

Masterarbeit

**OPTIMIERUNG INNERBETRIEBLICHER TRANSPORT-  
WEGE UND STEIGERUNG DER PROZESSTRANSPA-  
RENZ DURCH DEN EINSATZ VON RADIO FRE-  
QUENCY IDENTIFICATION-TECHNOLOGIE**

ausgeführt am



FACHHOCHSCHULE DER WIRTSCHAFT

Fachhochschul-Masterstudiengang  
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

**Tobias Gucher, BSc**

52107639

betreut und begutachtet von

Dipl.-Ing. Robert Hammer

Graz, im November 2025

A handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, overlapping strokes, positioned above a horizontal dotted line.

Unterschrift

## EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich

- die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst,
- andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt,
- die den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht,
- den Einsatz von generativen KI-Modellen kenntlich gemacht
- und mich sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht. Die vorliegende Fassung entspricht der eingereichten elektronischen Version.

TOBIAS GUCHER

.....

Vorname Nachname in Druckschrift

Melnitz, 18.11.2025

.....  
Ort, Datum, Unterschrift

## DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Erstellung dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Als Erstes möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing Robert Hammer, welcher meine Masterarbeit betreut und begutachtet hat, für die hilfreiche Anregung und die konstruktive Zusammenarbeit bedanken.

Ein großes Dankeschön möchte ich auch meinen Eltern aussprechen, die mich in meinen Ausbildungsjahren unterstützt haben.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Herrn Thomas Wenzl MSc. und Herrn Kevin Sturm, die mich bei der Ausarbeitung dieser Arbeit unterstützt und beraten haben.

Abschließend möchte ich mich noch bei meiner Lebensgefährtin und ihren Eltern bedanken, die mich das ganze Studium hindurch unterstützt haben und immer ein offenes Ohr für mich hatten.

## **KURZFASSUNG**

Diese Masterarbeit untersucht die Optimierung interner Transportwege sowie die Verbesserung der Prozesstransparenz durch den Einsatz von Radio-Frequency-Identification-(RFID)-Technologie am Beispiel der Springer Maschinenfabrik GmbH. Das Projekt wurde durch die Einführung einer neuen Laserschneidanlage angestoßen, welche den Materialfluss des Unternehmens grundlegend veränderte und eine umfassende Neugestaltung der Lagerlogistik erforderte.

Ziel dieser Arbeit ist es, bestehende Transportprozesse zu analysieren, Ineffizienzen zu identifizieren und praxisnahe Maßnahmen zur Steigerung der Gesamteffizienz zu entwickeln. Auf Basis detaillierter Datenerhebungen, Transportprotokolle und Prozessanalysen wurde ein neues Lagerlayout nach einem Vier-Zonen-Konzept entworfen. Diese Struktur ermöglicht eine klare Trennung zwischen Wareneingang, Lagerung, Kommissionierung und Bereitstellung, was zu kürzeren Transportwegen, reduzierten Suchzeiten und einer erhöhten Prozesssicherheit führt.

Ein weiterer zentraler Bestandteil der Arbeit ist die konzeptionelle Entwicklung einer RFID-basierten Lösung für die automatisierte Erfassung und digitale Dokumentation von Materialbewegungen. Durch die Integration dieser Technologie entsteht durchgängige Transparenz, welche zukünftige Automatisierungsschritte und eine zuverlässige Bestandsführung ermöglicht.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich durch eine Kombination aus organisatorischen, strukturellen und technologischen Maßnahmen erhebliche Effizienzsteigerungen realisieren lassen – ohne zusätzlichen Personalbedarf. Die Arbeit schließt mit praxisorientierten Empfehlungen für die operative Umsetzung und schafft eine Grundlage für die schrittweise Digitalisierung der innerbetrieblichen Logistik hin zu einer vernetzten, datengetriebenen Produktionsumgebung.

## **ABSTRACT**

This master's thesis examines the optimization of internal transport routes and the enhancement of process transparency through the implementation of Radio Frequency Identification (RFID) technology, using Springer Maschinenfabrik GmbH as a case study. The project was initiated by the introduction of a new laser cutting line, which fundamentally changed the company's material flow and required a comprehensive reorganization of warehouse logistics.

The objective of this study is to analyse existing transport processes, identify inefficiencies, and develop practical measures to increase overall efficiency. Based on detailed data collection, transport logs, and process mapping, a new warehouse layout was designed following a four-zone concept. This structure enables a clear separation between goods receipt, storage, order picking, and provision, resulting in shorter transport routes, reduced search times, and improved process reliability.

A further key component of the thesis is the conceptual design of an RFID-based solution for automated tracking and digital documentation of material movements. Integrating this technology creates end-to-end transparency, enabling future automation steps and reliable inventory management.

The results indicate that significant efficiency gains can be achieved through a combination of organizational, structural, and technological measures—without requiring additional human resources. The thesis concludes with practical recommendations for operational implementation and provides a foundation for the gradual digitalization of internal logistics towards a connected, data-driven production environment.

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
1.1	Problemstellung und Zielsetzung.....	1
1.2	Forschungsfrage und Abgrenzung .....	2
1.3	Methodisches Vorgehen .....	3
1.4	Aufbau der Arbeit.....	4
1.5	Unternehmensvorstellung.....	5
1.5.1	Logistische Rahmenbedingungen und Supply Chain Prozess.....	5
1.5.2	Rolle der Masterarbeit im Projektkontext.....	8
2	Theoretische Grundlagen der innerbetrieblichen Transportwegeoptimierung.....	10
2.1	Grundlagen der Intralogistik und Materialflussmodelle .....	11
2.2	Verfahren und Methoden zur Transportwegeoptimierung .....	14
2.2.1	Aufgabenfelder der Optimierung im Lagerbetrieb .....	15
2.2.2	Verfahren zur Lösungsoptimierung .....	16
2.2.3	Datenbasis und Informationsfluss als Fundament der Optimierung.....	18
2.2.4	Der Beitrag von RFID zur Prozesstransparenz und Optimierung .....	20
2.3	Logistische Kennzahlen zur Effizienzmessung .....	25
2.3.1	Herausforderungen im Umgang mit Kennzahlen .....	25
2.3.2	Datengewinnung und Berechnung intralogistischer Kennzahlen.....	26
2.4	Methodische Rahmenbedingungen und Implementierungsaspekte .....	29
2.4.1	Methodische Rahmenbedingungen .....	29
2.4.2	Implementierungsaspekte.....	31
3	Praxisorientierte Konzeptentwicklung und Umsetzung.....	34
3.1	Ist-Zustand der Transportprozesse.....	34
3.1.1	Datenerhebung und Prozessmapping .....	35
3.1.1.1	Methodisches Vorgehen der Datenerhebung.....	35
3.1.1.2	Datenverarbeitung und -analyse .....	37
3.1.1.3	Prozessmapping und Visualisierung – Das Spaghetti-Diagramm.....	42
3.1.2	Identifikation von Effizienzhemmnissen im Materialfluss .....	47
3.1.2.1	Doppelte Umlagerungen – nichtwertschöpfende interne Schleifen .....	48
3.1.2.2	Warte- und Standzeiten – verdeckte Prozessunterbrechungen im Tagesgeschäft.....	50
3.1.2.3	Suchzeiten – Intransparenz als strategischer Risikofaktor .....	51
3.1.2.4	Engpässe und Kreuzungspunkte – strukturelle Schwächen im Layout .....	52
3.1.2.5	Systemische Ursachen und Wechselwirkungen .....	54
3.1.2.6	Fazit und strategische Einordnung .....	54
3.1.3	Ableitung erster Handlungsempfehlungen .....	55
3.1.3.1	Struktur- und Layoutoptimierung .....	56
3.1.3.2	Prozessoptimierungen im internen Transport .....	56
3.1.3.3	Organisatorische Maßnahmen und Personalentwicklung.....	57
3.2	Konzeption innerbetrieblicher Transportwegeoptimierung .....	58

3.2.1	Definition von Optimierungszielen und Optimierungskriterien.....	58
3.2.1.1	Effizienzsteigerung durch Reduzierung unnötiger Wege und Transportbewegungen..	59
3.2.1.2	Vereinfachung und Standardisierung der Abläufe .....	60
3.2.1.3	Erhöhung der Transparenz über Materialbewegungen und Bestände .....	60
3.2.1.4	Minimierung von Suchzeiten und Fehlzweisungen .....	61
3.2.1.5	Reduzierung von Warte- und Standzeiten sowie Engpässen an Kreuzungspunkten...	61
3.2.1.6	Optimale Nutzung logistischer und personeller Ressourcen .....	61
3.2.1.7	Zusammenfassung der Optimierungsziele und -kriterien.....	62
3.2.2	Entwurf alternativer Wegführungs- und Layoutvariante .....	63
3.2.2.1	Zielbild und Grundkonzept.....	63
3.2.2.2	Fazit.....	66
3.2.3	Bewertung der Variante anhand logistischer Kennzahlen.....	66
3.2.3.1	Bewertungsergebnisse .....	66
3.2.3.2	Quantitativer Vergleich Ist vs. Soll.....	68
3.2.3.3	Interpretation der Ergebnisse .....	68
3.2.3.4	Strategische Einordnung .....	68
3.2.4	Maßnahmenplan und Umsetzungsvorschläge .....	69
3.2.4.1	Implementierung des Vier-Zonen-Layouts in Zelt 2 .....	69
3.2.4.2	Verlagerung von Lagerbeständen .....	69
3.2.4.3	Schulung der Mitarbeitenden und Change Management.....	70
3.2.4.4	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP) .....	70
3.2.4.5	Langfristige Perspektive .....	71
3.2.4.6	Fazit:.....	71
3.3	Konzeption einer Radio Frequency Identification-Lösung.....	71
3.3.1	Systemarchitektur und Komponenten .....	71
3.3.1.1	Übergeordnete Systemstruktur .....	71
3.3.1.2	Hardwarekomponenten und Infrastruktur.....	72
3.3.1.3	Softwarearchitektur.....	72
3.3.1.4	Mengengerüst und Dimensionierung .....	73
3.3.1.5	Sicherheits- und Skalierungsaspekte .....	73
3.3.2	Konzept der Einbindung in Prozessabläufe.....	73
3.3.2.1	Wareneingang .....	73
3.3.2.2	Einlagerung .....	73
3.3.2.3	Kommissionierung und Bereitstellung .....	73
3.3.2.4	Umlagerungen und Sondertransporte.....	74
3.3.2.5	Datenfluss und Schnittstellenkonzept .....	74
3.3.2.6	Erwartete Prozessvorteile.....	74
3.3.3	Konzept der stationären Umsetzung .....	74
3.3.3.1	Geplante Lesepunkte .....	74
3.3.3.2	Technische Auslegung .....	75
3.3.3.3	Weiterentwicklungsperspektive .....	75

3.3.4	Zusammenfassung und Bewertung .....	75
4	Fazit und Ausblick .....	76
4.1	Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse .....	76
4.2	Empfehlungen für den Regelbetrieb .....	76
4.3	Potenziale für weiterführende Forschung .....	77
	Literatur- und Promptverzeichnis .....	78
	Abbildungsverzeichnis .....	80
	Tabellenverzeichnis .....	81
	Abkürzungsverzeichnis .....	82

# 1 EINLEITUNG

Eine zunehmende Komplexität innerbetrieblicher Materialflüsse stellt produzierende Unternehmen vor neue Herausforderungen. Kürzere Lieferzeiten, steigende Variantenvielfalt aber auch die Notwendigkeit an Transparenz und Rückverfolgbarkeit verändern die Anforderungen an bestehende logistische Strukturen. Klassische Abläufe geraten dabei an ihre Grenzen.<sup>1</sup>

Ausgangspunkt dieser Arbeit ist die veränderte logistische Ausgangslage eines mittelständischen Industriebetriebes durch die Inbetriebnahme einer neuen Laserschneidlinie. Mit dem Übergang von extern bezogenen Laserschneidlinien zur Eigenfertigung verändern sich sowohl die Materialflüsse als auch die Anforderungen an Lagerung, Versorgung und Informationsverarbeitung. Die zuvor linearen Versorgungsprozesse werden durch interne, mehrstufige Materialkreisläufe ersetzt, was die Taktfrequenz erhöht, klare Prozessgrenzen erfordert und eine digitale Abbildung notwendig macht.

Im Fokus der Arbeit steht eine strukturierte Analyse der bestehenden Transportprozesse sowie die Entwicklung eines optimierten Layouts der Lagerflächen. Ziel ist es, Ansatzpunkte für einen verbesserten innerbetrieblichen Transportablauf zu identifizieren und Handlungsempfehlungen aufzuzeigen. Neben der physischen Wegeführung werden auch organisatorische Aspekte sowie die Einbindung digitaler Technologien berücksichtigt.

Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf dem Einsatz von Identifikationstechnologien wie Radio Frequency Identification (RFID), mit deren Hilfe Buchungsprozesse automatisiert, Materialbewegungen in Echtzeit nachvollzogen und Schnittstellen im Prozess reduziert werden können. Die Arbeit versteht sich dabei als praxisorientierter Beitrag zur Gestaltung robuster und zukunftsfähiger Intralogistikprozesse unter Berücksichtigung betrieblicher Rahmenbedingungen und technischer Möglichkeiten.<sup>2</sup>

## 1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Die innerbetriebliche Logistik eines Unternehmens ist oftmals das Ergebnis gewachsener Strukturen, welche über Jahre hinweg durch pragmatische Anpassungen weiterentwickelt wurden. Diese historisch gewachsenen Prozesse erfüllen in stabilen Umfeldern ihre Funktion, sie zeigen aber Schwächen, sobald sich zentrale Rahmenbedingungen ändern. Im vorliegenden Fall liegt der Auslöser für eine tiefgreifende Veränderung in der Inbetriebnahme einer neuen Laserschneidlinie. Diese Veränderung verschiebt den logistischen Engpass vom externen Wareneingang hin zu einem internen, hochfrequenten Materialkreislauf, welcher neue Anforderungen an Struktur, Flexibilität und Transparenz stellt.

Die bisherige Lager- und Transportstruktur ist auf die Versorgung aus extern bezogenen, vorkommissionierten Blechzuschnitten ausgerichtet. Mit der Umstellung auf eine interne Blechbearbeitung entstehen deutlich dynamischere Materialflüsse, die sich durch häufige Teillose, wechselnde Blechstärken und eine geringere Vorlaufzeit auszeichnen. Das bestehende Zwischenlager ist für diese neue Prozesslandschaft weder in seiner Layoutstruktur noch in seiner IT-gestützten Nachverfolgbarkeit ausreichend vorbereitet. Es

---

<sup>1</sup> Vgl. Günthner/Klenk/Durchholz/Boppert (2013) S. 162 ff

<sup>2</sup> Vgl. Fleisch/Mattern (2005) Vorwort

kommt zu doppelten Umlagerungen, Suchzeiten durch unklare Stellplatzlogik sowie zu Engpässen an definierten Übergabepunkten.

Ziel dieser Arbeit ist es, Optimierungspotentiale der innerbetrieblichen Logistik zu identifizieren und konkrete Maßnahmen zur Effizienzsteigerung abzuleiten. Im Fokus steht dabei die Neustrukturierung des Zwischenlagers sowie die Konzeption lagerinterner Informationsflüsse, welche durch den Einsatz von RFID-Technologie eine lückenlose Rückverfolgbarkeit ermöglicht.

Die angestrebte Lösung umfasst technische als auch organisatorische Maßnahmen. Einerseits gilt es, Wegeführungen zu optimieren, Kreuzungspunkte zu reduzieren und Stellplätze systemseitig zu definieren. Andererseits sollen durch die Einführung automatisierter Identifikationsprozesse mit menschlichen Fehlerquellen reduziert, Buchungsprozesse automatisiert und Durchlaufzeiten verkürzt werden. Die Arbeit versteht sich somit als praxisorientierter Beitrag zur Digitalisierung und strukturellen Neuausrichtung der Intralogistik.

