*, 16, 100107.  
<https://doi.org/10.1016/j.jii.2019.100107>
- Goldsby, T. J., Griffis, S. E. & Roath, A. S. (2006). Modeling Lean, Agile, and Leagile Supply Chain Strategies. *Journal of Business Logistics*, 27(1), 57–80.  
<https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2006.tb00241.x>
- Grosse, E. H., Glock, C. H., Jaber, M. Y. & Neumann, W. P. (2015). Incorporating human factors in order picking planning models: framework and research opportunities. *International Journal of Production Research*, 53(3), 695–717.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2014.919424>
- Gu, J., Goetschalckx, M. & McGinnis, L. F. (2010). Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.07.031>
- Gudehus, T. (2011). *Logistik: Grundlagen - Strategien - Anwendungen* (4., aktualisierte Aufl). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-89389-9>
- Günther, U. (25. Oktober 2021). Wie wichtig sind Bodenmarkierungen in der Industrie? *plavis GmbH*. <https://www.vistable.com/de/blog/tools/wie-wichtig-sind-bodenmarkierungen-in-der-industrie/>
- Guo, A., Raghu, S., Xie, X., Ismail, S., Luo, X., Simoneau, J., Gilliland, S., Baumann, H., Southern, C. & Starner, T. (2014). A comparison of order picking assisted by head-up display (HUD), cart-mounted display (CMD), light, and paper pick list. In *ISWC '14, Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers* (S. 71–78). Association for Computing Machinery.  
<https://doi.org/10.1145/2634317.2634321>

- Hasija, A. & Esper, T. L. (2022). In artificial intelligence (AI) we trust: A qualitative investigation of AI technology acceptance. *Journal of Business Logistics*, 43(3), 388–412. <https://doi.org/10.1111/jbl.12301>
- Hompel, M. & Schmidt, T. (2008). Warehouse Management: Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen (3., korrigierte Aufl.). *VDI-Buch*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74876-2>
- Keil, S. (2012). Flussorientierte Gestaltung von Produktionssystemen: Anwendung am Beispiel von Halbleiterfabriken. Springer Gabler.
- Kilimis, P., Zou, W., Lehmann, M. & Berger, U. (2019). A Survey on Digitalization for SMEs in Brandenburg, Germany. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2140–2145. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.522>
- Klumpp, M. (2018). Automation and artificial intelligence in business logistics systems: human reactions and collaboration requirements. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 21(3), 224–242. <https://doi.org/10.1080/13675567.2017.1384451>
- Klumpp, M. & Ruiner, C. (2022). Artificial intelligence, robotics, and logistics employment: The human factor in digital logistics. *Journal of Business Logistics*, 43(3), 297–301. <https://doi.org/10.1111/jbl.12314>
- Klumpp, M. & Zijm, H. (2019). Logistics Innovation and Social Sustainability: How to Prevent an Artificial Divide in Human–Computer Interaction. *Journal of Business Logistics*, 40(3), 265–278. <https://doi.org/10.1111/jbl.12198>
- Koster, R. de, Le-Duc, T. & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- Koster, R. de, Le-Duc, T. & Zaerpour, N. (2012). Determining the number of zones in a pick-and-sort order picking system. *International Journal of Production Research*, 50(3), 757–771. <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.543941>
- Koster, R. de, Roy, D., Lim, Y. F. & Kumar, S. (2021). Special Issue of Production and Operations Management Journal “Managing Autonomous and IoT-driven Intralogistics Operations”. *Production and Operations Management*, 30(1), 293–294. <https://doi.org/10.1111/poms.13372>
- Land, M. J., Thürer, M., Stevenson, M., Fredendall, L. D. & Scholten, K. (2021). Inventory diagnosis for flow improvement—A design science approach. *Journal of Operations Management*, 67(5), 560–587. <https://doi.org/10.1002/joom.1133>

- Lee, J., Davari, H., Singh, J. & Pandhare, V. (2018). Industrial Artificial Intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 18, 20–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.09.002>
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, Eduardo de Freitas Rocha & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- Liker, J. K. (2006). *Der Toyota-Weg: 14 Managementprinzipien des weltweit erfolgreichsten Automobilkonzerns*. FinanzBuch-Verlag. <https://books.google.at/books?id=w-SrGHj800cC>
- Lombaert, T. de, Braekers, K., Koster, R. de & Ramaekers, K. (2022). In pursuit of humanised order picking planning: methodological review, literature classification and input from practice. *International Journal of Production Research*, 61(10), 3300–3330. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2079437>
- Loske, D. (2022). Empirical evidence on human learning and work characteristics in the transition to automated order picking. *Journal of Business Logistics*, 43(3), 302–342. <https://doi.org/10.1111/jbl.12300>
- Maghazei, O., Lewis, M. A. & Netland, T. H. (2022). Emerging technologies and the use case: A multi-year study of drone adoption. *Journal of Operations Management*, 68(6-7), 560–591. <https://doi.org/10.1002/joom.1196>
- Mittal, R. & Garg, A. (2020). Text extraction using OCR: A Systematic Review. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA 2020): 15-17 July 2020* (S. 357–362). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIRCA48905.2020.9183326>
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D. & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 194–214. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>
- Muchna, C., Brandenburg, H., Fottner, J. & Gutermuth, J. (2018). *Grundlagen der Logistik: Begriffe, Strukturen und Prozesse*. Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-18593-0>
- Netland, T. H., Schloetzer, J. D. & Ferdows, K. (2015). Implementing corporate lean programs: The effect of management control practices. *Journal of Operations Management*, 36(1), 90–102. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2015.03.005>

- Olewe, S., Finke, M., Belke, J., Dyck, F. & Kürpick, C. (2023). Use Case Catalog and Assessment for AI Applications in Intralogistics of Manufacturing Companies. *Procedia CIRP*, 118, 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.06.014>
- Pawellek, G. (2014). Ganzheitliche Fabrikplanung: Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-Unterstützung (2. Aufl.). *VDI-Buch*. Springer Vieweg.
- Pessot, E., Zangiacomì, A., Marchiori, I. & Fornasiero, R. (2023). Empowering supply chains with Industry 4.0 technologies to face megatrends. *Journal of Business Logistics*, 44(4), 609–640. <https://doi.org/10.1111/jbl.12360>
- Richards, G. (2018). Warehouse management: A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse (Third edition). Kogan Page.
- Richey, R. G., Chowdhury, S., Davis-Sramek, B., Giannakis, M. & Dwivedi, Y. K. (2023). Artificial intelligence in logistics and supply chain management: A primer and roadmap for research. *Journal of Business Logistics*, 44(4), 532–549. <https://doi.org/10.1111/jbl.12364>
- Rijal, A., Bijvank, M. & Koster, R. de (2023). Dynamics between warehouse operations and vehicle routing. *Production and Operations Management*, 32(11), 3575–3593. <https://doi.org/10.1111/poms.14051>
- Ross, A. D., Twede, D., Clarke, R. H. & Ryan, M. (2009). A framework for developing implementation strategies for a Radio Frequency Identification (RFID) system in a distribution center environment. *Journal of Business Logistics*, 30(1), 157–183. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2009.tb00103.x>
- Scholz, M., Zhang, X., Kreitlein, S. & Franke, J. (2018). Decentralized Intelligence: The Key for an Energy Efficient and Sustainable Intralogistics. *Procedia Manufacturing*, 21, 679–685. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.171>
- Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krüger, A. & Hompel, M. ten (2020). Der Industrie 4.0 Maturity Index: Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten - Update 2020. [https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/acatech-i40-maturity-index.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/acatech-i40-maturity-index.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- Shapiro, J. F. & Wagner, S. N. (2009). Strategic Inventory Optimization. *Journal of Business Logistics*, 30(2), 161–173. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2009.tb00117.x>
- Sheu, J.-B. & Choi, T.-M. (2023). Can we work more safely and healthily with robot partners? A human-friendly robot–human-coordinated order fulfillment scheme. *Production and Operations Management*, 32(3), 794–812. <https://doi.org/10.1111/poms.13899>

- Sodero, A., Jin, Y. H. & Barratt, M. (2019). The social process of Big Data and predictive analytics use for logistics and supply chain management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 49(7), 706–726.  
<https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2018-0041>
- SSI SCHAEFER: Automated Guided Vehicles. (2024, 20. Februar). <https://www.ssi-schaefer.com/en-de/products/conveying-transport/automated-guided-vehicles>
- Turkulainen, V., Roh, J., Whipple, J. M. & Swink, M. (2017). Managing Internal Supply Chain Integration: Integration Mechanisms and Requirements. *Journal of Business Logistics*, 38(4), 290–309. <https://doi.org/10.1111/jbl.12165>
- Viastore: Automatisches Kleinteilelager. (2024, 20. Februar).  
<https://www.viastore.com/systems/de/lager-und-materialflussloesungen/automatisches-kleinteilelager-akl>
- Wannenwetsch, H. (2010). Integrierte Materialwirtschaft und Logistik: Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion (4., aktualisierte Auflage). Springer Berlin Heidelberg.
- Wemmerlöv, U. (2021). The retrospective determination of process improvement's economic value at the individual manufacturing firm level: Literature review and proposed measurement framework. *Journal of Operations Management*, 67(2), 182–211.  
<https://doi.org/10.1002/joom.1112>
- Winkelhaus, S. & Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, 58(1), 18–43.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1612964>
- Winkelhaus, S., Grosse, E. H. & Glock, C. H. (2022). Job satisfaction: An explorative study on work characteristics changes of employees in Intralogistics 4.0. *Journal of Business Logistics*, 43(3), 343–367. <https://doi.org/10.1111/jbl.12296>
- Woschank, M., Rauch, E. & Zsifkovits, H. (2020). A Review of Further Directions for Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning in Smart Logistics. *Sustainability*, 12(9), 3760. <https://doi.org/10.3390/su12093760>
- Yao, Y. & Zhu, K. X. (2012). Do Electronic Linkages Reduce the Bullwhip Effect? An Empirical Analysis of the U.S. Manufacturing Supply Chains. *Information Systems Research*, 23(3-part-2), 1042–1055. <https://doi.org/10.1287/isre.1110.0394>
- Zhen, L. & Li, H. (2022). A literature review of smart warehouse operations management. *Frontiers of Engineering Management*, 9(1), 31–55. <https://doi.org/10.1007/s42524-021-0178-9>

## 8. Anhang 1: Infoblatt für Prozessanalyse vor Ort

### Thema der Masterarbeit:

## Optimierung der Intralogistik durch künstliche Intelligenz in mittelständischen Produktionsunternehmen

### Interviewer:

Julian Haupt, BA  
[julianha@edu.aau.at](mailto:julianha@edu.aau.at)

### Betreuerin:

Univ-. Prof. Mag. Dr. Margaretha Gansterer  
Alpen-Adria-Universität Klagenfurt  
Institut für Produktions-, Energie- und Umweltmanagement

### Unternehmensvertreter:

*Name*  
*Unternehmen*  
*Funktion*

- Die Dauer der Analyse beträgt circa zwei Stunden. Die Präsentation der Ergebnisse und Handlungsfelder dauert circa eine Stunde.
- Die Erhebung erfolgt durch ein semi-strukturiertes Interview, in Kombination mit einer Prozessanalyse vor Ort.
- Die Antworten auf die Fragen, sowie etwaige Beobachtungen, wurden im Anhang 2 verschriftlicht.
- Die Prozessanalyse der Unternehmen wird anonymisiert.

## 9. Anhang 2: Interviewleitfaden

Unternehmen 1 – Produktionsunternehmen im Bereich Lebensmittel

### Optimierung der Intralogistik durch künstliche Intelligenz in mittelständischen Produktionsunternehmen

Forschungsfrage: Inwieweit kann der Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Optimierung der Intralogistik in mittelständischen Produktionsunternehmen beitragen?

<b>Einstieg</b>	
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Begrüßung und Danksagung für die Zeit</li><li>• Präsentation des Themas</li><li>• Kurze Beschreibung über den Ablauf der Prozessanalyse</li></ul>
Nr.	Sondierungsfragen
1	Welche Funktion üben Sie derzeit im Unternehmen aus?
2	Wie lange sind Sie bereits im Unternehmen bzw. in Ihrer derzeitigen Position beschäftigt?
3	Was gehört zu ihren täglichen Arbeitsaufgaben
<p>Kommentare: Die Person ist Betriebsleiter und seit 30 Jahre im Betrieb. Sie ist für die Leitung des Betriebs am Standort zuständig. Im Zuge der Analyse vor Ort wurde zusätzlich mit dem Produktionsleiter, dem Leiter des Expedits und dem Leiter der Warenannahme gesprochen.</p>	

## Themenblock Wareneingang

- Wareneingangsprozess
- Informationssysteme
- Datenverarbeitung

Nr.	Sondierungsfragen		
4	Bekommt das Unternehmen Informationen von Lieferanten, wann welches Material eintreffen wird?		
5	Wie sieht der Wareneingangs-Prozess aus?		
6	Gibt es eine Qualitätskontrolle am Wareneingang?		
7	Gibt es eine Materialverfolgbarkeit durch den Intralogistikprozess? Im ERP-System mittels Auftragszuordnung?		
8	Gibt es ein ERP-System oder mehrere Softwaresysteme in der Logistik?		
9	Wie ist ersichtlich, dass der Wareneingangs-Prozess abgeschlossen ist?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
6	Ja	6.1	Wie wird die Qualitätskontrolle durchgeführt?
6	Nein	6.2	Wird die Qualitätskontrolle in einem anderen Prozessschritt durchgeführt?

### Kommentare:

Bei der Warenannahme erhalten die Mitarbeitenden eine Bestellung per Mail mit dem jeweiligen Liefertermin. An diesem Liefertermin wird im Laufe des Vormittags bis 14 Uhr die Ware angeliefert, wobei die Mitarbeitenden per Telefon mit dem Lieferanten in Kontakt stehen.

Wenn die Ware am Standort eintrifft, wird eine Qualitätskontrolle durchgeführt. Diese Qualitätskontrolle umfasst die Messung der Temperatur der Ware, sowie die Kontrolle des gelieferten Gewichts.

Danach wird ein Chargencode gedruckt, damit eine Nachverfolgung im Prozess gewährleistet ist. In Bezug auf die Nachverfolgbarkeit wird das Etikett aber nicht auf die jeweilige Kiste geklebt, sondern der gesamten Lieferung nur beigelegt.

Anschließend wird der Lieferschein inklusive des Bestellscheines in ERP-System gebucht. Sollten Abweichungen bei der Lieferung vorhanden sein, muss manuell nachbestellt werden. Größere Mengen werden vom Zentraleinkauf eingekauft, kleinere Mengen können die verantwortlichen Personen selbst nachbestellen.

Nachdem die Warenübernahme abgeschlossen ist, wird ein Fertigungsauftrag erstellt.

Die Ware im jeweiligen Gebinde erhält anschließend einen Laufzettel, welcher bis zur Produktion beibehalten wird. Ein Laufzettel gilt oftmals für die gesamte Palette, obwohl mehrere Kisten auf dieser Palette gestapelt werden.

Die übernommenen Lebensmittel werden an den jeweiligen Lagerort gebracht.



## Themenblock Lager

- Ein- und Auslagerprozess
- Interner Transport
- Informationssysteme
- Datenverarbeitung

Nr.	Sondierungsfragen		
10	Wann wissen die Mitarbeiter im Lager, dass Material eingelagert werden muss?		
11	Wie sieht der Einlagerungsprozess aus?		
12	Wird die Auslastung des Lagers gemessen?		
13	Werden Informationen (Lagerdauer, Lagerstandort, Lagermenge) zu den eingelagerten Gütern gesammelt? Möglicherweise in einem ERP-System?		
14	Wie wird mit der Produktion kommuniziert welche Materialien zu welchem Zeitpunkt benötigt werden?		
15	Werden Abweichungen in der Produktion mit der Logistik geteilt? Beispielweise Änderung der Produktionsplanung und dadurch Änderung der benötigten Ware. Wie wird kommuniziert?		
16	Wie werden die Waren vom Lager in die Produktion transportiert?		
17	Sind die Transporteinheiten mit Sensoren oder ähnlicher Lokalisierungstechnologie ausgestattet?		
18	Wie werden die Waren nach der Produktion gelagert?		
19	Wann ist der Lagerprozess abgeschlossen?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
12	Ja	12.1	Wie wird diese gemessen?
12	Nein	12.2	Wann weiß man, dass das Lager voll ist und kein Material mehr bestellt werden darf?
17	Nein	17.1	Wird das in Zukunft noch angedacht?

### Kommentare:

Grundsätzlich hat man im gesamten Lagerbereich über die verschiedenen Lagerstandorte keine Daten über die Lagerkapazität. Die jeweilige Lagerkapazität wird anhand der Erfahrung von Mitarbeitenden erfasst.

Die Produktionsplanung gibt vor, welche Waren zu welchem Zeitpunkt benötigt werden. Die Produktionsplanung erfolgt wöchentlich in Zusammenarbeit mit dem Expedit. Diese Planung wird in einer Microsoft Excel Datei erledigt und anschließend bekommt jede Abteilung einen Zettel mit den benötigten Informationen ausgedruckt.

Im Tiefkühlager sind die Lagerplätze fix zugewiesen. Es gibt also einen Hauptlagerplatz pro Lebensmittel, welcher aber nicht im System ersichtlich ist. Es ist derzeit kein Scanner oder Barcodes vorhanden, mit dem die Ware identifiziert werden kann. Die Identifikation erfolgt mittels Zettel.

Im ERP-System ist nur ein Hauptlager hinterlegt, obwohl es mehrere Lager am Standort gibt. Dabei wissen die Mitarbeitenden aus Erfahrung, in welchem Lager die jeweilige Ware gelagert ist.

Für gewisse Lebensmittel gibt es ein automatisiertes Lagersystem, welches mittels Barcodes auf den Kisten erkennt, welches Material in der jeweiligen Box ist. Das Lagersystem arbeitet nach dem First-In-First-Out (FIFO) Prinzip. Das Gewicht des Produkts wird beim Kommissionieren gemessen und zusätzlich bevor die Ware wieder in

das Lagersystem geht, damit immer das aktuelle Gewicht der jeweiligen Kiste im System hinterlegt ist.

Grundsätzlich läuft ein Produkt im Sinne des Mindesthaltbarkeitsdatums sehr selten ab. Im automatisierten Lagersystem wird immer mit dem Mindesthaltbarkeitsdatum (MHD) und dem Chargencode gearbeitet. In den anderen Lagerorten muss einmal pro Monat eine Inventur auf MHD durchgeführt werden. Sollte ein Produkt nahe dem Ablaufdatum sein, kommt es auf eine Liste und es wird in Zusammenarbeit mit dem Vertrieb versucht, dieses Produkt schneller zu verkaufen.

Als Beispiel für einen guten Lieferanten wurde genannt, dass dieser die Kisten bereits voretikettiert, damit es direkt in das automatisierte Lagersystem gebracht werden kann.

Als grundlegendes Transportmittel in der Intralogistik werden Hubwagen und Plattformen benutzt, mit denen das jeweilige Gebinde gestapelt transportiert werden kann.

## Themenblock Warenausgang und Versand

- Warenausgang und Versand
- Transport
- Informationssysteme
- Datenverarbeitung

Nr.	Sondierungsfragen		
18	Von wem bekommt der Warenausgang die Informationen, dass Produkte versendet werden müssen?		
19	Wie verläuft der Versandprozess?		
20	Werden Anhand der gesammelten Daten Abweichungsanalysen im Intralogistikbereich erstellt? Lange Transportzeiten, hohe Lagerauslastung oder ähnliche Kennzahlen.		
21	Gibt es eine Schnittstelle zum Kunden, damit Daten ausgetauscht werden können?		
22	Wann ist der Versand-Prozess abgeschlossen?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
21	Nein	21.1	Wie werden Daten mit den Kunden ausgetauscht?

Kommentare:

Die Produktion endet, wenn der Fertigungsauftrag gebucht wurde.

Was am Warenausgang benötigt wird, wird in Zusammenarbeit mit der Produktionsleitung und der Leitung im Expedit abgestimmt.

Im Expedit erfolgt die Kommissionierung der Aufträge für den Kunden. Diese Kommissionierung erfolgt händisch ohne Scanner.

Es gibt drei Lagerorte, wobei immer ein Zettel für die zu kommissionierende Ware gedruckt wird, auf dem kein Lagerort vorhanden ist. Die Mitarbeitenden wissen aus Erfahrung, in welchem Lager welches Produkt gelagert wird. Grundsätzlich sollte das ERP-System die Waren laut Lager trennen, tut es aber derzeit nicht.

Im Expedit gibt es zwei Schleusen. Zum einen die Schleuse für die firmeninternen Transporteure, welche die Waren zum jeweiligen Kunden bringen. In der zweiten Schleuse werden Waren vorbereitet, welche von einem externen Spediteur abgeholt werden. Die Touren, welche vom internen Transporteur abgefahren werden, sind mit Zahlen und Farben in der jeweiligen Rampe markiert.