## 1.2 Forschungsfrage und Abgrenzung

Um eine fundierte und zielgerichtete Analyse der innerbetrieblichen Transportprozesse sowie die darauf aufbauende Entwicklung eines optimierten Lagerlayouts inklusive digitaler Identifikationstechnologien sicherzustellen, werden im Rahmen dieser Arbeit folgende zentrale Forschungsfragen untersucht:

- Wie kann ein strukturiertes Zonenkonzept im Zwischenlager dazu beitragen, Transportwege zu verkürzen und die Prozesssicherheit zu erhöhen?
- Welche organisatorischen und technischen Schwachstellen erschweren derzeit die Effizienz des innerbetrieblichen Materialflusses?
- Welche Anforderungen ergeben sich aus der Einführung einer Laserschneidlinie für die intralogistischen Prozesse hinsichtlich Kapazität, Flexibilität und Transparenz?
- Wie kann eine Lösung auf Basis von Radio Frequency Identification gestaltet werden, um innerbetriebliche Materialbewegungen automatisiert und zuverlässig zu erfassen?
- Welche Kriterien sind entscheidend für die Bewertung und Auswahl von Umsetzungsszenarien im Hinblick auf logistische Kennzahlen und digitale Integrationsfähigkeit?

Diese Forschungsfragen bilden die Leitlinie für das methodische Vorgehen sowie die Konzeption und Bewertung der vorgeschlagenen Optimierungsmaßnahmen. Im Vordergrund steht dabei die Anwendbarkeit der entwickelten Lösungen im betrieblichen Alltag.

Die Betrachtung in dieser Arbeit fokussiert sich explizit auf die innerbetriebliche Logistik innerhalb des Produktionsstandortes, insbesondere auf die Lagerbereiche sowie die damit verbundenen Transportverbindungen zur Fertigung. In den Untersuchungsrahmen eingeschlossen sind Lagerstruktur, Prozessabläufe im internen Transport, Kommissionierung und die systemische Erfassung von Materialbewegungen.

Nicht Bestandteil der Analyse sind hingegen externe logistische Prozesse wie die Wareneingangslogistik, Warenausgangslogistik, der Versand oder übergreifende Supply-Chain-Aspekte. Ebenfalls nicht im Fokus

stehen betriebswirtschaftliche Fragestellungen der Investitionsbewertung oder vollumfängliche IT-Integrationsprojekte. Der Fokus liegt vielmehr auf der methodisch gestützten Entwicklung und prototypischen Umsetzung eines konkreten innerbetrieblichen Optimierungskonzepts.

### **1.3 Methodisches Vorgehen**

Die Vorgehensweise dieser Arbeit folgt einem klar strukturierten Ablauf, der sich von einer fundierten theoretischen Auseinandersetzung bis hin zur praxisorientierten Konzeptentwicklung erstreckt. Zu Beginn steht eine umfassende Literaturrecherche, um den aktuellen Stand der Wissenschaft im Bereich der Intra-logistik, der innerbetrieblichen Transportwege sowie im Kontext der digitalen Identifikationstechnologien – insbesondere der Radio Frequency Identification – systematisch aufzuarbeiten. Berücksichtigt werden hierbei neben klassischen Fachpublikationen auch anwendungsnahe Studien, branchenspezifische Leitfäden und relevante Normen. Ziel dieser ersten Phase ist es, ein solides theoretisches Fundament zu schaffen, auf dem die weiteren Arbeitsschritte aufbauen können.

Auf Basis der theoretischen Erkenntnisse werden im nächsten Schritt methodische Bausteine abgeleitet, die als Bezugsrahmen für die nachfolgende Analyse und Gestaltung dienen. Hierzu zählen unter anderem geeignete Verfahren zur Datenerhebung, wie Prozessmapping und strukturierte Transportprotokolle, sowie Ansätze zur Bewertung logistischer Systeme anhand von Kennzahlen. Die Übertragung theoretischer Modelle in ein praktisches Anwendungsumfeld erlaubt es, die spezifischen Herausforderungen des betrachteten Unternehmens gezielt zu analysieren und relevante Kriterien für die Optimierung zu definieren.

Darauf aufbauend wird im Unternehmen der Ist-Zustand der Transportprozesse erhoben. Durch Beobachtungen, Interviews mit Mitarbeitenden sowie die systematische Auswertung realer Transportdaten werden ineffiziente Strukturen, Engpässe und organisatorische Schwächen identifiziert. Aus diesen Erkenntnissen wird ein Konzept zur innerbetrieblichen Transportwegeoptimierung entwickelt, das neben der Neugestaltung des Lagerlayouts auch die Definition von Optimierungszielen, die Ausarbeitung alternativer Wegführungen sowie die Bewertung dieser Varianten anhand logistischer Kennzahlen umfasst. Die Entwicklung eines Maßnahmenplans bildet dabei die Grundlage für die spätere Umsetzung.

Ein integraler Bestandteil dieses Konzepts ist die Konzeption einer digitalen Lösung zur automatisierten Materialverfolgung. Auf Basis der zuvor identifizierten Schwachstellen wird ein Radio Frequency Identification-System entworfen, das durch eine prototypische Implementierung im Lagerbereich validiert wird. Ziel ist es, eine transparente und fehlerfreie Rückverfolgbarkeit der internen Materialbewegungen zu ermöglichen und dadurch sowohl die Prozesssicherheit als auch die Effizienz der logistischen Abläufe signifikant zu steigern.

In Summe verfolgt das methodische Vorgehen einen ganzheitlichen Ansatz, der Theorie und Praxis eng miteinander verknüpft, um eine tragfähige und übertragbare Lösung für die Herausforderungen der innerbetrieblichen Logistikgestaltung zu entwickeln.

## 1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Masterarbeit gliedert sich in sieben inhaltliche Hauptkapitel, die systematisch aufeinander aufbauen und einen durchgängigen roten Faden verfolgen – von der Einführung in die Problemstellung über die theoretische Fundierung bis hin zur praxisorientierten Konzeptentwicklung und Umsetzung.

Nach der Einleitung, in der die Ausgangssituation, die Zielsetzung und die zentralen Forschungsfragen definiert werden, folgt im zweiten Kapitel eine umfassende Auseinandersetzung mit den theoretischen Grundlagen der innerbetrieblichen Transportwegeoptimierung. Neben den Grundbegriffen der Intralogistik werden dabei auch etablierte Materialflussmodelle sowie relevante Verfahren und Methoden zur Optimierung von Transportwegen vorgestellt. Ergänzt wird dieser Abschnitt durch eine Einordnung logistischer Effizienzkennzahlen, welche später als Bewertungsmaßstab für die entwickelten Varianten herangezogen werden. Abschließend werden methodische Rahmenbedingungen und typische Herausforderungen bei der Implementierung intralogistischer Maßnahmen behandelt.

Im dritten Kapitel steht die praxisorientierte Konzeptentwicklung im Vordergrund. Ausgehend von einer detaillierten Analyse des Ist-Zustandes im Unternehmen werden zunächst die aktuellen Transportprozesse erfasst, visualisiert und hinsichtlich ihrer Schwachstellen bewertet. Auf dieser Basis erfolgt die Ableitung erster Handlungsempfehlungen, bevor ein umfassendes Optimierungskonzept erarbeitet wird. Dieses umfasst die Definition konkreter Zielgrößen, den Entwurf alternativer Layout- und Wegführungskonzepte sowie deren Bewertung anhand zuvor definierter logistischer Kennzahlen. Zusätzlich wird ein Maßnahmenplan zur schrittweisen Umsetzung erstellt. Ein besonderer Schwerpunkt liegt in diesem Zusammenhang auf der Konzeption einer Lösung zur automatisierten Materialverfolgung mittels Radio Frequency Identification. Die Systemarchitektur, Einbindung in bestehende Prozessabläufe sowie die prototypische Implementierung werden dabei im Detail ausgearbeitet.

Kapitel vier stellt das Unternehmen vor, in dem die Arbeit verankert ist. Neben einem Überblick über das Unternehmensprofil und die Organisationsstruktur werden auch die logistischen Rahmenbedingungen und der aktuelle Supply-Chain-Prozess skizziert. Zudem wird die Rolle der Masterarbeit innerhalb des betrieblichen Projektkontextes beschrieben.

Im fünften Kapitel werden die zentralen Ergebnisse zusammengefasst und hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Effizienz, Transparenz und digitale Reife der innerbetrieblichen Logistik bewertet. Der Fokus liegt hierbei auf der Darstellung des Nutzenpotenzials sowie der Ableitung von Empfehlungen für den Regelbetrieb und mögliche Skalierungsoptionen.

Den Abschluss der Arbeit bildet ein Ausblick auf weiterführende Forschungsschritte und potenzielle Entwicklungspfade, welche sich aus den gewonnenen Erkenntnissen ergeben.

Im nächsten Kapitel werden nun die theoretischen Grundlagen der innerbetrieblichen Transportwegeoptimierung behandelt. Sie bilden den Rahmen, um die praktischen Herausforderungen in einem fundierten wissenschaftlichen Kontext zu verorten und schaffen die Basis für die spätere Konzeptentwicklung.

## 1.5 Unternehmensvorstellung

Die Springer Maschinenfabrik GmbH mit Hauptsitz in Friesach (Österreich) ist ein international tätiges Familienunternehmen, das sich auf die Entwicklung und Herstellung innovativer Lösungen für die Holzverarbeitende Industrie spezialisiert hat. Seit der Gründung im Jahr 1952 steht das Unternehmen für höchste Qualität, technologische Innovationskraft und maßgeschneiderte Systemlösungen. Das Leistungsportfolio reicht vom Fördern, Sortieren und Qualifizieren von Holz bis hin zur vollautomatisierten Materialflussteuerung – immer mit dem Ziel, die Produktivität und Nachhaltigkeit der Kunden weltweit zu steigern.<sup>3</sup>

Am Hauptstandort in Friesach sind rund 350 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beschäftigt. Insgesamt zählt das Unternehmen über alle fünf Standorte hinweg rund 500 Mitarbeitende. Der hohe Anteil an Eigenfertigung, die enge Verzahnung von Mechanik, Elektrik und Software sowie die kundenspezifische Projektentwicklung zeichnen die Springer Maschinenfabrik als kompetenten Partner für hochautomatisierte Anlagen aus.<sup>4</sup>

Die Organisationsstruktur des Unternehmens folgt einem prozessorientierten Aufbau. Im Zentrum steht das Supply Chain Management, welches die logistischen und qualitätsbezogenen Kernfunktionen des Unternehmens in sich vereint. Innerhalb dieses Bereichs sind zwei Hauptsäulen etabliert: einerseits die Beschaffungs- und Betriebslogistik, andererseits die Auslieferungslogistik. Die Beschaffungs- und Betriebslogistik umfasst die Einkaufsabteilung, die interne Lager- und Transportlogistik sowie das Qualitätsmanagement. Die Auslieferungslogistik gliedert sich in die Verantwortung für den Versand fertiger Anlagenkomponenten. Die Umsetzung des hier beschriebenen Projekts erfolgt federführend im Bereich des Supply Chain Managements und ist direkt in die operative Verantwortung dieses Funktionsbereichs eingebettet.

Im folgenden Abschnitt werden die spezifischen logistischen Rahmenbedingungen sowie der innerbetriebliche Supply Chain Prozess am Standort Friesach beschrieben, um das betriebliche Umfeld der Masterarbeit präzise einzuordnen.

### 1.5.1 Logistische Rahmenbedingungen und Supply Chain Prozess

Die logistischen Rahmenbedingungen am Standort Friesach der Springer Maschinenfabrik GmbH sind geprägt durch eine komplexe und fein abgestimmte Lager- und Materialflussstruktur, die im Kontext zunehmender Eigenfertigung fortlaufend weiterentwickelt wird. Der Materialfluss erstreckt sich über mehrere Lagerarten: Neben einem Zentrallager (Halle 4) existieren dezentrale Lagerflächen sowie diverse Pufferzonen und Zwischenlager. Dazu zählen insbesondere Zelt 1 und Zelt 2, der Mittelgang neben der Halle 2 und spezifische Rohmateriallager, die sich in unmittelbarer Nähe zur Fertigung befinden.

Der typische Ablauf eines Materialflusses beginnt im Wareneingang, wo die angelieferte Ware zunächst geprüft, systemisch erfasst und eingelagert wird. Abhängig vom Bestimmungsort wird das Material entweder in das Zentrallager überführt oder direkt an definierte Übergabepunkte weitergeleitet, etwa zum Wareneingang Halle 8 oder zur Laserschneidanlage in Zelt 1. Für spezifische Rohmaterialien – etwa Bleche

---

<sup>3</sup> Vgl. Springer, Online-Quelle [13.09.2025]

<sup>4</sup> Vgl. Springer, Online-Quelle [13.09.2025]

für die Eigenfertigung – erfolgt eine direkte Zuweisung in die Rohmateriallagerzonen nahe der Fertigungsbereiche.

Die intralogistischen Transportbewegungen spielen eine zentrale Rolle in der operativen Abwicklung. Sie verbinden nicht nur Lager- und Fertigungsbereiche, sondern sind maßgeblich für die Versorgungssicherheit, die Einhaltung von Taktzeiten und die Reduktion nichtwertschöpfender Wege. Ein Großteil der Transporte erfolgt dabei zwischen Lagerzonen (z.B. Zelt 2 als zentrales Zwischenlager) und produktionsnahen Bereichen wie Halle 3, Halle 5 oder Halle 8. Der gesamte Ablauf vom Wareneingang über Einlagerung, Kommissionierung und internen Transport bis hin zur Fertigung und schließlich zum Versand folgt einem sequenziellen, aber häufig durch Umlagerungen unterbrochenen Prozess.

Als digitale Infrastruktur dienen ein etabliertes ERP-System, mobile Scanner sowie Tablets zur Buchung und Rückmeldung logistischer Vorgänge. Dennoch bestehen Herausforderungen, die sich im Projektverlauf als kritisch herausgestellt haben. Dazu zählen insbesondere eine heterogene Datenlage, eine hohe Diversität an Bauteilen, knappe IT-Ressourcen sowie eine steigende Tiefe der Eigenfertigung. Diese Faktoren erschweren eine durchgängige Nachverfolgbarkeit von Materialflüssen und führen zu Ineffizienzen – etwa in Form von Suchzeiten, doppelten Umlagerungen oder fehlender Buchungsdisziplin.

Die Einführung einer Laserschneidanlage in Halle 5 hat den internen Materialfluss grundlegend verändert: An die Stelle externer Fertigungszuschnitte treten nun verschiedene Blechstärken, die intern verarbeitet werden müssen. Dies erforderte eine Neuverteilung der Lagerfunktionen, insbesondere im Zwischenlager Zelt 2, das nun als zentrales Drehkreuz für die interne Kommissionierung und Bereitstellung fungiert. Die geplante Reorganisation in vier klar definierten Lagerzonen – Wareneingang, Kommissionierung, Kommissionierung und Bereitstellung – soll den steigenden Palettendurchsatz auffangen und zugleich die Prozesssicherheit erhöhen.