## Themenblock künstliche Intelligenz

- Begriff künstliche Intelligenz
- Datenverarbeitung und Datenspeicher
- Einsatz von künstlicher Intelligenz

Nr.	Sondierungsfragen		
23	Wird bei Ihnen künstliche Intelligenz im Intralogistikbereich eingesetzt?		
24	Haben Sie bereits Vorschläge, wie Sie künstliche Intelligenz in Ihrem Unternehmen / in Ihrem Bereich einsetzen können?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
23	Ja	23.1	In welcher Form wird künstliche Intelligenz im Intralogistikbereich eingesetzt?
23	Ja	23.2	Gab es Herausforderungen bei der Implementierung von künstlicher Intelligenz in diesem Bereich?
23	Nein	23.3	Gibt es einen Grund, dass künstliche Intelligenz derzeit noch nicht eingesetzt wird?

Kommentare:

Derzeit wird im gesamten Betrieb noch keine künstliche Intelligenz eingesetzt.

Ein möglicher Anwendungsbereich für künstliche Intelligenz wäre für die Produktionsplanung, womit auch die Planung der gesamten Intralogistik zusammenhängt. Durch die künstliche Intelligenz sollten zukünftige Prognosen erstellt werden, welche Anhand von Daten die Nachfrage für gewisse Lebensmittel vorhersagen soll. Derzeit sind auch viele Verkaufsdaten und Erfahrungswerte vorhanden. Diese werden aber noch nicht genutzt.

## Themenblock Organisation/Kultur

- Organisation und Kultur im Unternehmen
- Industrie 4.0
- Integration von Systemen in die Organisation
- Veränderung

Nr.	Sondierungsfragen
25	Wie ist die Fehlerkultur in der Organisation? Gibt es einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess?
26	Wie ist Ihrer Meinung nach der aktuelle Entwicklungsstand der Industrie 4.0 Fähigkeiten in der Logistik am Standort?
27	Welche Ressourcen stehen für die Umsetzung von Industrie 4.0 Technologien, wie z.B. IT für physische Transporteinheiten, zur Verfügung?
28	Wie sind die Informationssysteme in der Organisation integriert? Gibt es eine autonome Nachfrage und Echtzeitüberwachung in der Logistik?
29	Wie ist die Organisationsstruktur in der Logistik? Gibt es dezentralisierte Entscheidungsprozesse oder werden Entscheidungen von einer zentralen Person geleitet?
30	Werden Entscheidungen überwiegend aufgrund von Erfahrungen getroffen oder werden diese Anhand von Daten getroffen?

### Kommentare:

Man erkennt im Unternehmen, welche Prozesse derzeit Optimierungspotential haben. Man möchte diese Prozesse im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung auch optimieren.

Derzeit sammelt man noch wenig Daten, gerade im Bereich der Lagerverwaltung, was man in Zukunft aber ändern möchte.

Derzeit ist man gerade noch mit der Implementierung des neuen ERP-Systems beschäftigt. Aber in Zukunft hat man bereits weitere Ressourcen eingeplant, um der Prozess zu optimieren und mehr in den Bereich Industrie 4.0 zu gehen.

## Anhang 2: Interviewleitfaden

### Unternehmen 2 – Produktionsunternehmen im Bereich Balkon und Zaun

# Optimierung der Intralogistik durch künstliche Intelligenz in mittelständischen Produktionsunternehmen

Forschungsfrage: Inwieweit kann der Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Optimierung der Intralogistik in mittelständischen Produktionsunternehmen beitragen?

<b>Einstieg</b>	
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Begrüßung und Danksagung für die Zeit</li><li>• Präsentation des Themas</li><li>• Kurze Beschreibung über den Ablauf der Prozessanalyse</li></ul>
Nr.	Sondierungsfragen
1	Welche Funktion üben Sie derzeit im Unternehmen aus?
2	Wie lange sind Sie bereits im Unternehmen bzw. in Ihrer derzeitigen Position beschäftigt?
3	Was gehört zu ihren täglichen Arbeitsaufgaben
<p>Kommentare: Die erste Person ist Bereichsleiter für die Logistik und Produktion am Standort. Sie ist seit einem Jahr im Unternehmen und seit circa zehn Jahren in der Branche. Die zweite Person ist Prozessmanager und verantwortlich für IT-Systeme am Standort. Sie ist seit fünf Jahren im Betrieb.</p>	

## Themenblock Wareneingang

- Wareneingangsprozess
- Informationssysteme
- Datenverarbeitung

Nr.	Sondierungsfragen		
4	Bekommt das Unternehmen Informationen von Lieferanten, wann welches Material eintreffen wird?		
5	Wie sieht der Wareneingangs-Prozess aus?		
6	Gibt es eine Qualitätskontrolle am Wareneingang?		
7	Gibt es eine Materialverfolgbarkeit durch den Intralogistikprozess? Im ERP-System mittels Auftragszuordnung?		
8	Gibt es ein ERP-System oder mehrere Softwaresysteme in der Logistik?		
9	Wie ist ersichtlich, dass der Wareneingangs-Prozess abgeschlossen ist?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
6	Ja	6.1	Wie wird die Qualitätskontrolle durchgeführt?
6	Nein	6.2	Wird die Qualitätskontrolle in einem anderen Prozessschritt durchgeführt?

### Kommentare:

Grundsätzlich geht man bei der Materialbedarfsplanung von der Losgröße eins aus, da jedes Produkt individuell für den Kunden angefertigt wird.

Grundsätzlich bekommt das Unternehmen keine Informationen, wann das Material genau eintreffen wird. Das Unternehmen hat einen hohen Lagerbestand, wodurch es irrelevant ist, ob Materialien an einem anderen Tag als geplant eintreffen.

Bei der Warenannahme wird der Lieferschein kontrolliert und anschließend an den Einkauf per Mail gesendet. Der Buchungsprozess geschieht direkt am Wareneingang. Der Prozess ist abgeschlossen, sobald die Ware im System verbucht wurde und auf Lager liegt.

Im Wareneingang sind drei Personen beschäftigt.

Beim Wareneingang wird eine optische Qualitätskontrolle durchgeführt, bei der die Anlieferung auf äußerliche Beschädigungen überprüft wird. Eine intensivere Qualitätskontrolle wird anschließend in der Produktion durchgeführt. Zudem wird auch nach der Produktion eine Qualitäts- und Vollständigkeitskontrolle durchgeführt, ob das Produkt vollständig und in der richtigen Qualität an den Kunden geliefert werden kann.

Das Material wird bei der Warenannahme in das System eingetragen und bekommt anschließend einen Sticker, auf welchem Lagerplatz das Material zu welcher Menge gelagert sind.

<b>Themenblock Lager</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein- und Auslagerprozess</li> <li>• Interner Transport</li> <li>• Informationssysteme</li> <li>• Datenverarbeitung</li> </ul>			
Nr.	Sondierungsfragen		
10	Wann wissen die Mitarbeiter im Lager, dass Material eingelagert werden muss?		
11	Wie sieht der Einlagerungsprozess aus?		
12	Wird die Auslastung des Lagers gemessen?		
13	Werden Informationen (Lagerdauer, Lagerstandort, Lagermenge) zu den eingelagerten Gütern gesammelt? Möglicherweise in einem ERP-System?		
14	Wie wird mit der Produktion kommuniziert welche Materialien zu welchem Zeitpunkt benötigt werden?		
15	Werden Abweichungen in der Produktion mit der Logistik geteilt? Beispielweise Änderung der Produktionsplanung und dadurch Änderung der benötigten Ware. Wie wird kommuniziert?		
16	Wie werden die Waren vom Lager in die Produktion transportiert?		
17	Sind die Transporteinheiten mit Sensoren oder ähnlicher Lokalisierungstechnologie ausgestattet?		
18	Wie werden die Waren nach der Produktion gelagert?		
19	Wann ist der Lagerprozess abgeschlossen?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
12	Ja	12.1	Wie wird diese gemessen?
12	Nein	12.2	Wann weiß man, dass das Lager voll ist und kein Material mehr bestellt werden darf?
17	Nein	17.1	Wird das in Zukunft noch angedacht?
<p><b>Kommentare:</b></p> <p>Die Mitarbeiter im Wareneingang sind die gleichen, wie im Lager. Wenn die Ware beim Wareneingang entgegengenommen wird, wird es anschließend eingelagert und verbucht.</p> <p>Das Material wird mittels Stapler auf Hochregallager gelagert. Die Hochregallager sind nummeriert und zusätzlich ist der jeweilige Lagerplatz nummeriert und gut ersichtlich.</p> <p>Es wird sehr viel Material auf Lager gelegt. Es gibt wenig Lieferanten, bei denen man aber auf Qualität vertraut. Das Unternehmen kommt circa vier bis sechs Monate mit dem derzeitigen Lagerstand aus. Grund dafür ist, dass der Preis für die Rohstoffe sehr variieren kann und man als Unternehmen lieber auf Lager legt, anstelle von Material zu höheren Preisen öfters einzukaufen.</p> <p>Grundsätzlich ist egal, wie lange das Material auf Lager liegt, da die Qualität des Materials mit der Zeit nicht abnimmt.</p> <p>Die Produktion kommuniziert bei dringendem Materialbedarf mit dem Lager und dem Wareneingang per Mail oder per Telefon. Ansonsten wird der Materialbedarf durchgehend über das ERP-System kommuniziert. Bedeutet, dass Lager weiß jede Woche, welches Material für die Produktion benötigt wird.</p>			

Kleinere Materialien werden auch direkt in der Produktion gelagert. Es gibt mehrere Kleinteilelager. Diese sind entweder im Lager an sich oder in der Produktion stationiert. Diese Kleinteilelager haben eine eigene Software, haben aber eine Schnittstelle zum ERP-System.

Wenn die Ware für die Produktion kommissioniert werden muss, wird die Ware auf Kommissionier-Wägen vorbereitet. Diese Wägen sind nummeriert, sodass die Mitarbeitenden in der Produktion und dem Lager wissen, welcher Wagen wo hingebacht werden muss. Diese Kommissionier-Wägen werden von Menschen bedient und sind nicht mit Sensoren ausgestattet.

Dadurch, dass gewisse Veredelungsprozesse von Rohmaterial am Standort durchgeführt werden, kann eine sehr robuste Produktion gewährleistet werden. Zudem ist immer sehr viel Material auf Lager.

Das Lagersystem hat Lagerplätze hinterlegt, damit ersichtlich ist, welches Material auf welchem Lagerplatz liegt. Aber es ist keine Lagerkapazität im System hinterlegt, beziehungsweise wird diese auch nicht erfasst. Trotzdem sammelt das Unternehmen Daten, über die Lagerdauer, den Lagerstandort und die Lagermenge im ERP-System.

Der Einlagerungsprozess ist abgeschlossen, wenn die Ware im System auf Lager liegt. Der Auslagerungsprozess für die Produktion ist abgeschlossen, wenn die Ware fertig kommissioniert wurde und die Produktion mit der Fertigung beginnt.

Hinter den Fertigungsaufträgen sind Stücklisten hinterlegt, damit im System ersichtlich ist, wann welches Material nachbestellt werden muss, beziehungsweise im Lager nicht mehr vorhanden sein wird.



## Themenblock Warenausgang und Versand

- Warenausgang und Versand
- Transport
- Informationssysteme
- Datenverarbeitung

Nr.	Sondierungsfragen		
18	Von wem bekommt der Warenausgang die Informationen, dass Produkte versendet werden müssen?		
19	Wie verläuft der Versandprozess?		
20	Werden Anhand der gesammelten Daten Abweichungsanalysen im Intralogistikbereich erstellt? Lange Transportzeiten, hohe Lagerauslastung oder ähnliche Kennzahlen.		
21	Gibt es eine Schnittstelle zum Kunden, damit Daten ausgetauscht werden können?		
22	Wann ist der Versand-Prozess abgeschlossen?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
21	Nein	21.1	Wie werden Daten mit den Kunden ausgetauscht?

### Kommentare:

Nach der Produktion werden die fertigen Produkte auch auf Transportwägen zwischengelagert, welche nummeriert sind und Barcodes enthalten.

Die Mitarbeiter am Warenausgang sehen im System, welches Material diese Woche verladen werden muss. Es gibt firmeninterne Transportlogistiker, welche die Routen und die jeweilige Beladung der LKWs planen.

Die Produktion richtet sich nach den Kapazitäten der Zwischenlager an den verschiedenen Standorten. Es gibt Touren, bei denen die Lieferung vom Werk an die jeweiligen Lager oder Endkunden transportiert wird. Diese Touren sollten möglichst voll werden, damit der LKW vollbeladen zum Lager fährt. Der Vertrieb ist zuständig, dass die LKW-Touren voll werden. An diesen Touren orientiert sich dann die Produktionsplanung und damit auch die Intralogistik.

Auch die internen Transportwägen von der Produktion haben Barcodes und das gefertigte Material bekommt nach der Fertigung ein Etikett mit einem Barcode. Diese beiden Barcodes werden im System verbunden, damit sichergestellt ist, welches Material auf welchem Wagen ist. Diese Barcodes werden als Prüfung vor dem Transport an den Kunden gescannt, damit keine Ware vergessen wird. Dieser Prozess der Prüfung wird zudem nochmals beim Kunden vor Ort durchgeführt, damit sichergestellt werden kann, dass der Kunden vollständig das richtige Material erhalten hat.

Der Transport an den Kunden erfolgt Großteils mittels eigenen LKWs. Es gibt viele Zwischenlager in Deutschland und Österreich, wo die Ware, vor der Endmontage beim Kunden, zwischengelagert werden kann. Diese Zwischenlager sind aber nur teilweise in Besitz des Unternehmens.

Es gibt überall Schnittstellen zum System, damit der Standort weiß, was in welchem Lager liegt und wann welcher Kunde bedient wird. Daher weiß das Unternehmen, wann die Lieferung und Montage beim Endkunden abgeschlossen ist.

Es gibt zwischen der Produktion und dem Versand einen letzten Qualitätscheck. Dabei wird die produzierte Ware fotografiert, damit der Zustand der Ware dokumentiert ist.

Es werden Abweichungsanalysen mittels Power-BI erstellt und es werden auch viele verschiedene Kennzahlen im Unternehmen erfasst und beobachtet.

Der Auslagerungsprozess für den Versand ist abgeschlossen, wenn die Ware auf dem LKW verladen wurde. Der Versandprozess ist abgeschlossen, wenn das Material auf dem LKW

verladen wurde und entweder an den Endkunden oder an ein Zwischenlager bei Partnern versendet werden.

## Themenblock künstliche Intelligenz

- Begriff künstliche Intelligenz
- Datenverarbeitung und Datenspeicher
- Einsatz von künstlicher Intelligenz

Nr.	Sondierungsfragen		
23	Wird bei Ihnen künstliche Intelligenz im Intralogistikbereich eingesetzt?		
24	Haben Sie bereits Vorschläge, wie Sie künstliche Intelligenz in Ihrem Unternehmen / in Ihrem Bereich einsetzen können?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
23	Ja	23.1	In welcher Form wird künstliche Intelligenz im Intralogistikbereich eingesetzt?
23	Ja	23.2	Gab es Herausforderungen bei der Implementierung von künstlicher Intelligenz in diesem Bereich?
23	Nein	23.3	Gibt es einen Grund, dass künstliche Intelligenz derzeit noch nicht eingesetzt wird?

### Kommentare:

Derzeit wird eine Testsoftware verwendet, bei der die Planung der Montage beim Kunden vor Ort mittels künstlicher Intelligenz optimiert werden soll. Hierbei ist auch die interne Entwicklungsabteilung des Unternehmens stark involviert.

Diese Montageplanung beeinflusst indirekt die Intralogistik. In der operativen Intralogistik vor Ort wird derzeit aber noch keine künstliche Intelligenz eingesetzt.

Zudem werden derzeit bereits Chatbots auf der Homepage des Unternehmens eingesetzt.

Man arbeitet sehr intensiv mit einem Softwareunternehmen bestehend aus circa 30 Mitarbeitern zusammen, wodurch viele Schnittstellen im System und auch IT-Systeme an sich gut ausgearbeitet sind.

## Themenblock Organisation/Kultur

- Organisation und Kultur im Unternehmen
- Industrie 4.0
- Integration von Systemen in die Organisation
- Veränderung

Nr.	Sondierungsfragen
25	Wie ist die Fehlerkultur in der Organisation? Gibt es einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess?
26	Wie ist Ihrer Meinung nach der aktuelle Entwicklungsstand der Industrie 4.0 Fähigkeiten in der Logistik am Standort?
27	Welche Ressourcen stehen für die Umsetzung von Industrie 4.0 Technologien, wie z.B. IT für physische Transporteinheiten, zur Verfügung?
28	Wie sind die Informationssysteme in der Organisation integriert? Gibt es eine autonome Nachfrage und Echtzeitüberwachung in der Logistik?
29	Wie ist die Organisationsstruktur in der Logistik? Gibt es dezentralisierte Entscheidungsprozesse oder werden Entscheidungen von einer zentralen Person geleitet?
30	Werden Entscheidungen überwiegend aufgrund von Erfahrungen getroffen oder werden diese Anhand von Daten getroffen?

### Kommentare:

Es gibt ein tägliches Zusammentreffen der Teams, bei denen besprochen wird, was zu tun ist. Zudem können bei diesem Treffen alle Mitarbeitenden Informationen austauschen.

Laut dem Bereichsleiter sieht man sich noch nicht als Industrie 4.0 Unternehmen, aber auf einem guten Weg dahin.

Grundsätzlich ist das Unternehmen in Bezug auf Prozessen und Systemen sehr gut aufgestellt. Man will die derzeitigen Prozesse sehr gut Nutzen, bevor man vieles neues einführt, wobei man immer versucht, durch IT die Prozesse zu unterstützen.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die Ressourcen im Bereich der Technologie durchaus vorhanden sind, sein dies personelle oder monetäre Ressourcen.

Entscheidungen werden teilweise aufgrund von Erfahrungen und teilweise aufgrund von vorhandenen Daten gesammelt. Grundsätzlich werden viele verschiedenen Kennzahlen erhoben und analysiert, woraus Entscheidungen getroffen werden.

## Anhang 2: Interviewleitfaden

Unternehmen 3 – Produktionsunternehmen im Bereich der Halbleiterindustrie

### **Optimierung der Intralogistik durch künstliche Intelligenz in mittelständischen Produktionsunternehmen**

Forschungsfrage: Inwieweit kann der Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Optimierung der Intralogistik in mittelständischen Produktionsunternehmen beitragen?

<b>Einstieg</b>	
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Begrüßung und Danksagung für die Zeit</li><li>• Präsentation des Themas</li><li>• Kurze Beschreibung über den Ablauf der Prozessanalyse</li></ul>
Nr.	Sondierungsfragen
1	Welche Funktion üben Sie derzeit im Unternehmen aus?
2	Wie lange sind Sie bereits im Unternehmen bzw. in Ihrer derzeitigen Position beschäftigt?
3	Was gehört zu ihren täglichen Arbeitsaufgaben
<p>Kommentare: Die Person ist Lean Manager und ist zusätzlich die Stabsstelle zur Geschäftsleitung. Hat über 20 Jahre Erfahrung im Bereich Supply Chain Management und Logistik, ist aber erst seit ein paar Jahren im Unternehmen.</p>	

## Themenblock Wareneingang

- Wareneingangsprozess
- Informationssysteme
- Datenverarbeitung

Nr.	Sondierungsfragen		
4	Bekommt das Unternehmen Informationen von Lieferanten, wann welches Material eintreffen wird?		
5	Wie sieht der Wareneingangs-Prozess aus?		
6	Gibt es eine Qualitätskontrolle am Wareneingang?		
7	Gibt es eine Materialverfolgbarkeit durch den Intralogistikprozess? Im ERP-System mittels Auftragszuordnung?		
8	Gibt es ein ERP-System oder mehrere Softwaresysteme in der Logistik?		
9	Wie ist ersichtlich, dass der Wareneingangs-Prozess abgeschlossen ist?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
6	Ja	6.1	Wie wird die Qualitätskontrolle durchgeführt?
6	Nein	6.2	Wird die Qualitätskontrolle in einem anderen Prozessschritt durchgeführt?

### Kommentare:

Derzeit ist noch nicht bekannt, zu welchem Zeitpunkt welches Material angeliefert wird. Es gibt keine Regelmäßigen Anlieferungen am Wareneingang. Am Wareneingang wird auch Luft- und Seefracht angenommen.

Bestellungen werden von der Arbeitsvorbereitung und dem Vertrieb erstellt. Bestellt wird nicht in einem System, sondern per Mail und Excel direkt beim Lieferanten. Die Materialien sind eher kleine Größen und das Unternehmen hat auch eine geringe Anzahl an Produkttypen.

Am Wareneingang gibt es keine Etikettierung der Ware, sondern es bleibt das Lieferantenlabel am Material.

Die Wareneingangsbuchung erfolgt, aber es gibt in den vielen Zwischenschritten der Produktion und der Lagerungen keine Buchungen mehr, bis zum Warenausgang des Fertigprodukts. Das Produkt bleibt vom Wareneingang bis zum Versand an den Kunden als „Work in Progress“ im System verbucht.