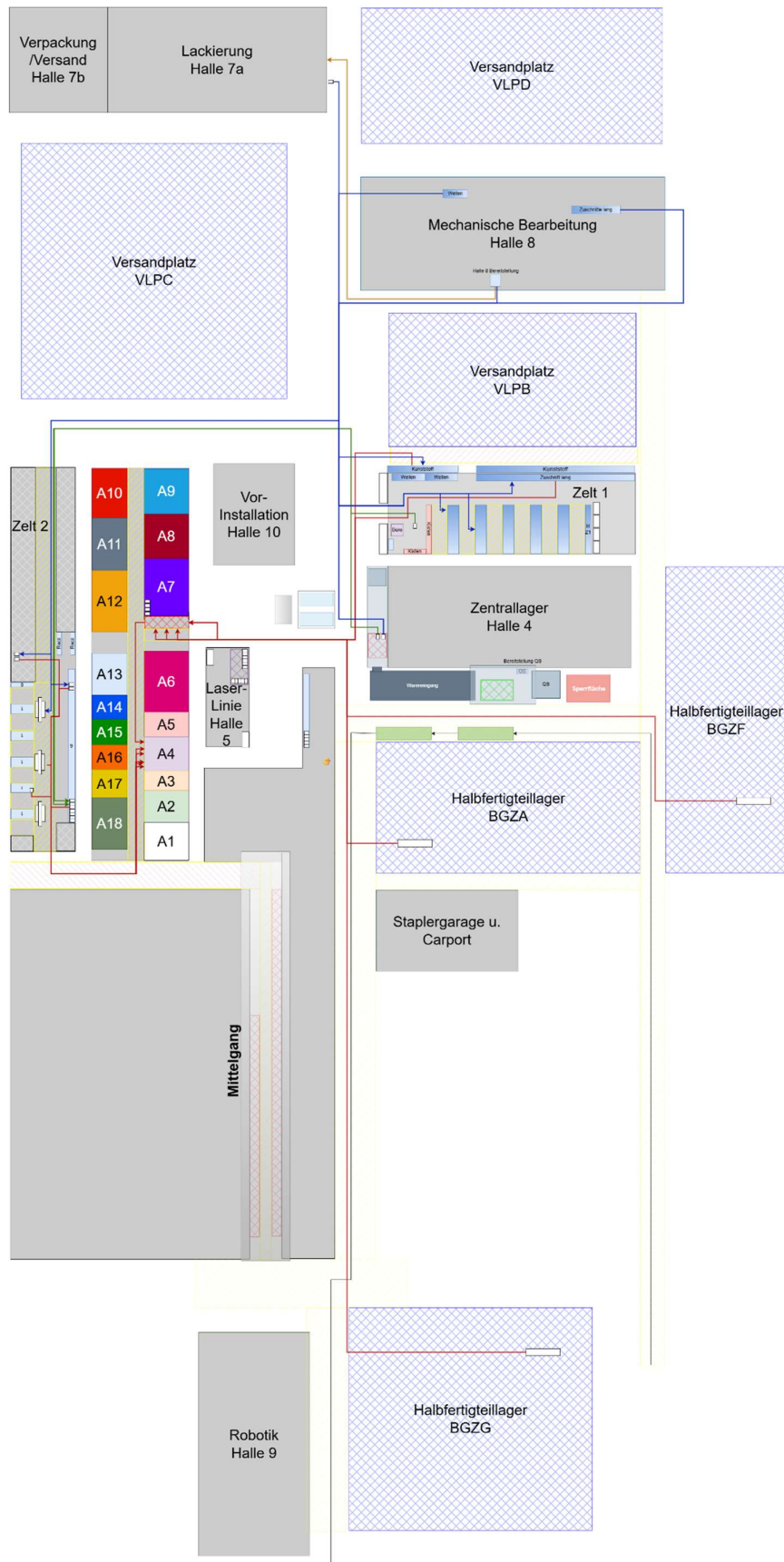


Abbildung 1: Iststand Warenfluss

Die farbigen Linien spiegeln dabei die jeweiligen Transportwege wider:



Abbildung 2: Farblegende Transportwege

Die oben beschriebenen Gegebenheiten bilden die Grundlage für das Projekt, das im Rahmen dieser Masterarbeit entwickelt und umgesetzt wird. Im folgenden Abschnitt wird die Rolle der Masterarbeit im betrieblichen Projektkontext eingeordnet, um die Verbindung zwischen theoretischer Analyse und operativer Praxis herzustellen.

### 1.5.2 Rolle der Masterarbeit im Projektkontext

Die vorliegende Masterarbeit wurde im Zuge eines strategischen Transformationsprozesses initiiert, der mit der Einführung einer Laserschneidanlage und der damit verbundenen Rückwärtsintegration in die eigene Wertschöpfungskette seinen Ausgangspunkt nahm. Die dadurch veränderten Materialflüsse und die steigenden Anforderungen an Flexibilität, Taktung und Nachverfolgbarkeit innerhalb der innerbetrieblichen Logistik machten eine grundsätzliche Neuausrichtung des bestehenden Lager- und Transportkonzepts erforderlich.

Im Rahmen des übergeordneten Projekts „Logistikkonzept neu“, das als Teil der langfristigen Unternehmensstrategie „SPRINGER 2030“ verankert ist, übernimmt diese Masterarbeit eine zentrale Rolle in der Analyse, Konzeptentwicklung und prototypischen Erprobung neuer logistischer Strukturen. Die Bearbeitung umfasst dabei sowohl die systematische Erhebung des Ist-Zustandes als auch die Entwicklung eines optimierten Layouts für das Zwischenlager sowie die Konzeption und erste Implementierung einer Lösung zur automatisierten Materialverfolgung. Die Arbeit dient somit nicht nur als theoretisch fundierte Analyse, sondern auch als Proof-of-Concept zur praktischen Erprobung zukünftiger Prozessstandards.

Im Projektverlauf waren mehrere zentrale Unternehmensbereiche aktiv eingebunden – insbesondere die Lagerlogistik, die Fertigung sowie die IT-Abteilung. Diese interdisziplinäre Zusammenarbeit ermöglichte eine realitätsnahe Entwicklung der Konzepte und deren pragmatische Bewertung im betrieblichen Alltag.

Die Ergebnisse dieser Masterarbeit erfüllen mehrere Funktionen innerhalb der Organisation: Einerseits dienen sie als fundierte Entscheidungsgrundlage für mögliche Folgeinvestitionen im Bereich der Lagerstruktur und digitalen Nachverfolgbarkeit. Andererseits stellen sie ein Pilotprojekt dar, mit dem geprüft werden soll, ob sich die angestrebten Effizienzgewinne – wie etwa die Reduktion von Suchzeiten und Fehlteilen – tatsächlich realisieren lassen. In Summe trägt die Arbeit somit maßgeblich zur strategischen Weiterentwicklung der innerbetrieblichen Logistik bei.

Im folgenden Kapitel werden die theoretischen Grundlagen der innerbetrieblichen Transportwegeoptimierung behandelt, um die konzeptionellen Überlegungen dieser Arbeit in einen wissenschaftlichen Kontext einzubetten und methodisch abzustützen.

## 2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN DER INNERBETRIEBLICHEN TRANSPORTWEGEOPTIMIERUNG

Die Logistik verfolgt einen ganzheitlichen, systemischen Ansatz zur Optimierung von Fließsystemen, wobei insbesondere Materialflusssysteme im Fokus stehen, die sich über einzelne Systemgrenzen hinweg erstrecken.<sup>5</sup> Ziel ist es, durch eine durchdachte Gestaltung der Systeme eine definierte Funktionalität unter minimalem Ressourceneinsatz sicherzustellen.<sup>6</sup> Die Optimierung betrifft typischerweise Aspekte wie den Materialfluss, die Auslastung vorhandener Kapazitäten, die Länge und Effizienz von Transportwegen oder die Belegung technischer Anlagen.

Im Mittelpunkt logistischer Planungs- und Steuerungsprozesse steht die Herausforderung, ein Logistiksystem so zu gestalten, zu dimensionieren und zu betreiben, dass gegebene Leistungsanforderungen unter vorgegebenen Restriktionen in einem wirtschaftlich optimalen Rahmen erfüllt werden können.<sup>7</sup> Besonders in großflächigen betrieblichen Strukturen eröffnen sich hierbei beträchtliche Potenziale zur Effizienzsteigerung – insbesondere bei manuellen, un stetigen Transportsystemen wie dem Staplerverkehr.<sup>8</sup>

Ein zentrales Optimierungsprinzip ist dabei das sogenannte Beanspruchungsprinzip, welches eine umfassende Betrachtung sämtlicher direkter und indirekter Kosten voraussetzt. Effizienzgewinne lassen sich beispielsweise durch die gezielte Bündelung und vorsortierte Bereitstellung von Transportgütern entlang definierter Touren realisieren, wobei dies zugleich erhöhte Anforderungen an Pufferflächen und Bewegungszonen nach sich zieht. Darüber hinaus bieten automatisierte Transportleitsysteme, die auf deterministischen Entscheidungsregeln basieren, ein hohes Maß an Strukturierung und Steuerung für den innerbetrieblichen Transportablauf.<sup>9</sup>

Die Gestaltung und Optimierung intramodaler Transportsysteme, bei denen ein einheitliches Transportmittel von Wareneingang bis Warenausgang eingesetzt wird, stellt dabei einen wesentlichen Bestandteil moderner Logistikplanung dar. Solche Systeme erfordern eine exakte Ermittlung von Transportzeiten und Fahrzeugbedarfen und sind integraler Bestandteil der Auswahl, Anordnung und Verknüpfung geeigneter Betriebsmittel und Anlagentechniken. Ziel dieser Planung ist die Realisierung eines robusten und wirtschaftlichen Gesamtsystems.<sup>10</sup>

Zur erfolgreichen Umsetzung solcher Vorhaben bedarf es eines methodisch fundierten, systematischen Vorgehens. Ausgangspunkt bildet stets die klare Definition der Aufgabenstellung, die präzise Festlegung der Zielgrößen sowie die Abgrenzung des relevanten Systems unter Berücksichtigung bestehender Rahmenbedingungen. Langfristigkeit, Flexibilität, Nachvollziehbarkeit sowie eine überprüfbare und verbindliche Umsetzung gelten als zentrale Anforderungen an einen nachhaltigen Planungsprozess.

Im nachfolgenden Kapitel wird auf die Grundlagen der Intralogistik und auf Materialflussmodelle näher eingegangen.

---

<sup>5</sup> Vgl. Willibald Günthner (2011) S. 207

<sup>6</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 293

<sup>7</sup> Vgl. Willibald Günthner (2011) S. 206

<sup>8</sup> Vgl. Hohmann (2022) S. 6

<sup>9</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 187 ff

<sup>10</sup> Vgl. Schuh/Stich (2013) S.143

## 2.1 Grundlagen der Intralogistik und Materialflussmodelle

Der Begriff des Materialflusses lässt sich in der Fachliteratur unterschiedlich definieren und ist in seiner Bedeutung stark vom jeweiligen Anwendungskontext abhängig. Im betrieblichen Umfeld umfasst der Begriff alle physischen Bewegungen von Gütern innerhalb eines Unternehmens sowie deren Wechselwirkungen mit der zugehörigen Informationsverarbeitung.<sup>11</sup> In der Praxis wird zwischen dem externen Güterfluss – also der Bewegung von Waren zwischen unterschiedlichen Unternehmen entlang der Lieferkette – und dem internen, innerbetrieblichen Materialfluss unterschieden.<sup>12</sup> Letzterer stellt das zentrale Untersuchungsfeld im Rahmen dieser Arbeit dar.

Die Materialflusstechnik konzentriert sich im Kern auf jene Teilprozesse, die innerhalb der Unternehmensgrenzen stattfinden. Sie umfasst insbesondere die innerbetriebliche Beförderung, den Umschlag und die Lagerung von Materialien, Bauteilen und Produkten – von der Anlieferung über verschiedene Verarbeitungsschritte bis hin zur Bereitstellung für den Versand. In diesem Zusammenhang werden sämtliche Transport-, Umschlags- und Lagerprozesse als eine funktionale Einheit verstanden, deren Ziel eine effektive, sichere und möglichst ressourcenschonende Versorgung der nachgelagerten Prozesse ist.<sup>13</sup> Die Gesamtheit dieser Aktivitäten bildet das Rückgrat der Intralogistik.

Intralogistik ist ein integraler Bestandteil der Unternehmenslogistik und hat zum Ziel, sämtliche innerbetrieblichen Material- und Informationsflüsse ganzheitlich zu gestalten, zu steuern und kontinuierlich zu verbessern.<sup>14</sup> Sie verbindet die operativen Funktionsbereiche eines Betriebs – von der Lagerwirtschaft über die Produktion bis hin zur Qualitätssicherung – durch ein fein abgestimmtes System innerbetrieblicher Transportflüsse. Zu den wesentlichen Aufgaben zählen neben dem eigentlichen Transportieren auch das Sortieren, Puffern, Kommissionieren und Bereitstellen. Maßgebend ist dabei die Sicherstellung der Materialverfügbarkeit bei minimalen Beständen und kurzen Durchlaufzeiten.

Die Disziplin der Logistik ruht auf einem Zusammenspiel dreier grundlegender Perspektiven: einer technischen, einer betriebswirtschaftlichen sowie einer informationstechnischen.<sup>15</sup> Aus technischer Sicht steht der Materialfluss als physischer Prozess im Vordergrund.<sup>16</sup> Dabei werden Betriebsmittel in ihrer Funktionsweise analysiert und auf Effizienz und Zuverlässigkeit hin optimiert. Die betriebswirtschaftliche Perspektive begreift Logistik als integrativen Führungsansatz zur Planung, Gestaltung, Realisierung und Kontrolle effizienter Objektflüsse (Materialien, Informationen, Personen, Kapital) innerhalb eines Unternehmens sowie über Unternehmensgrenzen hinweg.<sup>17</sup> Im Zentrum steht hierbei der wirtschaftliche Einsatz von Ressourcen zur Wertschöpfung. Die dritte Perspektive, die informationstechnische, betrachtet Logistiksysteme als eine Sonderform verteilter Datenverarbeitung, bei der der physische Transport von Gütern eng mit der Bewegung und Verarbeitung entsprechender Steuerungsinformationen verknüpft ist.<sup>18</sup> Diese Perspektiven sind nicht isoliert zu betrachten, sondern greifen in modernen Materialflusssystemen ineinander.

---

<sup>11</sup> Vgl. Franke/Dangelmaier (2006) S. 61 ff

<sup>12</sup> Vgl. Gudehus (2010) S. 7

<sup>13</sup> Vgl. Heinrich (2021) S. 15

<sup>14</sup> Vgl. Hohmann (2022) S. 55

<sup>15</sup> Vgl. Fleisch/Mattern (2005) S. 30

<sup>16</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. VII

<sup>17</sup> Vgl. Willibald Günthner (2011) S. 206

<sup>18</sup> Vgl. Willibald Günthner (2011) S. 285 ff

Die Materialflusslehre hat sich zum Ziel gesetzt, geeignete Modelle zu entwickeln, um die hochkomplexen, oft dynamischen und mehrstufigen Abläufe innerhalb logistischer Systeme analytisch greifbar zu machen. Diese Modelle dienen der strukturierten Abbildung realer Systemverhältnisse in einer abstrahierten Form und ermöglichen so deren systematische Analyse, Bewertung und Optimierung. Hierbei kommen grafische Darstellungen wie Flussdiagramme, Sankey-Diagramme, Wirkmodelle oder Netzpläne ebenso zum Einsatz wie rechnergestützte Modellierungsansätze. Die wesentliche Herausforderung liegt darin, ein Gleichgewicht zwischen Modellvereinfachung und Realitätsnähe zu finden, sodass die Ergebnisse einer Modelluntersuchung mit der tatsächlichen Systemleistung korrelieren.

Ein zentraler Baustein jeder Planung und Modellierung logistischer Systeme ist die fundierte Erhebung des Ist-Zustands.<sup>19</sup> Sie bildet die Grundlage für jede weiterführende Optimierung und umfasst sowohl strukturelle als auch dynamische Daten.<sup>20</sup> Dazu zählen neben Artikel- und Auftragsdaten auch Informationen zu Bewegungsmengen, Transportzyklen, Lagerdauern, Wegezeiten und Ressourcenverfügbarkeiten.<sup>21</sup> Für die Erhebung dieser Daten werden in der Praxis sowohl primäre Methoden – wie Beobachtungen, Zeitstudien oder Interviews – als auch sekundäre Quellen – wie ERP-Auszüge, Layoutpläne oder Systemberichte – herangezogen. Ziel ist es, eine redundanzfreie und aussagekräftige Datengrundlage zu schaffen, die als Basis für fundierte Planungsschritte dient.