Als Wareneingangsprüfung wird eine logistische Wareneingangsprüfung durchgeführt und anschließend erfolgt die Wareneingangsbuchung.

Das Unternehmen hat zwei produzierende Standorte mit kreuzenden Materialflüssen, zwischen denen das Material transportiert werden muss. Es gibt zwischen diesen Schritten aber immer wieder Qualitätskontrollen. Aber es vergehen oftmals Monate zwischen der tatsächlichen Arbeit und der Qualitätskontrolle der jeweiligen Schritte, sodass das Feedback, ob man richtig produziert und arbeitet sehr lange dauert.

Im Wareneingangsbereich wird das Material durch Rollentische transportiert.

<b>Themenblock Lager</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein- und Auslagerprozess</li> <li>• Interner Transport</li> <li>• Informationssysteme</li> <li>• Datenverarbeitung</li> </ul>			
Nr.	Sondierungsfragen		
10	Wann wissen die Mitarbeiter im Lager, dass Material eingelagert werden muss?		
11	Wie sieht der Einlagerungsprozess aus?		
12	Wird die Auslastung des Lagers gemessen?		
13	Werden Informationen (Lagerdauer, Lagerstandort, Lagermenge) zu den eingelagerten Gütern gesammelt? Möglicherweise in einem ERP-System?		
14	Wie wird mit der Produktion kommuniziert welche Materialien zu welchem Zeitpunkt benötigt werden?		
15	Werden Abweichungen in der Produktion mit der Logistik geteilt? Beispielweise Änderung der Produktionsplanung und dadurch Änderung der benötigten Ware. Wie wird kommuniziert?		
16	Wie werden die Waren vom Lager in die Produktion transportiert?		
17	Sind die Transporteinheiten mit Sensoren oder ähnlicher Lokalisierungstechnologie ausgestattet?		
18	Wie werden die Waren nach der Produktion gelagert?		
19	Wann ist der Lagerprozess abgeschlossen?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
12	Ja	12.1	Wie wird diese gemessen?
12	Nein	12.2	Wann weiß man, dass das Lager voll ist und kein Material mehr bestellt werden darf?
17	Nein	17.1	Wird das in Zukunft noch angedacht?
<p><b>Kommentare:</b>  Es gibt eine Produktionsplanung und der Planungshorizont beträgt eine Woche. Es gibt keine Tagesplanung, daher arbeitet man mit hohen Beständen.  Aufgrund von gewachsenen Strukturen im Unternehmen geht man mit sauberen Komponenten durch dreckige Abteilungen, sodass das Produkt verschmutzt werden könnte (kreuzende Materialflüsse). Es gibt aber viele Durchlaufregale an den Standorten.  Es gibt kein Kanban-System im Unternehmen.  Rohmaterial wird am Standort eins angeliefert und anschließend verarbeitet und zwischengelagert. Es folgen viele Produktions- und Lagerschritte, wobei das Material immer wieder gereinigt werden muss. Es gibt viele kleinere Zwischenlager an den beiden Standorten, die laut dem Lean Manager grundsätzlich nicht notwendig wären.  Es wird derzeit noch nach dem Push-Prinzip gearbeitet wodurch hohe Bestände in den Zwischenlagern entstehen.  Derzeit ist im Unternehmen ein Bestand von circa sechs Monaten vorhanden, bis es an den Kunden geht. Die Mitarbeitenden wissen nicht genau, was im Lager liegt, da das Unternehmen kein Lagermanagement implementiert hat. Es gibt einmal jährlich eine Inventur, bei der das Material im Lager überprüft wird.  Die verschiedenen Stationen im Logistik- und Produktionsprozess sind dauerhaft von Mitarbeitenden besetzt und es gibt ein Schichtmodell.  Die beiden Standorte kommunizieren untereinander per Mail oder Telefon. Zwischen diesen beiden Standorten gibt es keine Umlagerungsbuchungen, da nur ein Werk im System hinterlegt ist.</p>			

## Themenblock Warenausgang und Versand

- Warenausgang und Versand
- Transport
- Informationssysteme
- Datenverarbeitung

Nr.	Sondierungsfragen		
18	Von wem bekommt der Warenausgang die Informationen, dass Produkte versendet werden müssen?		
19	Wie verläuft der Versandprozess?		
20	Werden Anhand der gesammelten Daten Abweichungsanalysen im Intralogistikbereich erstellt? Lange Transportzeiten, hohe Lagerauslastung oder ähnliche Kennzahlen.		
21	Gibt es eine Schnittstelle zum Kunden, damit Daten ausgetauscht werden können?		
22	Wann ist der Versand-Prozess abgeschlossen?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
21	Nein	21.1	Wie werden Daten mit den Kunden ausgetauscht?

**Kommentare:**

Es gibt ein Zeitfenster für die Abholung von Waren, welche mit den Spediteuren des Kunden vereinbart werden.

Es gibt zusätzlich zwei firmeninterne Fahrzeuge, mit denen an zwei Tagen in der Woche, jeweils Montag und Freitag, ausgeliefert wird.

Vom Wareneingang bis zum Endprodukt wird im System nie gebucht, was bedeutet, dass das Produkt immer als Work-in-Progress (WIP) gebucht ist.

Es wird nicht mit Massendaten gearbeitet, sondern fast ausschließlich manuell oder mit Papier.

Die Qualitätskontrollen werden im System sehr gut dokumentiert, da dies auch für den Versand an Kunden wichtig ist. In diesem System sind auch mögliche Fehlercodes des Materials hinterlegt.

Wenn die Ware für den Warenausgang bereits ist, tritt das Problem auf, dass viele Fertigungsaufträge nicht rückgemeldet werden, wodurch eine Nachverfolgbarkeit und Transparenz im Unternehmen erschwert wird.

Der interne Transport erfolgt durchgehend auf rollenden Tischen bis zur Übergabe an den Spediteur.

## Themenblock künstliche Intelligenz

- Begriff künstliche Intelligenz
- Datenverarbeitung und Datenspeicher
- Einsatz von künstlicher Intelligenz

Nr.	Sondierungsfragen		
23	Wird bei Ihnen künstliche Intelligenz im Intralogistikbereich eingesetzt?		
24	Haben Sie bereits Vorschläge, wie Sie künstliche Intelligenz in Ihrem Unternehmen / in Ihrem Bereich einsetzen können?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
23	Ja	23.1	In welcher Form wird künstliche Intelligenz im Intralogistikbereich eingesetzt?
23	Ja	23.2	Gab es Herausforderungen bei der Implementierung von künstlicher Intelligenz in diesem Bereich?
23	Nein	23.3	Gibt es einen Grund, dass künstliche Intelligenz derzeit noch nicht eingesetzt wird?

### Kommentare:

Es wird keine künstliche Intelligenz eingesetzt, da sehr wenig Daten gesammelt werden und auch sehr manuell gearbeitet wird.

Darin sieht man auch als Unternehmen die größte Herausforderung bei der Implementierung von künstlicher Intelligenz. Man müsste zuerst die Prozesse dokumentieren und im Sinne des Lean Managements ausrichten. Anschließend müsste man Daten über die jeweiligen Prozessschritte sammeln und ein durchgängiges ERP-System implementieren, bevor künstliche Intelligenz im Logistik- und Produktionsbereich eingesetzt werden kann.



## Themenblock Organisation/Kultur

- Organisation und Kultur im Unternehmen
- Industrie 4.0
- Integration von Systemen in die Organisation
- Veränderung

Nr.	Sondierungsfragen
25	Wie ist die Fehlerkultur in der Organisation? Gibt es einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess?
26	Wie ist Ihrer Meinung nach der aktuelle Entwicklungsstand der Industrie 4.0 Fähigkeiten in der Logistik am Standort?
27	Welche Ressourcen stehen für die Umsetzung von Industrie 4.0 Technologien, wie z.B. IT für physische Transporteinheiten, zur Verfügung?
28	Wie sind die Informationssysteme in der Organisation integriert? Gibt es eine autonome Nachfrage und Echtzeitüberwachung in der Logistik?
29	Wie ist die Organisationsstruktur in der Logistik? Gibt es dezentralisierte Entscheidungsprozesse oder werden Entscheidungen von einer zentralen Person geleitet?
30	Werden Entscheidungen überwiegend aufgrund von Erfahrungen getroffen oder werden diese Anhand von Daten getroffen?

### Kommentare:

Der aktuellen Entwicklungsstand ist weit entfernt von einer Industrie 4.0. Im Unternehmen wird die Informationstechnologie als Ganzes verweigert. Es gibt ein ERP-System, welches aber nicht durchgängig ist. Es gibt kein Lagerverwaltungssystem und keine Stücklisten. Wenn Bestellungen im System erstellt werden, geschieht dies ohne Freigabeprozess. Bei der Wareneingangsbuchung werden nur die Daten über die Menge und das genaue Material erfasst. Es gibt derzeit auch keine EDI-Verbindungen oder Schnittstellen zu Lieferanten oder Kunden.

Im ERP-System ist grundsätzlich nur ersichtlich, was fakturiert wurde, was bedeutet, dass das einzige System, welches durchgängig ist, das Buchhaltungssystem ist.

Grundsätzlich sind die Prozesse im Unternehmen nicht ordnungsgemäß dokumentiert, wodurch Probleme entstehen, wenn Mitarbeitenden nicht mehr im Unternehmen tätig sind und das Prozesswissen damit nicht mehr vorhanden ist.

Das Mindset und die Führungskultur fehlen im Unternehmen, da Entscheidungen rein auf Erfahrungen getroffen werden und nicht anhand von Daten. Trotzdem erwirtschaftet das Unternehmen einen Gewinn.

Halbleitermarkt wächst langfristig und das Unternehmen investiert trotzdem in die Zukunft.

## Anhang 2: Interviewleitfaden

Unternehmen 4 – Produktionsunternehmen im Bereich Ladestationen für Elektromobilität

### **Optimierung der Intralogistik durch künstliche Intelligenz in mittelständischen Produktionsunternehmen**

Forschungsfrage: Inwieweit kann der Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Optimierung der Intralogistik in mittelständischen Produktionsunternehmen beitragen?

<b>Einstieg</b>	
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Begrüßung und Danksagung für die Zeit</li><li>• Präsentation des Themas</li><li>• Kurze Beschreibung über den Ablauf der Prozessanalyse</li></ul>
Nr.	Sondierungsfragen
1	Welche Funktion üben Sie derzeit im Unternehmen aus?
2	Wie lange sind Sie bereits im Unternehmen bzw. in Ihrer derzeitigen Position beschäftigt?
3	Was gehört zu ihren täglichen Arbeitsaufgaben
<p>Kommentare:</p> <p>Funktion der ersten Person ist Lagerleitung. Sie ist verantwortlich für alle Prozesse im Lager, von der Warenannahme, Ein- und Auslagerung bis zum Versand der Produkte und ist bereits mehrere Jahre im Unternehmen.</p> <p>Funktion der zweiten Person ist Sourcing Manager. Sie ist verantwortlich für den Einkaufsprozess und ist seit einem Jahr im Unternehmen. Die Person ist aber seit mehreren Jahren in der Branche tätig.</p>	

## Themenblock Wareneingang

- Wareneingangsprozess
- Informationssysteme
- Datenverarbeitung

Nr.	Sondierungsfragen		
4	Bekommt das Unternehmen Informationen von Lieferanten, wann welches Material eintreffen wird?		
5	Wie sieht der Wareneingangs-Prozess aus?		
6	Gibt es eine Qualitätskontrolle am Wareneingang?		
7	Gibt es eine Materialverfolgbarkeit durch den Intralogistikprozess? Im ERP-System mittels Auftragszuordnung?		
8	Gibt es ein ERP-System oder mehrere Softwaresysteme in der Logistik?		
9	Wie ist ersichtlich, dass der Wareneingangs-Prozess abgeschlossen ist?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
6	Ja	6.1	Wie wird die Qualitätskontrolle durchgeführt?
6	Nein	6.2	Wird die Qualitätskontrolle in einem anderen Prozessschritt durchgeführt?

### Kommentare:

Es gibt im ERP-System ein Einkaufs-Dashboard, welches anzeigt, wann welche Bestellung angeliefert werden. Man kann im System auf die jeweilige Bestellung klicken und sieht, ob es versendet wurde und wann es ankommt. Das einzige Problem ist, dass eine Bestellung angelegt ist, welche sich in viele Lieferungen unterteilen lässt.

Dieses Dashboard wird vom Einkauf gewartet. Der Datenaustausch mit dem Lieferanten erfolgt per Mail und der Einkauf wartet die Daten händisch im System.

Der Lieferschein wird in Papierform bei der Anlieferung beigelegt. Dieser muss anschließend am Arbeitsplatz im System eingebucht werden. Es wird eine logistische Wareneingangsprüfung durchgeführt, wo die gelieferte Menge mit der Menge am Lieferschein überprüft wird. Die Lieferung wird zusätzlich auf äußerliche Beschädigungen überprüft. Wenn Material im Sinne einer Qualitätskontrolle prüfpflichtig ist, wird das Material auf das Qualitäts-Lager gebucht und anschließend vom Qualitätsmanagement laut einem Prüfplan geprüft.

Wenn das Material bereits bei der Anlieferung äußerliche Beschädigungen aufweist, wird es direkt wieder dem Lieferanten zurückgesendet, was bedeutet, dass die Ware nicht angenommen wird. Sollten sich im Laufe der Qualitätskontrolle Mängel ergeben, werden diese auch beim Lieferanten reklamiert. Sollte die Lieferung laut Qualitätskontrolle in Ordnung sein, gibt das Qualitätsmanagement die Ware im System frei und der Wareneingang kann im System gebucht und eingelagert werden.

Es gibt derzeit ein ERP-System, welches durchgängig im Prozess verwendet wird. In diesem System können grundsätzlich Dokumenten wie Prüfpläne angehängt werden was in der Zukunft auch angedacht wird. Derzeit sind noch keine Prüfpläne oder technische Zeichnungen direkt im System hinterlegt.

Der Prozess ist abgeschlossen, wenn das Qualitätsmanagement die Ware freigegeben hat und die Wareneingangsbuchung im System erfolgt ist. Das jeweilige Material erhält dann ein Etikett, mit dem ersichtlich ist, dass das Qualitätsmanagement die Ware freigegeben hat.

## Themenblock Lager

- Ein- und Auslagerprozess
- Interner Transport
- Informationssysteme
- Datenverarbeitung

Nr.	Sondierungsfragen		
10	Wann wissen die Mitarbeiter im Lager, dass Material eingelagert werden muss?		
11	Wie sieht der Einlagerungsprozess aus?		
12	Wird die Auslastung des Lagers gemessen?		
13	Werden Informationen (Lagerdauer, Lagerstandort, Lagermenge) zu den eingelagerten Gütern gesammelt? Möglicherweise in einem ERP-System?		
14	Wie wird mit der Produktion kommuniziert welche Materialien zu welchem Zeitpunkt benötigt werden?		
15	Werden Abweichungen in der Produktion mit der Logistik geteilt? Beispielweise Änderung der Produktionsplanung und dadurch Änderung der benötigten Ware. Wie wird kommuniziert?		
16	Wie werden die Waren vom Lager in die Produktion transportiert?		
17	Sind die Transporteinheiten mit Sensoren oder ähnlicher Lokalisierungstechnologie ausgestattet?		
18	Wie werden die Waren nach der Produktion gelagert?		
19	Wann ist der Lagerprozess abgeschlossen?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
12	Ja	12.1	Wie wird diese gemessen?
12	Nein	12.2	Wann weiß man, dass das Lager voll ist und kein Material mehr bestellt werden darf?
17	Nein	17.1	Wird das in Zukunft noch angedacht?

### Kommentare:

Der Prozess beginnt, wenn bei einer Lieferung der Wareneingang gebucht wurde und die Ware eingelagert werden muss.

Das Lieferantenetikett wird mittels eines Barcodescanners gescannt, damit die Daten im ERP-System aufgenommen werden. Jeder Lagerplatz hat zudem ein Etikett mit einem internen QR-Code. Zusätzlich sind auch die Lagerplätze im System hinterlegt. Die Lagerplätze sind so geordnet, dass auf den unteren Lagerplätze Materialien liegen, welche eine hohe Umschlagshäufigkeit haben und oben im Hochregal Materialien gelagert werden, welche eine niedrige Lagerumschlagshäufigkeit haben. Beziehungsweise werden Materialien, welche nicht so oft gebraucht werden, auf Paletten in einem Lager, welches sich weiter entfernt von der Produktion befindet, gelagert.

Es wird nach dem First-In-First-Out (FIFO) Prinzip eingelagert, bei dem die älteste Palette immer ganz unten und die neu angelieferte immer ganz oben im Hochregallager gelagert wird.

Mit zwei Lieferanten besteht derzeit eine Vereinbarung über den Einsatz von Umlaufgebinden. Dieses Umlaufgebinde ist auch im ERP-System abgebildet.

Grundsätzlich gibt es keine Packvorschriften für die Materialien, welche beinhaltet welches Material in welcher Menge in die Box passt oder für die Produktion benötigt wird.

Zudem erhält jedes Box, in der Material gelagert ist, einen internen QR-Code, mit Informationen zum Material. Diese Informationen beinhalten welches Material in der Box ist und die zugehörige Materialnummer. Dieser QR-Code wird mit dem QR-Code des Lagerplatzes gescannt, damit das Material laut System am Lagerplatz hinterlegt ist. Es gibt immer einen Hauptlagerplatz für jedes Material, damit im System ersichtlich ist, welches Material wo gelagert werden soll. Es werden keine Informationen über die jeweilige Charge im System aufgenommen, wodurch der Chargencode entfällt. Es wird lediglich ein Zettel händisch beschrieben und auf die Palette geklebt, wann das Material angeliefert wurde. Die Informationen über das Anlieferdatum und die Charge geht aber verloren, sobald das Material für die Produktion kommissioniert wird.

Derzeit ist die Nachverfolgung laut Chargencode nicht notwendig, aber ab der nächsten Produktgeneration soll dies eingeführt werden.

Bei Material, welches in großen Mengen in der Produktion verwendet wird, werden die Zettel nicht mit dem jeweiligen Anliefermonat beschriftet, sondern mit dem genauen Lieferdatum.

Im Wareneingang und Lagerbereich werden Materialien von der Transportverpackung in Boxen umgepackt, damit sie leichter gelagert und in die Produktion gebracht werden können.

Diese Boxen bleiben am Standort und dienen als Umlaufgebinde.

In Zukunft möchte das Unternehmen platzsparender wirtschaften und auch Materialien aus dem Lager, welches sich weiter entfernt von der Produktion befindet, in das Hauptlager bringen, sodass alle Materialien in einem Lager sind.

Im System sind grundsätzlich die jeweiligen Lagerorte hinterlegt. Es erfolgt aber keine Abstimmung zwischen dem Lager und dem Einkauf über die jeweilige Lagerauslastung.

Der Bedarf der Produktion ist auch in einem Dashboard im ERP-System anhand von Fertigungsaufträgen ersichtlich. Es gibt zwei Übergabepunkte zwischen Lager und Produktion. Einen für Großteile auf Paletten und einen für Kleinteile in Regalen, wo die internen Boxen übergeben werden können. Diese Boxen sind mit dem internen QR-Code beklebt. Die Produktion hat eine Person, welche die jeweilige Produktionslinie mit Material versorgt. Sie weiß durch Erfahrung und optische Kontrolle, welches Material in der Box liegt und weiß auch aus Erfahrung, an welche Produktionslinie es gebracht werden muss. In der Produktionslinie erfolgt die Versorgung der Materialien anhand eines Supermarkt-Prinzips.

Der interne Transport erfolgt mittels Hubwagen, Transporttischen und kleinen Rollwagen.

Der Prozess endet, wenn das Material in die Produktion gebracht wurde und auf das Lager der Produktion gebucht wurde. Hier erfolgt seitens der Produktion dann keine Buchung mehr, bis 75 Stück einer Produktart fertig zusammengebaut und verpackt wurden. Dann werden 75 Stück inklusive der hinterlegten Materialliste aus dem System ausgebucht. Es passen immer 75 Produkte auf eine Palette. Es wird immer eine Palette pro Produktart fertiggestellt, was bedeutet, dass für vier verschiedenen Produkte vier verschiedene Paletten zu je 75 Stück vorbereitet werden, bevor es in der Produktion gebucht wird.

Die Produktionsplanung, und daher auch die Bedarfsplanung, richtet sich nach dem Absatzplan des Vertriebs. Es gibt einen Absatzplan für sechs Monate. Diesen bricht die Produktion auf Monats- und Wochenmengen herunter, damit man flexibel produzieren kann. Es bleibt also immer ein gewisser Lagerbestand vorhanden.

Das zweite Palettenlager besteht rein aus Paletten und ist nach Reihen beschriftet, sowie mit QR-Codes je Lagerplatz und einer Beschriftung gekennzeichnet. Hier erfolgt die gleiche Beschriftung wie im Hauptlager. Das Palettenlager ist im System vorhanden, jedoch wird auch hier keine Auslastungsmessung durchgeführt.