Neben der physischen Güterbewegung ist der begleitende Informationsfluss ein weiterer elementarer Bestandteil logistischer Systeme. Die Steuerung und Nachverfolgbarkeit von Materialflüssen ist ohne eine synchrone Informationsverarbeitung nicht möglich.<sup>22</sup> Informationsströme, die gegenläufig zum Materialfluss verlaufen, sind essenziell für das Auslösen und Abstimmen von Produktions- oder Kommissionieraufträgen, für Bedarfsmeldungen sowie für die Reservierung von Ressourcen.<sup>23</sup> Informationen, die im Gleichlauf mit dem Materialfluss verlaufen, dienen zur Kennzeichnung und Begleitung von Gütern hinsichtlich Menge, Inhalt, Zielort oder Zeitvorgaben. Eine transparente und konsistente Informationsbasis ist daher nicht nur ein Beitrag zur Prozesssicherheit, sondern bildet auch die Voraussetzung für eine durchgängige digitale Rückverfolgbarkeit – ein Aspekt, der im Kontext der in dieser Arbeit untersuchten RFID-Technologie eine besondere Relevanz aufweist.<sup>24</sup>

Für die Planung und Dimensionierung von Materialflusssystemen stehen eine Vielzahl etablierter Methoden zur Verfügung.<sup>25</sup> Analytische Verfahren ermöglichen beispielsweise die Berechnung von Kapazitätsgrenzen, die Auslegung von Puffergrößen oder die Ermittlung idealer Transportmengen.<sup>26</sup> Methoden der

---

<sup>19</sup> Vgl. Arnold/Furmans (2019) S. 249

<sup>20</sup> Vgl. Plümer/Steinfatt (2017) S. 93

<sup>21</sup> Vgl. Plümer/Steinfatt (2017) S. 93

<sup>22</sup> Vgl. Fleisch/Mattern (2005) S. 170

<sup>23</sup> Vgl. Otto/Obermaier (2007) S. 8

<sup>24</sup> Vgl. Fleisch/Mattern (2005) S. V

<sup>25</sup> Vgl. Gudehus (2010) S. 67

<sup>26</sup> Vgl. Gudehus (2010) S. 123

Netzwerktheorie und des Operations Research, wie der Dijkstra-Algorithmus oder der Bellman-Ford-Algorithmus, werden zur Optimierung von Transportwegen eingesetzt.<sup>27</sup> Die Bestimmung des optimalen Transportpfades ist dabei häufig Grundlage für die Steuerung automatisierter Systeme oder für die Simulation alternativer Szenarien.<sup>28</sup>

In vielen Anwendungsfällen stößt die analytische Betrachtung jedoch an ihre Grenzen, insbesondere wenn stochastische Einflüsse oder komplexe Interdependenzen vorliegen.<sup>29</sup> In solchen Fällen bietet sich der Einsatz simulationsgestützter Verfahren an. Die Simulation ermöglicht es, reale Prozesse unter kontrollierten Bedingungen nachzubilden und Variantenvergleiche durchzuführen.<sup>30</sup> So können Engpässe, kritische Wechselwirkungen oder ungünstige Ablaufkombinationen frühzeitig identifiziert und vor Inbetriebnahme korrigiert werden. In intralogistischen Projekten ist die Simulation daher ein unverzichtbares Werkzeug zur Absicherung von Layout- und Steuerungskonzepten.<sup>31</sup>

Die Zielsetzung einer innerbetrieblichen Transportwegeoptimierung besteht darin, die Gesamtkosten des internen Güterverkehrs nachhaltig zu senken, dabei jedoch die Versorgungssicherheit und Prozessstabilität aufrechtzuerhalten oder zu verbessern.<sup>32</sup> Um diesem Ziel gerecht zu werden, ist eine umfassende Betrachtung aller Einflussgrößen notwendig. Dazu zählen neben geometrischen Parametern – wie Wegelängen oder Breiten – auch organisatorische, technische und personelle Rahmenbedingungen, etwa der Automatisierungsgrad, die Qualifikation der Mitarbeitenden oder die Verfügbarkeit von Betriebsmitteln. Nur durch eine gesamtheitliche Analyse lassen sich logistische Schwachstellen systematisch aufdecken und konkrete Verbesserungsmaßnahmen ableiten.

Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang digitalen Technologien zu. Automatisierte Identifikationssysteme, wie die in dieser Arbeit eingesetzte RFID-Technologie, ermöglichen eine durchgängige Erfassung und Rückverfolgung von Warenbewegungen.<sup>33</sup> Sie bilden die Grundlage für eine datengetriebene Steuerung innerbetrieblicher Abläufe und eröffnen neue Potenziale in Bezug auf Transparenz, Reaktionsgeschwindigkeit und Planbarkeit. Die konsequente Integration solcher Systeme in das bestehende Intralogistiknetzwerk markiert einen wesentlichen Schritt in Richtung einer zukunftsfähigen, digital gestützten Materialflusssteuerung.<sup>34</sup>

Das folgende Kapitel widmet sich den spezifischen Verfahren und Methoden, die im Rahmen der Transportwegeoptimierung zum Einsatz kommen. Dabei werden sowohl klassische planungsorientierte Ansätze als auch moderne, technologiegestützte Verfahren systematisch dargestellt und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit im Kontext der Intralogistik bewertet.

---

<sup>27</sup> Vgl. Gudehus (2010) S. 831

<sup>28</sup> Vgl. Gudehus (2010) S. 87

<sup>29</sup> Vgl. Hohmann (2022) S. 79

<sup>30</sup> Vgl. Willibald Günthner (2011) S. 163

<sup>31</sup> Vgl. Otto/Obermaier (2007) S. 48

<sup>32</sup> Vgl. Willibald Günthner (2011) S. 227

<sup>33</sup> Vgl. Arnold (2006) S. 229

<sup>34</sup> Vgl. Arnold (2006) S. 273

## 2.2 Verfahren und Methoden zur Transportwegeoptimierung

Die Optimierung technischer Systeme zählt zu den grundlegenden Herausforderungen ingenieurwissenschaftlicher Disziplinen. Ziel ist es, unter Berücksichtigung festgelegter Rahmenbedingungen jene Systemkonfiguration zu identifizieren, die eine gegebene Zielgröße – beispielsweise Kosten, Zeit oder Ressourceneinsatz – minimiert oder maximiert.<sup>35</sup> Im Zentrum steht dabei die gezielte Auswahl oder Kombination von Entscheidungsvariablen, mit denen das bestmögliche Ergebnis innerhalb eines definierten Lösungsraums erzielt werden kann. Die Optimierung erfolgt auf der Grundlage mathematisch-logischer Zusammenhänge, wobei sowohl deterministische als auch stochastische Verfahren Anwendung finden.<sup>36</sup>

Im Kontext der Logistik wird Optimierung primär mit der Gestaltung effizienter Flüsse von Gütern, Informationen und Ressourcen assoziiert.<sup>37</sup> Innerhalb des Unternehmens rückt dabei insbesondere die Transportwegeoptimierung in den Fokus.<sup>38</sup> Sie stellt ein zentrales Aufgabenfeld der Intralogistik dar, da sie unmittelbar auf die Reduktion nichtwertschöpfender Tätigkeiten und somit auf eine Senkung der Gesamtkosten abzielt. Transportwege, die innerhalb eines Betriebs durch manuelle oder automatisierte Fördermittel zurückgelegt werden, verursachen erhebliche Aufwendungen – nicht nur in Form von Energieverbrauch und Personalbindung, sondern auch durch Zeitverluste, Flächenbedarf und potenzielle Fehlerquellen bei der Warenverfolgung.<sup>39</sup>

Die Optimierung innerbetrieblicher Transportstrukturen verfolgt daher das Ziel, die räumliche und zeitliche Anordnung logistischer Prozesse so zu gestalten, dass ein reibungsloser, bedarfsgerechter und kostenminimaler Ablauf gewährleistet ist. Dabei stehen zwei Wirkmechanismen im Vordergrund: Zum einen die Reduktion der Wegelängen – also die physische Verkürzung der Transportstrecken durch gezielte Layoutplanung und funktionale Zuordnung von Lager- und Arbeitsplätzen. Zum anderen die Reduktion der Transporthäufigkeit – etwa durch Bündelung, Pufferung oder Umgestaltung der Kommissionier- und Bereitstellungsprozesse.<sup>40</sup>

Die Optimierung solcher Transportwege setzt eine exakte Kenntnis der bestehenden Abläufe und Einflussgrößen voraus. Neben den geometrischen Gegebenheiten des Betriebsgeländes fließen auch Prozessdaten, Transportvolumina, Bewegungsprofile und Kapazitätsgrenzen in die Planung ein. Besonders in hochfrequentierten Bereichen, wie sie in der vorliegenden Arbeit anhand des Zeltlagers analysiert werden, kann bereits eine geringfügige Optimierung der Wegeführung spürbare Auswirkungen auf die Gesamtleistung des Systems haben.<sup>41</sup>

Darüber hinaus eröffnet die Kombination klassischer Planungsansätze mit digitalen Technologien – wie etwa RFID-basierter Ortung und Echtzeitverfolgung – neue Handlungsspielräume in der Steuerung und

---

<sup>35</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 201 ff

<sup>36</sup> Vgl. Gudehus (2010) S. 123 ff

<sup>37</sup> Vgl. Willibald Günthner (2011) S. 205

<sup>38</sup> Vgl. Schuh/Stich (2013) S. 14

<sup>39</sup> Vgl. Plümer/Steinfatt (2017) S. 95

<sup>40</sup> Vgl. Heinrich (2021) S. 2 ff

<sup>41</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 23

Überwachung von Transportvorgängen. Durch die Digitalisierung der Materialflüsse wird eine datenbasierte Optimierung möglich, die nicht nur auf statischen Layouts basiert, sondern dynamisch auf aktuelle Prozesszustände reagieren kann.<sup>42</sup>

Die Optimierung logistischer Prozesse ist ein vielschichtiger Aufgabenbereich, der weit über die reine Wegeverkürzung hinausgeht. Insbesondere im Lagerbetrieb eröffnen sich zahlreiche Handlungsfelder, in denen durch gezielte Maßnahmen sowohl Effizienzsteigerungen als auch strukturelle Verbesserungen realisiert werden können. Diese Aufgabenfelder werden im nächsten Abschnitt systematisch dargestellt.<sup>43</sup>

Darauf aufbauend werden anschließend verschiedene Verfahren zur Lösungsoptimierung vorgestellt, die – abhängig von Problemstruktur und Zielsetzung – zur Anwendung gelangen können. Neben der Auswahl geeigneter Optimierungsmethoden rückt dabei die Bedeutung einer fundierten Datenbasis in den Mittelpunkt. Denn ein belastbarer Informationsfluss stellt das Fundament jeder fundierten Entscheidungsfindung dar.

Abschließend wird der spezifische Beitrag der RFID-Technologie zur Erhöhung der Prozesstransparenz und zur Unterstützung datenbasierter Optimierungsstrategien aufgezeigt. Die automatisierte Erfassung und Echtzeitverfügbarkeit relevanter Bewegungs- und Bestandsdaten bildet hierbei die Grundlage für eine präzise und anpassungsfähige Steuerung intralogistischer Abläufe.

## 2.2.1 Aufgabenfelder der Optimierung im Lagerbetrieb

Innerhalb eines modernen Lagersystems sind zahlreiche Optimierungsaufgaben zu bewältigen, deren gemeinsames Ziel die nachhaltige Steigerung der logistischen Effizienz ist. Diese Aufgabenstellungen reichen von der Steuerung einzelner Transportvorgänge bis hin zur übergreifenden Auftragsdisposition und erfordern ein systematisches Vorgehen sowie den Einsatz geeigneter Methoden zur Entscheidungsunterstützung.<sup>44</sup>

Ein zentrales Feld stellt die innerbetriebliche Transportoptimierung dar. Dabei geht es um die möglichst wirtschaftliche Steuerung aller Transportbewegungen, etwa beim Umlagern von Paletten zwischen verschiedenen Lagerbereichen oder bei der automatisierten Ein- und Auslagerung in Hochregalsystemen. Wesentliche Einflussgrößen sind dabei die Transportmittelwahl, die Kapazität der Lastaufnahmemittel sowie die Struktur des Lagerlayouts. Ein bewährtes Verfahren ist der Einsatz von Mehrfachspielen, bei denen durch die gebündelte Aufnahme mehrerer Transporte pro Fahrt Leerfahrten vermieden und Laufwege minimiert werden. Die Zielsetzung liegt in einer kostenoptimalen Gestaltung der Güterbewegungen, wofür sämtliche Einflussfaktoren wie Transportentfernungen, Umladezeiten, Weghindernisse, Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Prozessen sowie betriebliche Abläufe ganzheitlich betrachtet werden müssen.<sup>45</sup>

Ein weiterer wichtiger Aspekt betrifft die Bildung von Kommissionierreihenfolgen. Diese stellt eine klassische Optimierungsaufgabe dar, die mathematisch als Travelling-Salesman-Problem (TSP) abgebildet werden kann. Ziel ist es, die Entnahmeorte für einen Auftrag so zu sequenzieren, dass die Weglänge für das

---

<sup>42</sup> Vgl. Arnold (2006) S. 268 ff

<sup>43</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 145 ff

<sup>44</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 131 ff

<sup>45</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 131 ff

Kommissionierpersonal oder automatisierte Systeme minimiert wird. Entnahmefächer entsprechen hierbei den anzufahrenden Punkten, während Personal oder Transporttechnik als „Fahrzeuge“ agieren, welche die optimale Route zwischen den einzelnen Entnahmepositionen zurücklegen müssen.<sup>46</sup>

Eng verknüpft damit ist die Routenplanung innerhalb des Lagerlayouts. Diese erfolgt typischerweise über rechnergestützte Fahrzeugsysteme, die auf Grundlage digital hinterlegter Wegekarten und Bewegungsregeln die jeweils kürzeste und effizienteste Route für eine bestimmte Transportaufgabe ermitteln. Die Planung berücksichtigt dabei sowohl statische Informationen wie Gangstrukturen und Fahrregeln als auch dynamische Aspekte wie Staus, Sperrungen oder aktuelle Ressourcenauslastungen.<sup>47</sup>

Ergänzt werden diese Einzeldispositionen durch eine übergeordnete Auftragsplanung, die auch als Batchplanung bezeichnet wird. Ziel ist es, eine sinnvolle Gruppierung von Aufträgen zu bilden, die gemeinsam abgearbeitet werden können, um Wege zu reduzieren und Bearbeitungszeiten zu optimieren. In der Praxis haben sich verschiedene Dispositionsstrategien etabliert. Die auftragsbasierte Disposition fokussiert auf eine logische und zeitliche Optimierung je Einzelauftrag. Die ressourcenbasierte Disposition berücksichtigt darüber hinaus die Verfügbarkeit und Auslastung von Betriebsmitteln und Personal. Bei der operationsbasierten Disposition steht die koordinierte Abfolge einzelner Prozessschritte im Mittelpunkt, was vor allem bei mehrstufigen oder voneinander abhängigen Tätigkeiten von Relevanz ist.<sup>48</sup>

Die Umsetzung dieser Optimierungsaufgaben erfordert den Einsatz geeigneter Methoden, die auf die jeweilige Aufgabenstellung zugeschnitten sind. Neben heuristischen Verfahren kommen dabei zunehmend auch simulationsgestützte und datenbasierte Ansätze zum Einsatz, welche eine praxisnahe und flexible Entscheidungsunterstützung ermöglichen.<sup>49</sup>

Im folgenden Kapitel werden zentrale Verfahren zur Lösungsoptimierung vorgestellt. Diese Methoden bilden die Grundlage für die praktische Umsetzung der zuvor beschriebenen Optimierungsaufgaben und reichen von analytischen Modellen über heuristische Lösungsverfahren bis hin zu simulationsbasierten Ansätzen, die insbesondere bei komplexen und dynamischen Lagersystemen ihre Stärke entfalten.

## 2.2.2 Verfahren zur Lösungsoptimierung

Zur Bewältigung komplexer Optimierungsaufgaben im intralogistischen Umfeld steht eine Vielzahl methodischer Ansätze zur Verfügung. Diese unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Komplexität, Lösungsgenauigkeit sowie der zugrunde liegenden mathematischen Logik. Die Auswahl des jeweils geeigneten Verfahrens erfolgt dabei in Abhängigkeit von der Problemstellung, dem verfügbaren Datenmaterial und den betrieblichen Rahmenbedingungen.<sup>50</sup>

---

<sup>46</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 135

<sup>47</sup> Vgl. Schuh/Stich (2013) S. 283

<sup>48</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 131 ff

<sup>49</sup> Vgl. Gudehus (2010) S. 935

<sup>50</sup> Vgl. Arnold/Furmans (2019) S. 312 ff

## Exakte Verfahren

Exakte Verfahren streben die mathematisch optimale Lösung eines Optimierungsproblems an. Sie untersuchen dabei systematisch alle zulässigen Lösungskombinationen innerhalb eines definierten Suchraumes und garantieren die Auffindung des globalen Optimums. Aufgrund der exponentiell wachsenden Rechenzeiten bei steigender Problemgröße sind exakte Verfahren jedoch nur für kleine bis mittelgroße Anwendungsfälle praktikabel.<sup>51</sup>

Ein klassisches Beispiel stellt das Branch-and-Bound-Verfahren dar. Es basiert auf der Zerlegung des Gesamtproblems in kleinere Teilprobleme, die sukzessive untersucht werden. Dabei werden nicht erfolgversprechende Äste des Entscheidungsbaums frühzeitig ausgeschlossen, um die Lösungsfindung zu beschleunigen. Dieses Verfahren eignet sich besonders für kombinatorische Fragestellungen, wie sie etwa bei der Auftragsreihenfolgeplanung auftreten.<sup>52</sup>

Ein weiterer bedeutender Algorithmus ist der Dijkstra-Algorithmus, der zur Bestimmung kürzester Wege in einem gewichteten Graphen eingesetzt wird. Im Gegensatz zu einer vollständigen Enumeration betrachtet er nur die relevanten Pfade und konstruiert einen minimalen Spannbaum, der alle kürzesten Verbindungen zu einem Startknoten abbildet. In der Transportwegeoptimierung – etwa zur Routenplanung fahrerloser Transportsysteme – stellt dieser Algorithmus ein zentrales Instrument dar.<sup>53</sup>

## Heuristische Verfahren

In der betrieblichen Praxis haben sich heuristische Verfahren etabliert, da sie trotz hoher Komplexität des Ausgangsproblems in vertretbarer Rechenzeit zu verwertbaren Näherungslösungen führen. Diese Verfahren sind besonders dann von Vorteil, wenn eine exakte Optimierung nicht wirtschaftlich oder aufgrund stochastischer Einflüsse nicht möglich ist.<sup>54</sup>

Heuristiken lassen sich in zwei Hauptgruppen unterteilen:

**Eröffnungsverfahren:** Diese generieren initiale, gültige Lösungsansätze, die als Ausgangsbasis für weitere Optimierungsschritte dienen. Ein Beispiel ist das Verfahren des besten Nachfolgers, bei dem stets die nächstgelegene Entnahmestelle angesteuert wird. Bei der Streifenstrategie hingegen wird das Lager in gleich breite Zonen eingeteilt, die systematisch durchlaufen werden, um eine einfache und strukturierte Routenführung zu ermöglichen.<sup>55</sup>

**Verbesserungsverfahren:** Aufbauend auf einer initialen Lösung versuchen diese Verfahren, die Lösung iterativ zu verbessern. Zu den bekanntesten zählen die r-optimalen Verfahren, insbesondere das 2-opt- und 3-opt-Verfahren. Dabei werden durch gezielten Austausch von Kanten in einem Routenplan alternative Sequenzen getestet, mit dem Ziel, die Gesamtlänge der Route zu reduzieren.

Spezifische Heuristiken werden auch bei der Tourenplanung eingesetzt. Die Mäander-Heuristik etwa führt zu einer vollständigen Durchquerung eines Lagergangs, sobald dieser ein zu bedienendes Fach enthält.

---

<sup>51</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 149

<sup>52</sup> Vgl. Schuh/Stich (2013) S. 68

<sup>53</sup> Vgl. Arnold/Furmans (2019) S. 59

<sup>54</sup> Vgl. Arnold/Furmans (2019) S. 312

<sup>55</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 141 ff

Die Mittelpunkt- und Largest-Gap-Heuristiken dagegen erlauben das frühzeitige Wenden in einem Gang, sofern dies die Weglänge insgesamt verringert.<sup>56</sup>

### **Kalkülbasierte Verfahren**

Diese Verfahren nutzen mathematische Gradientenmethoden zur Optimierung kontinuierlicher Zielgrößen. Durch die Untersuchung der Steigung der Zielfunktion im mehrdimensionalen Parameterraum lassen sich sowohl lokale als auch globale Optima bestimmen. Anwendung finden diese Verfahren u.a. bei der dynamischen Kapazitätsplanung, der Lagerplatzvergabe oder bei der Lastverteilung innerhalb komplexer Fördersysteme.<sup>57</sup>

### **Simulation**

Bei hoher Komplexität, unvollständiger Informationslage oder stark dynamischem Systemverhalten stellt die Simulation ein unverzichtbares Instrument der Entscheidungsunterstützung dar. Sie ermöglicht es, reale Prozesse in einem virtuellen Abbild realitätsnah nachzuvollziehen und unter variierenden Rahmenbedingungen zu analysieren.<sup>58</sup>

Insbesondere in der intralogistischen Planung ist die Simulation in der Lage, Schwachstellen wie Engpässe, Überlastungen oder ineffiziente Abläufe bereits in der Konzeptphase zu identifizieren. Dadurch können Gestaltungsvarianten, Steuerungsstrategien und Ressourcenzuweisungen vor der praktischen Umsetzung validiert und optimiert werden. Die Herausforderung besteht in der präzisen Abbildung realer Bewegungs- und Reaktionsdynamiken. Aspekte wie Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge von Transportmitteln, Kurvenverhalten oder kollisionsvermeidende Fahrstrategien müssen dabei angemessen berücksichtigt werden, um valide Ergebnisse zu erzielen.<sup>59</sup>

Die Wirksamkeit aller genannten Optimierungsverfahren ist unmittelbar an die Qualität der zugrundeliegenden Datenbasis gekoppelt. Ohne vollständige, aktuelle und konsistente Daten können weder exakte Berechnungen noch heuristische oder simulationsbasierte Verfahren ihr volles Potenzial entfalten. Im folgenden Kapitel werden daher der Informationsfluss und die Datenstruktur als grundlegende Voraussetzungen für erfolgreiche Optimierungsprozesse eingehend betrachtet.

## **2.2.3 Datenbasis und Informationsfluss als Fundament der Optimierung**

Jede fundierte Planung im logistischen Kontext setzt eine belastbare, widerspruchsfreie und umfassende Datenbasis voraus. Dies gilt insbesondere für komplexe innerbetriebliche Materialflusssysteme, deren Optimierung ohne valide Ausgangsdaten nicht zielführend umgesetzt werden kann. Die systematische Ist-Aufnahme bildet dabei den elementaren Ausgangspunkt jeder Analyse. Sie dient der Erfassung des aktuellen Zustands, auf dessen Grundlage neue Konzepte entwickelt, Varianten bewertet und passende Betriebsmittel ausgewählt werden können.<sup>60</sup>

---

<sup>56</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 141 ff

<sup>57</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 149

<sup>58</sup> Vgl. Plümer/Steinfatt (2017) S. 212

<sup>59</sup> Vgl. Arnold/Furmans (2019) S. 329

<sup>60</sup> Vgl. Arnold/Furmans (2019) S. 258 ff

Die dabei zu erhebenden Informationen gliedern sich in zwei Hauptkategorien: statische Daten und dynamische Prozessdaten. Zu den statischen Informationen zählen u.a. Artikelstammdaten, geometrische Abmessungen, Gewichtsklassen, Lagereinheiten sowie die räumliche Struktur des Lagers. Dynamische Daten wiederum umfassen Auftragsstrukturen, Bewegungsfrequenzen, Transportzeiten und Ressourcenauslastungen. Um den Erhebungsaufwand in akzeptablen Grenzen zu halten und gleichzeitig eine hohe Datenqualität zu gewährleisten, werden in der Praxis sowohl Primärerhebungen – etwa durch Beobachtungen, Interviews oder Zeitstudien – als auch Sekundärquellen wie Systemauszüge, Lagerpläne oder Bestandsberichte genutzt.<sup>61</sup>

Neben der reinen Datenerhebung rückt der Informationsfluss als koordinierendes Element zunehmend in den Fokus. Er stellt das Bindeglied zwischen physischem Materialfluss und steuernder Systemlogik dar. Ein effektiver Informationsfluss ist deshalb nicht nur unterstützender Begleitaspekt, sondern integraler Bestandteil logistischer Prozesse. Er liefert die erforderlichen Steuerungsgrößen, überwacht den Fortschritt und ermöglicht die Rückmeldung relevanter Zustände.<sup>62</sup>

Im Materialflusssystem verlaufen Informationen in zwei Richtungen: dem Materialfluss gegenläufig und parallel zum Materialfluss. Gegenläufige Informationsströme steuern etwa die Bedarfsanmeldung, die Auftragsfreigabe oder die Priorisierung einzelner Prozesse. Sie dienen der Synchronisierung zwischen vorgelegerten Planungsinstanzen und ausführenden operativen Einheiten. Parallel zum physischen Fluss laufen Informationen mit, die die transportierten Objekte identifizieren und beschreiben – z.B. hinsichtlich Artikeltyp, Menge, Zielort, Lieferzeit oder Handhabungsvorgaben. Diese Echtzeitinformationen bilden die Grundlage für Prozessüberwachung, Rückverfolgbarkeit und Statusabfragen.<sup>63</sup>

Besonders in dynamischen Lagerumgebungen ist eine kontinuierliche Rückmeldung von Prozessfortschritten erforderlich. Nur durch eine lückenlose Dokumentation und Aktualisierung des Auftragsstatus lassen sich unerwünschte Bestandsdifferenzen, Verzögerungen oder Fehlzusweisungen vermeiden. Ein übergeordnetes Steuerungssystem, etwa ein Warehouse Management System (WMS) oder ein Materialflussrechner (MFR), ist daher unverzichtbar. Es sammelt, konsolidiert und interpretiert eingehende Informationen und trifft darauf basierend automatisierte Entscheidungen zur Prozesssteuerung und Optimierung.<sup>64</sup>

Die Qualität und Verfügbarkeit dieser Informationen entscheiden letztlich über die Effizienz logistischer Systeme. Ohne konsistente Datengrundlage bleiben Optimierungspotenziale ungenutzt, Steuerungsstrategien wirkungslos und Planungen fehleranfällig. Der Ausbau digitaler Informationsflüsse – etwa durch sensorbasierte Rückmeldesysteme, automatisierte Identifikationstechnologien oder systemgestützte Prozessdokumentation – ist daher eine zentrale Voraussetzung für leistungsfähige, adaptive Intralogistiksysteme.<sup>65</sup>

Ein wirkungsvoller Beitrag zur Qualität und Verfügbarkeit logistischer Informationen lässt sich durch den Einsatz von RFID-Technologie erzielen. Im nächsten Kapitel wird erläutert, inwieweit RFID-Systeme zur

---

<sup>61</sup> Vgl. Arnold/Furmans (2019) S. 252 ff

<sup>62</sup> Vgl. Arnold/Furmans (2019) S. 254

<sup>63</sup> Vgl. Otto/Obermaier (2007) S. 8 ff

<sup>64</sup> Vgl. Fleisch/Mattern (2005) S. 10

<sup>65</sup> Vgl. Fleisch/Mattern (2005) S. 15 ff

Erhöhung der Prozesstransparenz beitragen, welche funktionalen Vorteile sie im Vergleich zu konventionellen Identifikationslösungen bieten und wie sie gezielt zur Optimierung innerbetrieblicher Materialflüsse eingesetzt werden können.<sup>66</sup>

## 2.2.4 Der Beitrag von RFID zur Prozesstransparenz und Optimierung

Die Integration moderner Informationstechnologien wie der Radio Frequency Identification (RFID) stellt eine Möglichkeit dar, die Grundlage der innerbetrieblichen Transportwegeoptimierung funktional zu erweitern. Durch den Einsatz von RFID-Systemen können logistische Prozesse in Echtzeit erfasst und objektbezogene Daten automatisiert verarbeitet werden. Dies ermöglicht eine verbesserte Datenaktualität sowie eine höhere Transparenz in operativen Abläufen. Die Technologie erlaubt eine flexiblere Steuerung von Prozessketten und unterstützt die Umstrukturierung bisher zeit- und personalintensiver Arbeitsschritte – etwa im Warenein- und -ausgang oder in der Dokumentation von Materialflüssen. Informationen von RFID-Transpondern können automatisch ausgelesen werden, ohne dass ein Sichtkontakt oder manuelles Scannen erforderlich ist. Dies reduziert fehleranfällige Arbeitsschritte und entlastet operative Fachkräfte.<sup>67</sup>

Im Bereich der Transportlogistik ermöglicht RFID eine kontinuierliche Lokalisierung von im Umlauf befindlichen Behältern, Ladeeinheiten oder Transporthilfsmitteln. Dies bildet die Grundlage für eine gezieltere Tourenplanung, bei der Leerfahrten reduziert und die Fahrzeugauslastung verbessert werden können. Die dadurch geschaffene Transparenz bezüglich aktueller Objektverfügbarkeiten trägt zur besseren Nutzung betrieblicher Ressourcen bei. Die Verknüpfung von Objektinformationen mit Echtzeitdaten erlaubt es, auf Planungsunsicherheiten zu reagieren und logistische Abläufe dynamisch zu justieren.<sup>68</sup>

### Technologische Grundlagen der RFID

RFID gehört zur Gruppe der Auto-ID-Technologien. Diese ermöglichen die automatische und kontaktlose Identifikation von Objekten durch den Einsatz von Funkwellen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Barcodes ist kein direkter Sichtkontakt notwendig (Line of Sight, LOS). Die Kommunikation erfolgt über magnetische oder elektromagnetische Felder, welche die Übertragung von Daten auch durch Verpackungen oder nicht-metallische Materialien hindurch ermöglichen.<sup>69</sup>

Ein RFID-System besteht im Wesentlichen aus vier Hauptkomponenten:

- **Transponder (Tag):** Miniaturisierte Datenträger mit integrierter Antenne und Mikrochip, auf dem Objektinformationen gespeichert sind.
- **Schreib-/Lesegerät (Reader/Interrogator):** Dieses Gerät sendet Signale zur Aktivierung des Transponders und liest dessen Daten aus.
- **Antenne:** Dient der Übertragung der Signale zwischen Transponder und Reader. Die Reichweite definiert sich über die sogenannte Interrogationszone.

---

<sup>66</sup> Vgl. Otto/Obermaier (2007) S. 9

<sup>67</sup> Vgl. Schuh/Stich (2013) S. 275

<sup>68</sup> Vgl. Franke/Dangelmaier (2006) S. 86 ff

<sup>69</sup> Vgl. Willibald Günthner (2011) S. 242

- **IT-Infrastruktur:** Die erfassten Daten werden durch Middleware-Systeme verarbeitet, aggregiert und an übergeordnete IT-Strukturen (z.B. ERP, WMS) weitergegeben.<sup>70</sup>

### Arten von Transpondern

Transponder unterscheiden sich hinsichtlich Energieversorgung, Reichweite, Speicherkapazität und Schreibfähigkeit:

**Passive Tags** benötigen keine eigene Energiequelle und beziehen ihre Energie aus dem Feld des Readers. Sie zeichnen sich durch geringe Kosten, kleine Bauformen und eine theoretisch unbegrenzte Lebensdauer aus, weisen jedoch eine begrenzte Reichweite auf (ca. 10 cm bis 6 m).