## Themenblock Warenausgang und Versand

- Warenausgang und Versand
- Transport
- Informationssysteme
- Datenverarbeitung

Nr.	Sondierungsfragen		
18	Von wem bekommt der Warenausgang die Informationen, dass Produkte versendet werden müssen?		
19	Wie verläuft der Versandprozess?		
20	Werden Anhand der gesammelten Daten Abweichungsanalysen im Intralogistikbereich erstellt? Lange Transportzeiten, hohe Lagerauslastung oder ähnliche Kennzahlen.		
21	Gibt es eine Schnittstelle zum Kunden, damit Daten ausgetauscht werden können?		
22	Wann ist der Versand-Prozess abgeschlossen?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
21	Nein	21.1	Wie werden Daten mit den Kunden ausgetauscht?

### Kommentare:

Die Verpackung der Geräte für den Versand erfolgt direkt in der Produktion. Nach dem Qualitäts- und Funktionstest werden die Geräte direkt verpackt. Die Produktion bringt die fertige Palette zu je 75 Stück weiter in das Hauptlager. Hierbei wird ein Übergabeprotokoll händisch ausgefüllt, auf dem ersichtlich ist, welches Produkt in welcher Menge an den Lager und Versandbereich übergeben wurde. Dabei werden vom Versandbereich nochmals die Etiketten auf den Paketen geprüft, damit die richtigen 75 Produkte aus der richtigen Produktgruppe auf der Palette sind. Diese Qualitätsprüfung wurde eingeführt, da es in der Vergangenheit vereinzelt vorkam, dass ein falsches Etikett, beziehungsweise ein falsches Produkt auf der Palette war, wodurch alle Produkte nochmals auf die Produktart überprüft werden mussten.

Es wird auch hier wieder nach dem FIFO-Prinzip vor dem Versand zwischengelagert. Sollte kein Lagerplatz im Hauptlager vorhanden sein, kann auf das Palettenlager zurückgegriffen werden.

Die Palette mit den fertigen Produkten hat wieder einen internen QR-Code, damit die Ware mit dem Lagerplatz verknüpft werden kann, damit ersichtlich ist, welches Produkt aktuell liegt.

Es gibt für den Versandprozess auch ein Dashboard im System, wo das Bestell-beziehungsweise Lieferdatum inklusiven Kommentaren abgebildet ist. Hier kann im System in die einzelnen Bestellungen eingesehen werden, welche Produkte geliefert werden

müssen. Dieses Dashboard wird vom Sales und Vertriebsteam gewartet und mit Informationen versorgt, wodurch ersichtlich ist, welche Bestellungen bereits bezahlt und versendet werden können und welche Bestellungen noch nicht versendet werden dürfen. In diesem System ist auch ersichtlich, wenn Teillieferungen an den Kunden durchgeführt wurden und welche Produkte der Bestellung noch geliefert werden müssen.

Für den Versandprozess wird der Lieferschein zur jeweiligen Bestellung ausgedruckt. Dieser dient als Kommissionierliste für die Produkte. Wenn die Produkte kommissioniert wurden, werden sie mit dem Lieferschein im System eingescannt und dadurch mit dem Lieferschein verknüpft. Am Lieferschein ist anschließend ersichtlich, welche Produkte mit welcher Seriennummer an den jeweiligen Kunden versendet wurden. Diese Verknüpfung wird aufgrund der Nachverfolgbarkeit durchgeführt. Im System muss auch die Verfügbarkeit der Artikel im Lager geprüft werden, damit diese auch im Lager frei verfügbar sind. Im System wird anschließend das Versandetikett mit den benötigten Informationen wie Gewicht, gedruckt. Das Gewicht der Pakete wird mit einer digitalen Waage gemessen, welche aber keine Anbindung an das System hat. Anschließend wird eine Entnahme im System gebucht und das Material in die Nähe der Rampe geschoben, bis es an den Spediteur übergeben wird. Wenn der Spediteur das Übergabeprotokoll unterschreibt, ist der Prozess des Warenausgangs abgeschlossen.

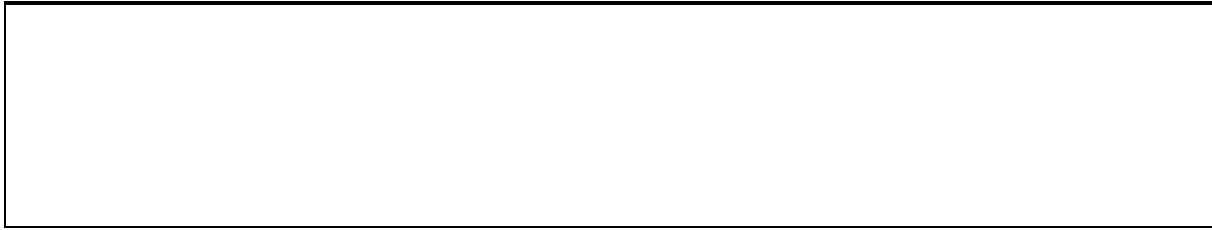
## Themenblock künstliche Intelligenz

- Begriff künstliche Intelligenz
- Datenverarbeitung und Datenspeicher
- Einsatz von künstlicher Intelligenz

Nr.	Sondierungsfragen		
23	Wird bei Ihnen künstliche Intelligenz im Intralogistikbereich eingesetzt?		
24	Haben Sie bereits Vorschläge, wie Sie künstliche Intelligenz in Ihrem Unternehmen / in Ihrem Bereich einsetzen können?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
23	Ja	23.1	In welcher Form wird künstliche Intelligenz im Intralogistikbereich eingesetzt?
23	Ja	23.2	Gab es Herausforderungen bei der Implementierung von künstlicher Intelligenz in diesem Bereich?
23	Nein	23.3	Gibt es einen Grund, dass künstliche Intelligenz derzeit noch nicht eingesetzt wird?

Kommentare:

Es gibt eine Arbeitsgruppe, welche sich mit der Verbesserung des ERP-Systems beschäftigt. In Zukunft möchte man viel mehr Daten sammeln, damit man möglicherweise künstliche Intelligenz einsetzen kann. Derzeit wird aber noch keine KI-Technologie eingesetzt, da die Systeme für diese Technologie noch nicht vorhanden sind und die Daten erst gesammelt werden müssen.



## Themenblock Organisation/Kultur

- Organisation und Kultur im Unternehmen
- Industrie 4.0
- Integration von Systemen in die Organisation
- Veränderung

Nr.	Sondierungsfragen
25	Wie ist die Fehlerkultur in der Organisation? Gibt es einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess?
26	Wie ist Ihrer Meinung nach der aktuelle Entwicklungsstand der Industrie 4.0 Fähigkeiten in der Logistik am Standort?
27	Welche Ressourcen stehen für die Umsetzung von Industrie 4.0 Technologien, wie z.B. IT für physische Transporteinheiten, zur Verfügung?
28	Wie sind die Informationssysteme in der Organisation integriert? Gibt es eine autonome Nachfrage und Echtzeitüberwachung in der Logistik?
29	Wie ist die Organisationsstruktur in der Logistik? Gibt es dezentralisierte Entscheidungsprozesse oder werden Entscheidungen von einer zentralen Person geleitet?
30	Werden Entscheidungen überwiegend aufgrund von Erfahrungen getroffen oder werden diese Anhand von Daten getroffen?

### Kommentare:

Es gibt einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) im Unternehmen. Es sind auch in den einzelnen Abteilungen KVP-Boards installiert, damit die Mitarbeiter Verbesserungsvorschläge einbringen können. Im Büro gibt es ein tägliches Meeting, bei dem wichtige Punkte für den Tag, beziehungsweise für die Woche besprochen werden. Die Ressourcen für den Bereich Industrie 4.0 werden also in Zukunft vorhanden sein. Entscheidungen werden teilweise aufgrund von Daten getroffen, aber zusätzlich wird immer die Erfahrung und Expertise der Mitarbeitenden miteinbezogen.

Es werden im Bereich der Logistik als Kennzahlen nur die Ober- beziehungsweise die Untergrenze von Produkten im Lager gemessen. Eine Auslastung der Mitarbeiter, oder Auslastung der einzelnen Abteilungen und Lagerkapazitäten werden nicht gemessen.



## Anhang 2: Interviewleitfaden

### Unternehmen 5 – Produktionsunternehmen im Bereich Fenster und Türen

# Optimierung der Intralogistik durch künstliche Intelligenz in mittelständischen Produktionsunternehmen

Forschungsfrage: Inwieweit kann der Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Optimierung der Intralogistik in mittelständischen Produktionsunternehmen beitragen?

<b>Einstieg</b>	
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Begrüßung und Danksagung für die Zeit</li><li>• Präsentation des Themas</li><li>• Kurze Beschreibung über den Ablauf der Prozessanalyse</li></ul>
Nr.	Sondierungsfragen
1	Welche Funktion üben Sie derzeit im Unternehmen aus?
2	Wie lange sind Sie bereits im Unternehmen bzw. in Ihrer derzeitigen Position beschäftigt?
3	Was gehört zu ihren täglichen Arbeitsaufgaben
<p>Kommentare:</p> <p>Die erste Person ist Leiter der Logistik und seit 34 Jahren im Unternehmen. Seit einem Jahr ist die Person Logistikleiter, davor war sie Produktionsleiter.</p> <p>Die zweite Person ist verantwortlich für die Personalleitung, hat aber Hintergrundwissen im Bereich Logistik. Sie ist seit zwei Jahren im Unternehmen.</p> <p>Derzeit sind sieben Personen in der Logistik angestellt, wobei immer eine Rotation zwischen den Teilbereichen stattfindet.</p>	

## Themenblock Wareneingang

- Wareneingangsprozess
- Informationssysteme
- Datenverarbeitung

Nr.	Sondierungsfragen		
4	Bekommt das Unternehmen Informationen von Lieferanten, wann welches Material eintreffen wird?		
5	Wie sieht der Wareneingangs-Prozess aus?		
6	Gibt es eine Qualitätskontrolle am Wareneingang?		
7	Gibt es eine Materialverfolgbarkeit durch den Intralogistikprozess? Im ERP-System mittels Auftragszuordnung?		
8	Gibt es ein ERP-System oder mehrere Softwaresysteme in der Logistik?		
9	Wie ist ersichtlich, dass der Wareneingangs-Prozess abgeschlossen ist?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
6	Ja	6.1	Wie wird die Qualitätskontrolle durchgeführt?
6	Nein	6.2	Wird die Qualitätskontrolle in einem anderen Prozessschritt durchgeführt?

### Kommentare:

Grundsätzlich muss zwischen zwei Lager- und Produktionsstandorten unterschieden werden.