**Aktive Tags** verfügen über eine eigene Batterie, was größere Reichweiten (bis 200–300 m) sowie umfangreichere Datenspeicherung ermöglicht. Die Lebensdauer ist durch die Batteriekapazität limitiert.

**Semi-passive Tags** kombinieren beide Ansätze, indem sie intern batteriebetrieben arbeiten, aber externe Signale zur Datenübertragung nutzen.

**SAW-Tags (Surface Acoustic Wave)** wandeln elektromagnetische Signale in Oberflächenwellen um, wodurch sie unter bestimmten Umweltbedingungen höhere Stabilität und Lesegenauigkeit ermöglichen.

### Speicherstruktur und Schreibfähigkeit

- **Read-Only:** Daten sind bei der Herstellung fest programmiert und unveränderbar.
- **Write-Once-Read-Many:** Der Transponder kann einmalig beschrieben und beliebig oft ausgelesen werden.
- **Read-Write:** Die Inhalte sind wiederbeschreibbar und erlauben flexible Datenpflege direkt am Objekt.

### Frequenzbereiche und Einsatzkontexte

- **Low Frequency (LF):** 125–135 kHz  
widerstandsfähig gegen Flüssigkeiten, geeignet für Tierkennzeichnung.
- **High Frequency (HF):** 13,56 MHz  
weltweit harmonisiert, z. B. in E-Pässen und Smart Cards.
- **Ultra High Frequency (UHF):** 868–954 MHz  
bietet hohe Reichweite und schnelle Lesegeschwindigkeit, ist jedoch anfälliger gegenüber Störungen durch Metall und Flüssigkeiten.
- **Mikrowellenbereich:** 2,45 GHz  
für industrielle Anwendungen derzeit von untergeordneter Bedeutung.<sup>71</sup>

### Bauformen und Umweltbeständigkeit

Transponder sind in unterschiedlichen Bauformen erhältlich, z. B. als Etiketten (Smart Labels), Hardtags, Glaskapseln oder Karten. Abhängig vom Einsatzort müssen sie teilweise extremen Umweltbedingungen –

---

<sup>70</sup> Vgl. Willibald Günthner (2011) S. 250 ff

<sup>71</sup> Vgl. Fleisch/Mattern (2005) S. 73 ff

wie Feuchtigkeit, Temperaturschwankungen oder mechanischer Beanspruchung – standhalten. Technische Fortschritte haben die Zuverlässigkeit der Lesung unter solchen Bedingungen deutlich verbessert.<sup>72</sup>

### Anwendungsarten von RFID-Lesepunkten

- **Mobile Geräte:** Handscanner für manuelle Bestandsführung oder dezentrale Identifikationsaufgaben.
- **RFID-Gates:** Fest installierte Portale zur Erfassung mehrerer Objekte im Durchlauf (z. B. Warenein- und -ausgang).
- **Gabelstapler-Integration:** Erfassung direkt an der Gabelzinke während des Transports.
- **RFID-Theken:** Stationäre Erfassungsflächen zur Werkzeugverwaltung oder Warenausgabe.<sup>73</sup>

### IT-Integration und Datenmanagement

Die erhobenen RFID-Daten werden durch eine Middleware aufbereitet, duplizierte Informationen gefiltert und in bestehende Unternehmenssysteme integriert. Dies erfolgt über standardisierte Schnittstellen zu Enterprise Resource Planning (ERP) -, Warehouse Management System (WMS) - oder Supply chain Management (SCM) - Systemen. Die automatische Kopplung von Material- und Informationsfluss erhöht die Datenqualität und unterstützt die Echtzeit-Transparenz.<sup>74</sup>

### Einsatzbereiche und Anwendungspotenziale

- **Transportwegeoptimierung:** RFID ermöglicht die dynamische Steuerung von Transporten, die Erfassung von Materialflüssen sowie die Rückmeldung von Auftragsfortschritten.
- **Sendungsverfolgung (Tracking & Tracing):** Lückenlose Verfolgung von Objekten über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg.
- **Bestandsmanagement:** Echtzeit-Inventuren, automatische Buchungen und Synchronisation von System- und Realbestand.
- **Kommissionierung:** Optimierung der Entnahmereihenfolge, Zuordnung von Aufträgen an Kommissionierpersonal.
- **Cross-Docking:** Direkte Identifikation und Weiterleitung von Sendungen ohne Zwischenlagerung.
- **Qualitätssicherung:** Rückverfolgbarkeit bei Produktionsprozessen, Dokumentation von Temperatur, Feuchte oder Materialkennwerten.
- **Sicherheitsmanagement:** Zutrittskontrollen, Identifikation persönlicher Schutzausrüstung, Objektsicherung.<sup>75</sup>

### Real-Time Location Systems (RTLS)

Real-Time Location Systems (RTLS) ermöglichen die kontinuierliche Lokalisierung physischer Objekte, Betriebsmittel oder Personen in Echtzeit und stellen damit eine funktionale Erweiterung konventioneller Identifikationssysteme dar. Während klassische RFID-Systeme punktuelle Erfassungen an definierten Le-

---

<sup>72</sup> Vgl. Willibald Günthner (2011) S. 252 ff

<sup>73</sup> Vgl. Willibald Günthner (2011) S. 258 ff

<sup>74</sup> Vgl. Fleisch/Mattern (2005) S. 104 ff

<sup>75</sup> Vgl. Franke/Dangelmaier (2006) S. 79 ff.

sepunkten vornehmen, erlauben RTLS-Lösungen eine lückenlose Überwachung von Bewegungen und Positionen innerhalb eines definierten Bereichs. Damit entsteht ein digitales Abbild der physischen Realität, das es erlaubt, Prozessverläufe visuell darzustellen, zu analysieren und gezielt zu optimieren.<sup>76</sup>

**Ein RTLS besteht typischerweise aus den folgenden Komponenten:**

**Aktive Transponder (Tags):** Diese sind batteriebetrieben und senden in regelmäßigen Intervallen Signale aus. Sie werden an Objekten, Ladungsträgern oder Maschinen angebracht und enthalten eine eindeutige Identifikationsnummer sowie gegebenenfalls zusätzliche Sensordaten (z. B. Temperatur, Erschütterung).

**Ortungspunkte (Anker oder Locating Devices):** Diese Sensoren empfangen die Signale der Tags. Ihre Position im Raum ist exakt bekannt. Durch das Erfassen der Signalstärke der Laufzeit oder anderer physikalischer Eigenschaften wird die Position des Tags berechnet.

**Gateways:** Diese dienen als Kommunikationsschnittstelle zwischen Anker und übergeordneter IT. Sie sammeln die Ortungsdaten und leiten sie an das Hostsystem weiter.<sup>77</sup>

**Anwendungsplattform (z. B. Layout-Based Steering Service):** Diese Software stellt die empfangenen Daten in strukturierter Form zur Verfügung. Sie verarbeitet, filtert, visualisiert und archiviert Positionsdaten und verknüpft diese mit Aufträgen, Ressourcen oder Anlagenlayouts. Die Genauigkeit eines RTLS-Systems hängt maßgeblich von der verwendeten Ortungstechnologie ab. Verbreitete Verfahren sind:

**Triangulation auf Basis von RSSI,** bei der die Signalstärke an mehreren Ankerpunkten zur Distanzabschätzung genutzt wird.

**Time Difference of Arrival (TDOA):** Misst die Zeitdifferenz, die ein Signal zu verschiedenen Ankern benötigt, um daraus den Standort zu berechnen.

**Time of Flight (TOF):** Nutzt die absolute Laufzeit des Signals, was eine höhere Präzision ermöglicht.

**Angle of Arrival (AOA):** Bestimmt die Richtung, aus der das Signal ankommt, zur zusätzlichen Verfeinerung der Position.

Die erreichbare Ortungsgenauigkeit variiert je nach Technologie, räumlicher Struktur und Umgebungsbedingungen. Systeme auf Basis von Ultra-Wideband (UWB) können Genauigkeiten von 10 –30 cm in Innenräumen erreichen. Bluetooth-basierte Systeme liegen je nach Ausprägung im Bereich von 1 – 3 m, WiFi-basierte Ortungssysteme zwischen 3 – 9 Fuß (etwa 1 – 3 m). In offenen Flächen mit wenig Interferenz kann die Reichweite aktiver Tags bis zu 200 m betragen.<sup>78</sup>

**Typische Frequenzbereiche und Technologien:**

**Ultra-Wideband (UWB):** Hohe Präzision, kurze Latenzzeiten, gut geeignet für industrielle Echtzeitanwendungen.

**Bluetooth Low Energy (BLE):** Kostengünstig, geringe Energieaufnahme, geeignet für raumbezogene Anwendungen und Zutrittskontrollen.

---

<sup>76</sup> Vgl. Fleisch/Mattern (2005) S. 103 ff

<sup>77</sup> Vgl. Fleisch/Mattern (2005) S. 50 ff

<sup>78</sup> Vgl. Fleisch/Mattern (2005) S. 50 ff

**Wireless Fidelity (WiFi 802.11):** Nutzt vorhandene Infrastruktur, mittlere Genauigkeit, eignet sich für Groblokalisierung.

**Infrarot und Ultraschall:** Hohe Genauigkeit auf kurzen Distanzen, jedoch stark abhängig von Sichtverhältnissen.

**Aktives RFID:** Nutzt batteriebetriebene Tags, ermöglicht Reichweiten bis zu 100 m, bietet punktuelle Ortung.<sup>79</sup>

#### **Einsatzpotenziale in der Intralogistik:**

In industriellen Umgebungen unterstützen RTLS-Systeme eine Vielzahl intralogistischer Prozesse:

**Kommissionierunterstützung:** Mitarbeitende können in Echtzeit lokalisiert und Bewegungsprofile mit Aufträgen abgeglichen werden. Dies erlaubt die dynamische Zuordnung von Aufträgen sowie die Optimierung von Laufwegen und die Minimierung von Suchzeiten.

**Bestandsführung:** Lagerorte von Transportbehältern, Paletten oder Sonderladungsträgern lassen sich jederzeit nachvollziehen, wodurch Lagerplatzsuche und Bestandsabweichungen reduziert werden können.

**Materialflussteuerung:** In Kombination mit Materialflussrechnern oder FTS-Systemen ermöglichen RTLS-Daten eine automatisierte Wegfindung, Kollisionsvermeidung und priorisierte Auftragsbearbeitung.

**Flottenmanagement:** Positionen von Staplern oder fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTS) lassen sich in Echtzeit verfolgen und koordinieren. Dies verbessert die Ressourcenauslastung und erlaubt situationsabhängige Umplanungen.

**Produktionsüberwachung:** Arbeitsplätze, Materialbehälter und Zwischenprodukte können entlang der Wertschöpfungskette verfolgt und auftragsbezogen gesteuert werden.

**Prozessanalyse:** Durch die Erfassung von Bewegungsdaten lassen sich Durchlaufzeiten, Engpässe und Prozessstörungen erkennen und auswerten.<sup>80</sup>

#### **Implementierungsherausforderungen**

Die Einführung eines RTLS-Systems stellt hohe Anforderungen an die IT-Infrastruktur sowie an die Definition der zu erfassenden Objekte und deren Relevanz für die Prozesse. Eine große Herausforderung besteht in der Datenmenge, die durch kontinuierliche Ortung erzeugt wird. Diese muss gefiltert, aggregiert und kontextualisiert werden, bevor sie in übergeordnete Systeme überführt werden kann. Die Middleware fungiert dabei als zentrales Bindeglied zwischen physischer Erfassung und digitaler Entscheidungsunterstützung.<sup>81</sup>

Zudem ist eine sorgfältige Kalibrierung der Ortungshardware erforderlich, insbesondere bei wechselnden Umgebungsbedingungen oder dynamischen Layouts. In Pilotprojekten sollte zunächst ein begrenzter Bereich mit definierten Anforderungen realisiert werden, um technologische und organisatorische Herausforderungen zu identifizieren.<sup>82</sup>

---

<sup>79</sup> Vgl. Fleisch/Mattern (2005) S. 50 ff

<sup>80</sup> Vgl. Franke/Dangelmaier (2006) S. 79 ff

<sup>81</sup> Vgl. Fleisch/Mattern (2005) S. 94 ff

<sup>82</sup> Vgl. Fleisch/Mattern (2005) S. 19 ff

## 2.3 Logistische Kennzahlen zur Effizienzmessung

Intralogistische Kennzahlen stellen verdichtete, quantitative Informationen dar, die dazu dienen, die komplexe Realität logistischer Systeme strukturiert abzubilden. Sie ermöglichen eine systematische Bewertung, Steuerung und Optimierung betrieblicher Abläufe in Lager- und Materialflusssystemen. Die bewusste Reduktion vielschichtiger Sachverhalte auf eine überschaubare Kennzahlendimension ist Grundlage für Vergleichbarkeit und Transparenz. Insbesondere im Kontext dynamischer Systeme gewinnen sie an Bedeutung, da sie als objektive Grundlage für operative Entscheidungen sowie strategische Ausrichtungen dienen.<sup>83</sup>

Grundsätzlich wird zwischen Basisdaten und Kennzahlen im engeren Sinne unterschieden:

- **Basisdaten** sind direkte Messwerte oder Stammdaten, die durch Zählung, Messung oder administrative Erfassung gewonnen werden. Hierzu zählen beispielsweise Artikelnummern, Gewichte, Abmessungen oder Ladeeinheitsmerkmale. Sie bilden die Ausgangsdaten für Berechnungen und Auswertungen.<sup>84</sup>
- **Kennzahlen im engeren Sinne** stellen eine Kombination oder Ableitung aus Basisdaten dar. Sie können sowohl als Absolut- als auch als Verhältniszahlen vorliegen und dienen der Beurteilung von Leistungsrelationen oder Strukturmerkmalen. Dabei lassen sich operativ ausgerichtete Kennzahlen – zur kurzfristigen Prozesssteuerung – von strategisch orientierten Kennzahlen – zur Bewertung langfristiger Systemeffekte – unterscheiden.<sup>85</sup>

Die gezielte Nutzung solcher Kennzahlen ermöglicht es, Abweichungen zu identifizieren, Ursachen zu analysieren und Maßnahmen abzuleiten. Sie sind somit zentrale Elemente eines prozessorientierten Controlling-Systems. Im Rahmen einer datenbasierten Logistiksteuerung, wie sie etwa im Konzept der „Transparenten Fabrik“ angestrebt wird, dienen Kennzahlen der laufenden Rückmeldung über Prozessfortschritt, Auslastung und Störungsereignisse. Systeme wie MES (Manufacturing Execution Systems) oder Business-Intelligence-Plattformen aggregieren diese Daten und machen sie für die betriebliche Steuerung zugänglich.<sup>86</sup>

### 2.3.1 Herausforderungen im Umgang mit Kennzahlen

Trotz ihrer Vorteile unterliegt die Arbeit mit Kennzahlen gewissen Einschränkungen. Einzelwerte können kontextabhängig verzerrt oder irreführend sein, insbesondere wenn Mittelwerte verwendet oder Kennzahlen aus approximierten Werten berechnet werden. Zudem können falsche Interpretationen entstehen, wenn Beziehungen zwischen Ursache und Wirkung nicht klar abgebildet werden. Daher ist bei der Definition von Kennzahlen auf Konsistenz, Nachvollziehbarkeit und Aussagekraft zu achten.<sup>87</sup>

---

<sup>83</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 67

<sup>84</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 65

<sup>85</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 67-68

<sup>86</sup> Vgl. Willibald Günthner (2011) S. 236-238

<sup>87</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 67-68

### 2.3.2 Datengewinnung und Berechnung intralogistischer Kennzahlen

Die Aussagekraft von Kennzahlen hängt maßgeblich von der Qualität der zugrunde liegenden Datenbasis ab. Nur valide, aktuelle und vollständige Daten erlauben eine fundierte Bewertung und belastbare Entscheidungsfindung.