Bei Aluminium-Fenster kann nur direkt auf der Baustelle beim Kunden verglast werden. Bei Kunststoff Fenster wird noch in der Produktion verglast. Deshalb werden diese beiden Typen auch getrennt behandelt. Wir fokussieren uns auf die Type Kunststoff Fenster.

Hierbei kommt die Anlieferung für das Glaslager täglich von einem Lieferanten. Der Lieferant erhält täglich den Materialbedarf der nächsten zwei Tage.

Der Lieferschein für Bestellungen ist im ERP-System eingepflegt. Der Lieferschein wird im System angelegt und wenn die Ware ankommt, wird eine logistische Wareneingangsprüfung durchgeführt. Anschließend wird der Lieferschein als Original vom Logistikleiter in das Büro gebracht.

Die Bestellung wird auch im ERP-System angelegt und die Person, welche die Bestellung anlegt, gibt auch den Lagerplatz vor, indem die Bestellung anschließend eingelagert werden muss. Die Bestellung wird im ERP-System angelegt und anschließend per Mail im System an den Lieferanten gesendet. Dabei müssen die Stammdaten des Lieferanten immer aktuell im ERP-System gepflegt werden.

Am Computer des Logistikleiters gibt es einen Ordner mit aktuellen Lieferungen. Hierbei führt er einen Check durch, was an dem Tag an Material angekommen ist, und überprüft die Lieferscheine mit den tatsächlichen Bestellungen. Damit wird überprüft, ob alles angekommen ist, was bestellt wurde.

## Themenblock Lager

- Ein- und Auslagerprozess
- Interner Transport
- Informationssysteme
- Datenverarbeitung

Nr.	Sondierungsfragen		
10	Wann wissen die Mitarbeiter im Lager, dass Material eingelagert werden muss?		
11	Wie sieht der Einlagerungsprozess aus?		
12	Wird die Auslastung des Lagers gemessen?		
13	Werden Informationen (Lagerdauer, Lagerstandort, Lagermenge) zu den eingelagerten Gütern gesammelt? Möglicherweise in einem ERP-System?		
14	Wie wird mit der Produktion kommuniziert, welche Materialien zu welchem Zeitpunkt benötigt werden?		
15	Werden Abweichungen in der Produktion mit der Logistik geteilt? Beispielweise Änderung der Produktionsplanung und dadurch Änderung der benötigten Ware. Wie wird kommuniziert?		
16	Wie werden die Waren vom Lager in die Produktion transportiert?		
17	Sind die Transporteinheiten mit Sensoren oder ähnlicher Lokalisierungstechnologie ausgestattet?		
18	Wie werden die Waren nach der Produktion gelagert?		
19	Wann ist der Lagerprozess abgeschlossen?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
12	Ja	12.1	Wie wird diese gemessen?
12	Nein	12.2	Wann weiß man, dass das Lager voll ist und kein Material mehr bestellt werden darf?
17	Nein	17.1	Wird das in Zukunft noch angedacht?

### Kommentare:

Der Logistikleiter hat in einem weiteren System eine Übersicht, was in den nächsten drei Tagen in der Produktion benötigt wird. In diesem System ist auch eine Priorisierung der Aufgaben hinterlegt, sowie die Auslastung der Mitarbeiter, wie lange die Kommissionierung des Materials benötigt. In diesem System sind auch alle Schritte, von der Kommissionierung eines Auftrags, über die einzelnen Fertigungsschritte, bis zur fertigen Buchung in der Produktion und die Einlagerung im Lager enthalten und müssen von den einzelnen Bereichen im System rückgemeldet werden.

Die Produktion produziert nur für diesen einen Auftrag, welchen man im System anlegt.

Das Glaslager ist zusätzlich nach Reihen sortiert, damit schneller ersichtlich ist, in welcher Reihe der jeweilige Waagen mit dem Material steht.

Es gibt ein Lager im ersten Stock, indem ein Schwerlastlift integriert ist, damit man Ware vom Erdgeschoss in den ersten Stock transportieren kann. Das Lager hat bei gewissen Teilen eine Zuordnung von Auftragsnummer. Die Produkte werden händisch mit der jeweiligen Auftragsnummer beschriftet und der Monteur muss diese Auftragsnummer vorweisen, damit das Material kommissioniert werden kann. Die Ausgabe des Materials erfolgt nur durch die Mitarbeiter des Lagers.

Der jeweilige Lagerplatz des Materials ist im System nicht ersichtlich. Im System geschieht eine ortgenaue Bestimmung aber keine platzgenaue Bestimmung.

Bei Bestellungen für benötigtes Material wird nach dem Go-and-see Prinzip bestellt, was bedeutet, dass Mitarbeiter sehen, wann Material nachbestellt werden muss. Es gibt im System keine Hinterlegung, ab welcher Menge nachbestellt werden muss. Bei Hilfs- und Betriebsstoffen bestellt der jeweilige Produktionsleiter das Material nach.

Kennzahlen wie die Lagerdauer oder Lagerauslastung werden nicht gemessen und es wird auch kein First-In-First-Out (FIFO) Prinzip angewendet, da man auftragsbezogen bestellt. Einmal pro Monat überprüfen die Lagermitarbeiter das Lager anhand von älteren Bestellungen. Dabei überprüfen sie, ob die Bestellung noch auf Lager liegt und vorhanden ist oder ob jemand die Ware doppelt bestellt hat.

## Themenblock Warenausgang und Versand

- Warenausgang und Versand
- Transport
- Informationssysteme
- Datenverarbeitung

Nr.	Sondierungsfragen		
18	Von wem bekommt der Warenausgang die Informationen, dass Produkte versendet werden müssen?		
19	Wie verläuft der Versandprozess?		
20	Werden Anhand der gesammelten Daten Abweichungsanalysen im Intralogistikbereich erstellt? Lange Transportzeiten, hohe Lagerauslastung oder ähnliche Kennzahlen.		
21	Gibt es eine Schnittstelle zum Kunden, damit Daten ausgetauscht werden können?		
22	Wann ist der Versand-Prozess abgeschlossen?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
21	Nein	21.1	Wie werden Daten mit den Kunden ausgetauscht?

**Kommentare:**

Am Computer des Logistikleiter gibt es einen Ordner für die Montageteams. Es gibt einen Lieferschein für die Auslieferung, welcher viele Seiten enthält, da auf jeder Seite die Produkttechnischen Daten jedes Fensters beschrieben sind. Hierbei fasst der Logistikleiter den gesamten Lieferschein auf der ersten Seite als Kommentar zusammen, damit der Mitarbeiter die Ware einfacher und schneller kommissionieren kann. Die Ware muss auf Transportgestellen kommissioniert werden. Diese dienen auch als Umlauftransportmittel für intern und extern. Wenn ein Spediteur oder Montageteam das Transportmittel mitnimmt, wird es auch wieder zurückgebracht. Diese Gestelle haben Nummern, damit sie im System hinterlegt werden können und für alle erkenntlich sind.

Es gibt auf der Rampe am Warenausgang für die Montageteams Beschriftungen, damit klar ist, welches Team welche Rampe anfahren muss, um das Material zu erhalten. Das Montageteam bekommt immer drei Tage vorher über ein weiteres System eine Rückmeldung, ob das Material kommissioniert wurde und alles da ist. Sollte etwas nicht vorhanden sein, wird das Montageteam informiert. Die Kommissionierung für die Montageteams sind wieder in einem anderen System ersichtlich.

Im Bereich des Kunststoff Fenster wird der Warenausgang nur über die internen Montageteams durchgeführt. Im Bereich des Glas Fenster kann auch ein externer Spediteur die Ware abholen.

Wenn das Montageteam die Ware abholt und auf die Baustelle bringt, erfolgt keine Zwischenbuchung. Die Buchung erfolgt erst, wenn die Baustelle erledigt wurde und der Endkunde den Lieferschein unterschreibt.

## Themenblock künstliche Intelligenz

- Begriff künstliche Intelligenz
- Datenverarbeitung und Datenspeicher
- Einsatz von künstlicher Intelligenz

Nr.	Sondierungsfragen		
23	Wird bei Ihnen künstliche Intelligenz im Intralogistikbereich eingesetzt?		
24	Haben Sie bereits Vorschläge, wie Sie künstliche Intelligenz in Ihrem Unternehmen / in Ihrem Bereich einsetzen können?		
Nr.	Antwort	Nr.	Ad-hoc Fragen
23	Ja	23.1	In welcher Form wird künstliche Intelligenz im Intralogistikbereich eingesetzt?
23	Ja	23.2	Gab es Herausforderungen bei der Implementierung von künstlicher Intelligenz in diesem Bereich?
23	Nein	23.3	Gibt es einen Grund, dass künstliche Intelligenz derzeit noch nicht eingesetzt wird?

### Kommentare:

Es wird derzeit noch keine künstliche Intelligenz eingesetzt und zudem sieht man es als Schwierigkeit diese einzusetzen, da man zuerst die Prozesse digitalisieren müsste. Zudem fehlen die benötigten Daten, um künstliche Intelligenz einzusetzen. Aber man würde künstliche Intelligenz sehr gerne im Bereich der Logistik einsetzen.

## Themenblock Organisation/Kultur

- Organisation und Kultur im Unternehmen
- Industrie 4.0
- Integration von Systemen in die Organisation
- Veränderung

Nr.	Sondierungsfragen
25	Wie ist die Fehlerkultur in der Organisation? Gibt es einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess?
26	Wie ist Ihrer Meinung nach der aktuelle Entwicklungsstand der Industrie 4.0 Fähigkeiten in der Logistik am Standort?
27	Welche Ressourcen stehen für die Umsetzung von Industrie 4.0 Technologien, wie z.B. IT für physische Transporteinheiten, zur Verfügung?
28	Wie sind die Informationssysteme in der Organisation integriert? Gibt es eine autonome Nachfrage und Echtzeitüberwachung in der Logistik?
29	Wie ist die Organisationsstruktur in der Logistik? Gibt es dezentralisierte Entscheidungsprozesse oder werden Entscheidungen von einer zentralen Person geleitet?
30	Werden Entscheidungen überwiegend aufgrund von Erfahrungen getroffen oder werden diese Anhand von Daten getroffen?

### Kommentare:

Man ist sehr offen für Veränderung und sieht ein, dass man den Absprung im Bereich der Digitalisierung etwas verschlafen hat.

Im Bereich der Verbesserungsprozesse und der Kommunikation gibt es ein tägliches Meeting mit dem Logistikleiter und anderen Abteilungen. Zudem gibt es auch einmal pro Woche ein Meeting, wie die Mitarbeiter eingeteilt werden können, damit alle ausgelastet sind.

Entscheidungen werden überwiegend aufgrund von Erfahrung getroffen.