#### Datenerfassungsmethoden

- **Primärerhebung:** Direkte Erfassung betrieblicher Prozesse durch Beobachtung, Zeitaufnahme oder Interview. Hilfsmittel wie der VDI/AWF-Materialflussbogen oder Multimomentaufnahmen kommen hierbei zur Anwendung.
- **Sekundärerhebung:** Nutzung bereits vorhandener, für andere Zwecke erhobener Daten. Dazu zählen interne Unterlagen wie Arbeitspläne, Lieferscheine, Lagerkarten, Instandhaltungsdokumente oder auch externe Quellen wie Branchenstatistiken, Verbandsdaten oder Normen. Die Qualität dieser Erhebungen ist stark von der Pflege der Artikelstammdaten abhängig.<sup>88</sup>

#### Verfahren der Datenerfassung

- **Online-Erfassung:** Daten werden direkt im Prozess (z. B. durch Sensoren oder Auto-ID-Systeme) aufgezeichnet und automatisiert zu Kennzahlen verarbeitet. Der Vorteil liegt in der Echtzeitverfügbarkeit; die Flexibilität zur nachträglichen Analyse ist jedoch eingeschränkt.
- **Zeitreihenerfassung:** Ereignisse und Zeitstempel werden protokolliert und in einer Datenbank archiviert. Kennzahlen werden über Abfragen generiert. Dieses Verfahren erlaubt detaillierte Analysen, birgt jedoch den Nachteil wachsender Datenmengen.<sup>89</sup>

#### Auswahl exemplarischer intralogistischer Kennzahlen

- **Lagerumschlagshäufigkeit (U):**  
Beschreibung: Eine gebräuchliche Kennzahl zur Bestimmung der Liquidität bzw. der Kapitalbindungskosten im Lager. Sie gibt an, wie oft ein Artikel oder das gesamte Warenlager in einer Periode umgesetzt wird, oder wie lange die Ware durchschnittlich lagert.  
Berechnung:  $U = (\text{Bewerteter Lagerabgang} / \text{Mittlerer Lagerbestandswert}) * (\text{Anzahl Betriebskalendertage pro Jahr} / \text{Betrachtungszeitraum})$ <sup>90</sup>
- **Durchlaufzeit:**  
Beschreibung: Umfasst alle zeitlichen Elemente, die ein Auftrag im Unternehmen verweilt, von der Entstehung bis zum Abschluss. Für logistische Systeme ist dies der Zeitraum zwischen dem Ein- und Austritt eines Leistungsobjekts (z.B. Material, Information).  
Berechnung: Typischerweise als Summe von Bearbeitungszeiten, Wartezeiten und Transportzeiten. Beispielsweise kann die Auftragsabwicklungsdurchlaufzeit als mittlere Abweichung oder Standardabweichung der Zeitdauer zwischen Bestellung und Lieferung gemessen werden.<sup>91</sup>
- **Kommissionierzeit:**

---

<sup>88</sup> Vgl. Arnold/Furmans (2019) S. 253-254

<sup>89</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 61-62

<sup>90</sup> Vgl. Schuh/Stich (2013) S. 110 ff

<sup>91</sup> Vgl. Otto/Obermaier (2007) S. 280-281

Beschreibung: Die Zeit, die für den Kommissioniervorgang benötigt wird. Sie ist die Summe der Wegzeit, der Rüstzeit, der Greifzeit und der Basiszeit. Die Totzeit, eine unproduktive, aber unvermeidbare Zeit, entsteht durch Lesen, Suchen, Identifizieren und Kontrollieren und kann durch ergonomische Arbeitsplatzgestaltung und Informationsaufbereitung reduziert werden.

Berechnung:  $\text{Kommissionierzeit} = \text{Wegzeit} + \text{Rüstzeit} + \text{Greifzeit} + \text{Basiszeit} + \text{Totzeit}$ .<sup>92</sup>

- **Servicegrade ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ):**

Beschreibung: Ereignis-, mengen- und zeitorientierte Kennziffern zur Beurteilung des Lieferservices.

Berechnung

**$\alpha$ -Servicegrad:** Der Alpha-Servicegrad beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass der vorhandene Lagerbestand ausreicht, um die Nachfrage innerhalb einer bestimmten Periode vollständig zu decken. Er dient als Maß für die Lieferfähigkeit und zeigt, wie oft eine Lieferung ohne Fehlmenge erfolgen kann.

**$\beta$ -Servicegrad:** Der Beta-Servicegrad gibt an, welcher Anteil der gesamten Nachfragemenge innerhalb einer Periode direkt aus dem Lagerbestand bedient werden kann. Er berücksichtigt dabei nur die neu entstandenen Rückstände einer Periode, nicht jedoch aufgestaute Fehlmengen aus vorherigen Zeiträumen.

**$\gamma$ -Servicegrad:** Der Gamma-Servicegrad bezieht sich sowohl auf Mengen- als auch auf Zeitaspekte. Er zeigt den Anteil der Nachfrage, der über die Zeit hinweg ohne Lieferverzug erfüllt wird, und berücksichtigt dabei den kumulierten Rückstand. Damit spiegelt er auch die durchschnittliche Wartezeit der Kunden wider.<sup>93</sup>

- **Liefertermintreue:**

Beschreibung: Misst die Einhaltung zugesagter Lieferzeiten und vereinbarter Abhol- und Zustelltermine.

Berechnung:  $\text{Anzahl termingerecht ausgelieferter Aufträge} / \text{Anzahl aller ausgelieferten Aufträge}$ .<sup>94</sup>

- **Wiederbeschaffungszeit (WBZ oder tW):**

Beschreibung: Die für die Wiederbeschaffung von Waren, Rohstoffen oder Halbfabrikaten erforderliche Zeit, die den gesamten Zeitraum von der Bestellung bis zur Verfügbarkeit der Lieferung umfasst.

Berechnung: Für neue Artikel oder bei Lieferantenwechsel wird oft ein Planwert als Anfangswert verwendet. Nach Eintreffen der ersten Lieferung können der Mittelwert und die Streuung der Wiederbeschaffungszeit berechnet werden.<sup>95</sup>

- **Prozesskosten:**

Beschreibung: Dienen der Kostentransparenz und der Sicherstellung eines effizienten Ressourcenverbrauchs.

---

<sup>92</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 39 ff

<sup>93</sup> Vgl. Hohmann (2022) S. 108-109

<sup>94</sup> Vgl. Hohmann (2022) S. 64

<sup>95</sup> Vgl. Gudehus (2010) S. 276 ff

Berechnung: Kosten pro Prozessmengeneinheit, ermittelt durch Analyse von Prozessen, Aktivitäten und Leistungen unter Anwendung der Vollkostenrechnung. Beispiel: Kosten je Dispositionsvorgang = Gesamtkosten der Disposition / Anzahl der Dispositionen.<sup>96</sup>

- **Kapazitätsauslastung:**

Beschreibung: Misst, wie gut die vorhandene Kapazität genutzt wird.

Berechnung: Fertigungsstunden / Kapazitätsstunden.

- **Gesamtanlageneffektivität (GAE):**

Beschreibung: Beschreibt den Gesamtverlust einer Anlage und setzt sich aus Nutzungsgrad, Leistungsgrad und Qualitätsgrad zusammen.

Berechnung:  $GAE = \text{Nutzungsgrad} * \text{Leistungsgrad} * \text{Qualitätsgrad}$  oder  $GAE = (\text{Gesamtzeit} - \text{Gesamtverlust}) / \text{Gesamtzeit}$ .<sup>97</sup>

### **Kennzahlensysteme**

Da Einzelkennzahlen nur begrenzte Aussagekraft besitzen, werden diese in hierarchisch strukturierten Kennzahlensystemen gebündelt. Solche Systeme ermöglichen eine differenzierte Steuerung auf verschiedenen Managementebenen. Während Basiskennzahlen operativ wirken (z.B. Kommissionierleistung), liefern übergeordnete Kennzahlen wie der Lieferservicegrad oder die Lagerkostenanteile strategische Steuerungsimpulse. Der Aufbau eines anwendungsbezogenen Kennzahlensystems erfordert eine strukturierte Ableitung von Zielgrößen und eine eindeutige Definition der Beziehungen zwischen den Kennzahlen.<sup>98</sup>

### **Digitalisierung und vernetzte Datenflüsse**

Die Digitalisierung logistischer Prozesse schafft neue Voraussetzungen für die Erfassung und Auswertung von Kennzahlen. Durch Technologien wie RFID, Sensorik, elektronische Kanban-Systeme und automatisierte Datenerfassung (z. B. durch Edge Devices) wird eine kontinuierliche und ereignisgesteuerte Datenbereitstellung möglich. Die damit gewonnene Informationsdichte erlaubt ein präziseres Controlling und die Echtzeitsteuerung komplexer Abläufe. Zudem kann durch systematische Verdichtung in BI-Systemen ein automatisiertes Kennzahlenreporting implementiert werden.<sup>99</sup>

Die in diesem Kapitel dargestellten intralogistischen Kennzahlen bilden eine zentrale Grundlage für die Bewertung logistischer Systeme sowie für die Identifikation und Quantifizierung von Optimierungspotenzialen. Ihre Aussagekraft hängt jedoch maßgeblich von der methodischen Vorgehensweise bei der Datenerhebung, -verarbeitung und -bewertung ab. Um valide Ergebnisse zu erzielen und praxisrelevante Handlungsempfehlungen ableiten zu können, bedarf es eines klar definierten methodischen Rahmens.<sup>100</sup>

Das folgende Kapitel widmet sich daher den methodischen Rahmenbedingungen und den Implementierungsaspekten der in dieser Arbeit eingesetzten Untersuchungsmethoden. Dabei werden die gewählten Analyseansätze, eingesetzten Werkzeuge sowie die strukturelle Einbettung der Optimierungsansätze in den betrieblichen Kontext näher erläutert.

---

<sup>96</sup> Vgl. Otto/Obermaier (2007) S. 296

<sup>97</sup> Vgl. Plümer/Steinfatt (2017) S. 70-71

<sup>98</sup> Vgl. Piontek/Czenskowsky (2012) S. 239 ff

<sup>99</sup> Vgl. Piontek/Czenskowsky (2012) S. 258-259

<sup>100</sup> Vgl. Otto/Obermaier (2007) S. 295

## 2.4 Methodische Rahmenbedingungen und Implementierungsaspekte

Die Planung und Umsetzung logistischer Systeme stellt eine komplexe Gestaltungsaufgabe dar. Ziel ist es, aus einer Vielzahl möglicher Optionen eine technisch, wirtschaftlich und organisatorisch stimmige Lösung zu entwickeln, die es erlaubt, die geforderten Leistungsanforderungen unter Einhaltung der gegebenen Restriktionen kostenoptimal zu erfüllen. Dieser Prozess erfordert ein systematisches und schrittweises Vorgehen, das sich in fünf zentrale Phasen unterteilen lässt: Zieldefinition, Datenerhebung, Konzeptentwicklung, Bewertung und Feinplanung. Daran schließt sich die Umsetzung als eigenständiger Projektabschnitt an, ergänzt durch begleitendes Change Management, technische Integration und eine kontinuierliche Optimierung im Rahmen des KVP.<sup>101</sup>

### 2.4.1 Methodische Rahmenbedingungen

Die Planung logistischer Systeme und Netzwerke ist eine Gestaltungsaufgabe. Sie zielt darauf ab, aus einer Vielzahl von Möglichkeiten geeignete Anlagen und Betriebsmittel auszuwählen, anzuordnen, zu verknüpfen, zu organisieren und zu dimensionieren, um Leistungsanforderungen kostenoptimal zu erfüllen.<sup>102</sup>

#### Zieldefinition und Anforderungsanalyse

Die erste Phase jeder logistischen Planung beginnt mit der systematischen Ableitung der Logistikziele aus den übergeordneten strategischen Zielsetzungen des Unternehmens. Diese Logistikziele sollten konkret, quantifizierbar und widerspruchsfrei formuliert sein. Typische Zielgrößen umfassen z. B. eine Erhöhung der Durchsatzleistung, die Reduktion der Lagerbestände, die Minimierung von Leerfahrten oder die Erhöhung der Liefertermintreue.<sup>103</sup>

Im Rahmen der Anforderungsanalyse werden die Bedarfe der internen und externen Anspruchsgruppen (Kunden, Markt, Produktionsbereiche) systematisch erfasst und in logistikrelevante Anforderungen überführt. Parallel hierzu erfolgt die Identifikation von Restriktionen, die den planerischen Handlungsspielraum einschränken. Dazu zählen:

- **Räumliche Restriktionen:** Flächenverfügbarkeit, Gebäudegeometrie
- **Zeitliche Restriktionen:** Betriebszeiten, Lieferzyklen, Schichtmodelle
- **Technische Restriktionen:** Produktspezifika, Kompatibilität zu bestehenden Systemen
- **Strukturelle Restriktionen:** Organisationsformen, Schnittstellen
- **Regulatorische Restriktionen:** Arbeits- und Umweltauflagen, Brandschutz, Gefahrgutbestimmungen

Die Dokumentation dieser Parameter bildet die Grundlage für alle weiteren Planungsschritte.<sup>104</sup>

#### Datengewinnung und -analyse

---

<sup>101</sup> Vgl. Gudehus (2010) S. 69 ff

<sup>102</sup> Vgl. Schuh/Stich (2013) S. 69

<sup>103</sup> Vgl. Gudehus (2010) S. 69 ff

<sup>104</sup> Vgl. Gudehus (2010) S. 78 ff

Für die Ausgestaltung logistischer Systeme ist eine verlässliche Datenbasis unerlässlich. Die Qualität der Entscheidungen hängt unmittelbar von der Güte der verfügbaren Daten ab. Die Datenbeschaffung erfolgt entweder durch:

- **Primärerhebung:** Zeitaufnahmen, Multimomentanalysen, direkte Beobachtung, Interviews
- **Sekundärerhebung:** Nutzung vorhandener Stammdaten, Systemauszüge, Inventurlisten, Transportdaten, Systemlogs<sup>105</sup>

### Relevante Datenkategorien sind unter anderem

- Artikelstammdaten (Gewicht, Maße, Handhabungsmerkmale)
- Prozess- und Transportzeiten
- Fehler- und Störprotokolle
- Auftragsdaten (Volumen, Häufigkeit, Variantenvielfalt)
- Lagerkennzahlen (Belegung, Bestände, Umschlagshäufigkeiten)

Für langfristige Planungen sind ergänzend **Bedarfsprognosen** und **Szenarienanalysen** erforderlich. Dies betrifft insbesondere Investitionsprojekte mit einem Horizont von 5 bis 10 Jahren. Eine detaillierte Ist-Analyse, etwa mittels wertstromorientierter Prozessaufnahme, liefert zusätzlich Informationen über Engpässe, Prozessbrüche und Verschwendung.<sup>106</sup>

### Konzeptentwicklung und Systemplanung ("vom Groben zum Feinen")

Ausgehend vom Idealzustand wird ein systematisch strukturierter Planungsprozess durchlaufen:

- **Idealplanung:** Entwicklung eines zukunftsorientierten Referenzsystems ohne Rücksicht auf bestehende Einschränkungen
- **Alternativenvergleich:** Erarbeitung mehrerer technisch und wirtschaftlich realisierbarer Lösungsansätze
- **Struktur- und Layoutplanung:** Festlegung der räumlichen und funktionalen Anordnung von Lager-, Förder- und Bereitstellungsflächen unter Berücksichtigung von Schnittstellen
- **Strategieentwicklung:** Ausarbeitung von Steuerungs- und Betriebsstrategien (z. B. Belegungsstrategie, Nachschublogik, Kommissionierverfahren)
- **Ablaufplanung:** Definition der Prozessketten, Materialflüsse und Informationsflüsse in Form von Ablaufdiagrammen oder Simulationsmodellen

Wesentlich ist hierbei die differenzierte Betrachtung einzelner Funktionsbausteine wie Transportieren, Lagern, Puffern, Zusammenstellen und Kontrollieren. Alle Maßnahmen zielen auf eine hohe Prozesssicherheit und Ressourceneffizienz ab.<sup>107</sup>

---

<sup>105</sup> Vgl. Arnold/Furmans (2019) S. 253 ff

<sup>106</sup> Vgl. Gudehus (2010) S. 82

<sup>107</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 113 ff

## Dimensionierung und Bewertung der Varianten

In dieser Phase werden die favorisierten Systemalternativen quantitativ analysiert:

- **Quantifizierung:** Für jeden Prozessschritt müssen die wesentlichen Größen wie Mitarbeiteranzahl, benötigtes Equipment, Flächenbedarf, Bestände und Zeiten (Zykluszeit, Takt, Wiederbeschaffungszeit) ermittelt werden.
- **Kostenkalkulation:** Die Kalkulation der Leistungskosten für Logistikleistungen ist unerlässlich. Dies umfasst Lagerkosten, Handlingkosten, Transportkosten sowie Steuerungs- und Systemkosten. Eine Prozesskostenrechnung kann dabei helfen, Gemeinkosten verursachungsgerecht zu verteilen und Kostentransparenz zu schaffen.
- **Wirtschaftlichkeitsbewertung:** Nutzen Sie Kennzahlensysteme, um die Wirtschaftlichkeit der Integrationskonzepte in Produktions- und Logistiknetzwerken zu bewerten. Ein Vergleich der Alternativen unter Berücksichtigung von Kosten und Nutzen ist notwendig.
- **Simulation:** Für komplexe Systeme kann die Ablaufsimulation eingesetzt werden, um Szenarien abzubilden, dynamische Effekte zu untersuchen und Daten für das Kennzahlensystem zu generieren. Sie hilft, Engpässe zu erkennen und Staueffekte zu entschärfen.<sup>108</sup>

### Feinplanung:

In dieser Phase wird die ausgewählte Vorzugsvariante detailliert ausgearbeitet. Dies beinhaltet die Spezifikation des Prozesses, die Definition von Detailzeichnungen und -plänen, die Auswahl von Betriebsstrategien und -algorithmen, die Zuweisung von Einlagerungsstrategien und Zonen, sowie die Erstellung des Lastenhefts und die Durchführung der Ausschreibung. Der Materialfluss und die zugehörigen Informationsflüsse müssen präzise geplant werden.<sup>109</sup>

## 2.4.2 Implementierungsaspekte

Die Umsetzung eines Logistikkonzepts markiert den Übergang von der theoretischen Planung in die betriebliche Realität. Dabei handelt es sich nicht lediglich um eine technische Umstellung, sondern um ein komplexes Vorhaben, das als vollumfängliches Projekt mit klaren Strukturen, definierten Verantwortlichkeiten und einem nachvollziehbaren Zeitrahmen behandelt werden muss. Eine erfolgreiche Implementierung erfordert eine präzise Abstimmung sämtlicher Teilbereiche und beginnt bereits weit vor dem eigentlichen Umsetzungszeitpunkt.<sup>110</sup>

### Projektmanagement

Im Zentrum der Umsetzung steht das Projektmanagement, welches die Aufgabe hat, alle Phasen – von der initialen Vorbereitung über die technische Realisierung bis hin zur operativen Nachbetreuung – methodisch zu strukturieren und zu steuern. Dabei ist eine systematische Vorgehensweise unerlässlich, um Zeit, Kosten und Ressourcen effizient zu koordinieren. Das Projektmanagement sorgt für eine klare Aufgabenverteilung, die Definition von Meilensteinen sowie ein kontinuierliches Monitoring des Fortschritts. Je nach

---

<sup>108</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 103 ff

<sup>109</sup> Vgl. Gudehus (2010) S. 72

<sup>110</sup> Vgl. ten Hompel/Schmidt (2010) S. 301-302

Projektcharakteristik kommen klassische, agile oder hybride Projektmanagementmethoden zur Anwendung. Insbesondere bei dynamischen Rahmenbedingungen kann ein flexibles Vorgehen vorteilhaft sein, um auf Veränderungen angemessen reagieren zu können. Zentral ist dabei stets die enge Abstimmung zwischen Projektleitung, Fachbereichen und externen Partnern.<sup>111</sup>

### **Change Management und Qualifizierung**

Neben der technischen und organisatorischen Umsetzung ist vor allem dem menschlichen Faktor Rechnung zu tragen. Jede Veränderung logistischer Prozesse – insbesondere, wenn sie mit neuen Technologien oder veränderten Arbeitsweisen einhergeht – kann bei den betroffenen Mitarbeitenden Unsicherheiten und Ablehnung hervorrufen. Aus diesem Grund ist ein professionelles Change Management essenziell. Dieses setzt auf frühzeitige Kommunikation, transparente Informationsvermittlung und die gezielte Einbindung der operativen Ebene. Mitarbeitende müssen nicht nur über den Zweck der Veränderung informiert, sondern auch aktiv beteiligt werden. Begleitende Schulungsmaßnahmen sowie eine strukturierte Onboarding-Phase ermöglichen es, neue Abläufe zu verstehen und sicher anzuwenden. Darüber hinaus sind gezielte Qualifizierungsmaßnahmen erforderlich, um technisches Verständnis aufzubauen und die Kompetenz zur Prozessbeherrschung zu stärken. Die Unterstützung durch erfahrene Kolleginnen und Kollegen in Form von Multiplikatoren oder Key Usern erleichtert die Eingewöhnung und fördert die Akzeptanz.<sup>112</sup>

### **Technische Integration**

Die Einführung eines neuen Logistiksystems geht meist mit der Implementierung oder Erweiterung von IT-Strukturen einher. Die technische Integration betrifft insbesondere Systeme wie Warehouse-Management-Systeme (WMS), Enterprise Resource Planning (ERP), Materialflussrechner oder auch Manufacturing Execution Systeme (MES). Dabei ist es unerlässlich, die jeweiligen Funktionsbereiche durchgängig zu verknüpfen, um einen medienbruchfreien Informationsfluss sicherzustellen. Eine besondere Herausforderung stellt hierbei die Abstimmung der Datenlogik dar. Die zugrunde liegenden Stammdaten, Prozessparameter und Systemzustände müssen konsistent strukturiert und systemübergreifend harmonisiert werden. Die Kopplung von Material- und Informationsfluss bildet dabei die Voraussetzung für automatisierte, transparente und steuerbare Prozesse. Nur wenn diese technische Grundlage zuverlässig funktioniert, kann die volle Leistungsfähigkeit des neuen Systems entfaltet werden.<sup>113</sup>

### **Kontinuierliche Verbesserung**

Mit dem operativen Start eines neuen Logistikkonzepts ist die Umsetzungsphase nicht abgeschlossen. Vielmehr beginnt an diesem Punkt die kontinuierliche Weiterentwicklung des Systems. Der sogenannte Kontinuierliche Verbesserungsprozess (KVP) orientiert sich am PDCA-Zyklus – Plan, Do, Check, Act – und stellt sicher, dass Prozesse fortlaufend evaluiert, angepasst und optimiert werden. Dazu werden geeignete Kennzahlen definiert, die eine objektive Erfolgsmessung ermöglichen. Abweichungen von den Zielwerten können so frühzeitig erkannt und durch geeignete Korrekturmaßnahmen adressiert werden. Regelmäßige

---

<sup>111</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 221-224

<sup>112</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 269 ff

<sup>113</sup> Vgl. Arnold (2006) S. 213 ff

Prozessreviews, strukturierte Feedbackformate und eine institutionalisierte Fehlerkultur fördern die Nachhaltigkeit der Optimierung. Der KVP ist somit kein reaktives Instrument zur Problemlösung, sondern ein integraler Bestandteil einer lernenden Organisation.<sup>114</sup>

### **Herausforderungen und Erfolgsfaktoren**

Die erfolgreiche Umsetzung logistischer Konzepte wird in der Praxis durch zahlreiche Herausforderungen begleitet. Eine wesentliche Schwierigkeit liegt in der Komplexität des Gesamtsystems, das sich aus einer Vielzahl technischer, organisatorischer und personeller Komponenten zusammensetzt. Häufig ist die Datenlage unvollständig oder veraltet, was die Qualität der Entscheidungsgrundlagen beeinträchtigt. Hinzu kommt die Notwendigkeit, unterschiedliche Teilbereiche wie IT, Logistikplanung, Betrieb und externe Dienstleister effizient aufeinander abzustimmen. Gerade an den Schnittstellen entstehen häufig Reibungsverluste, die den Projektverlauf gefährden können. Auch auf personeller Ebene ergeben sich Herausforderungen: Widerstände gegen Veränderungen, mangelnde Akzeptanz oder unzureichendes Verständnis für die geplanten Maßnahmen können die Einführung behindern.<sup>115</sup>

Die wichtigsten Erfolgsfaktoren lassen sich daher auf drei Ebenen verorten: Erstens bedarf es einer methodisch fundierten und vorausschauenden Planung, die alle relevanten Aspekte berücksichtigt. Zweitens ist eine klare Projektführung notwendig, die sowohl technisch-inhaltlich als auch kommunikativ überzeugt. Drittens müssen die Menschen im Unternehmen befähigt, eingebunden und motiviert werden, den Veränderungsprozess mitzutragen. Nur wenn alle Beteiligten ein gemeinsames Verständnis vom Zielbild und den notwendigen Schritten entwickeln, kann ein Logistikkonzept nachhaltig verankert und langfristig erfolgreich betrieben werden.<sup>116</sup>

Im nun folgenden Hauptkapitel wird die konzeptionelle Planung um den praktischen Anwendungsbezug erweitert. Dabei steht die praxisorientierte Konzeptentwicklung im Mittelpunkt, die exemplarisch aufzeigt, wie die zuvor beschriebenen Methoden, Instrumente und Strategien konkret in einem betrieblichen Umfeld zur Anwendung gebracht und erfolgreich umgesetzt werden können.

---

<sup>114</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 307 ff

<sup>115</sup> Vgl. Willibald Günthner (2011) S. 275-276

<sup>116</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 221 ff

### **3 PRAXISORIENTIERTE KONZEPTENTWICKLUNG UND UMSETZUNG**

Im Zentrum dieser Masterarbeit steht die Optimierung der innerbetrieblichen Transportwege sowie die Erhöhung der Prozesstransparenz durch den gezielten Einsatz von Radio Frequency Identification (RFID)-Technologie. Der praktische Teil dieser Arbeit widmet sich der Entwicklung eines entsprechenden Konzepts. Den Ausgangspunkt bildet eine systematische Analyse des bestehenden Transportprozesses, die als Grundlage für sämtliche weiterführenden Maßnahmen dient.

Dieser Abschnitt schafft die notwendige Transparenz hinsichtlich der gegenwärtigen logistischen Abläufe und ermöglicht es, bestehende Schwachstellen und Ineffizienzen fundiert zu identifizieren. Die Analyse erfolgt dabei in drei aufeinander aufbauenden Schritten: Zunächst wird die methodische Vorgehensweise der Datenerhebung und das daraus resultierende Prozessmapping beschrieben (Kapitel 3.1.1). Daran anschließend erfolgt die systematische Identifikation zentraler Effizienzhemmnisse im Materialfluss (Kapitel 3.1.2), bevor schließlich erste Handlungsempfehlungen abgeleitet werden (Kapitel 3.1.3).

Die Ergebnisse dieses Analyseabschnitts bilden das Fundament für die nachfolgenden Gestaltungsmaßnahmen und stellen sicher, dass die im weiteren Verlauf dieser Arbeit entwickelten Optimierungsansätze auf einer realitätsnahen, empirisch fundierten Basis aufbauen.

#### **3.1 Ist-Zustand der Transportprozesse**

Die Analyse des Ist-Zustands stellt einen essenziellen Bestandteil jeder intralogistischen Optimierungsmaßnahme dar. Ohne ein vollständiges und präzises Verständnis der aktuell bestehenden Prozesse, ihrer strukturellen Schwächen sowie der betriebsspezifischen Rahmenbedingungen kann keine Grundlage für wirksame Veränderungen geschaffen werden. Vor diesem Hintergrund wird in diesem Abschnitt systematisch dargelegt, wie die bestehenden Transportprozesse im Unternehmen methodisch erfasst und analysiert wurden, um fundierte Entscheidungsgrundlagen für die nachfolgende Konzeptentwicklung bereitzustellen.<sup>117</sup>

Die Relevanz einer derart tiefgehenden Untersuchung ergibt sich in diesem Fall aus einem strukturellen Paradigmenwechsel in der Materialversorgung: Mit der Inbetriebnahme einer neuen Laserschneidlinie in Halle 5 wurde der bis dahin externe Bezug von Blechzuschnitten vollständig auf eine interne Eigenfertigung umgestellt. Während das bisherige Versorgungskonzept auf wenigen, klar definierten und weitgehend linearen Materialflüssen beruhte, entstehen nun komplexe, mehrstufige interne Transportzyklen mit deutlich erhöhter Frequenz und einer Vielzahl an Schnittstellen.

Diese Transformation stellt die gewachsenen logistischen Strukturen vor erhebliche Herausforderungen – sowohl hinsichtlich der physischen Layoutgestaltung als auch im Hinblick auf die prozessuale Nachvollziehbarkeit und systemseitige Buchungslogik. Insbesondere die bestehende Lager- und Transportinfrastruktur erweist sich in ihrer derzeitigen Ausprägung als nicht ausreichend vorbereitet, um den neuen Anforderungen hinsichtlich Taktung, Transparenz und Prozesssicherheit gerecht zu werden. Die Folge sind

---

<sup>117</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 153 ff

erkennbare Effizienzverluste, unter anderem in Form doppelter Umlagerungen, Suchzeiten, Engpässen und Medienbrüchen in der Informationsverarbeitung.

Ziel der Analyse ist es daher, diese strukturellen Schwächen systematisch zu identifizieren, zu quantifizieren und in Beziehung zu den neuen Anforderungen zu setzen. Dabei wird neben der operativen Ablaufebene auch der organisatorische Kontext berücksichtigt. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Ausgangspunkt für die Entwicklung gezielter Maßnahmen im weiteren Verlauf dieser Arbeit und bilden zugleich das Fundament für die spätere Bewertung des Optimierungspotenzials.

Der nachfolgende Abschnitt beschreibt detailliert, welche Methoden zur Datenerhebung und Prozessdokumentation angewendet wurden und in welcher Form die relevanten logistischen Abläufe kartiert und ausgewertet wurden.

### **3.1.1 Datenerhebung und Prozessmapping**

Die Datenerhebung und das Prozessmapping bilden das Herzstück der Ist-Analyse. Um die hochkomplexen, oft dynamischen und mehrstufigen Abläufe innerhalb des intralogistischen Systems analytisch greifbar zu machen, ist eine methodisch fundierte Erhebung des Ist-Zustands unerlässlich. Sie liefert die notwendigen Daten und Visualisierungen, auf deren Basis ineffiziente Strukturen, Engpässe und organisatorische Schwächen systematisch identifiziert werden können.

#### **3.1.1.1 Methodisches Vorgehen der Datenerhebung**

Das in dieser Arbeit angewandte Vorgehen zur Datenerfassung folgt einem klar strukturierten und ganzheitlichen Ansatz, der sowohl qualitative als auch quantitative Methoden kombiniert. Dies gewährleistet eine umfassende Perspektive auf die Materialflüsse und ihre Begleitumstände, da einseitige Betrachtungen, die sich ausschließlich auf Zahlen oder allein auf Beobachtungen stützen, oft nicht ausreichen, um die Ursachen komplexer Probleme zu ergründen.

#### **Beobachtungen vor Ort**

Dieser Ansatz zählt zu den Primärerhebungsmethoden und ermöglicht eine direkte Einsicht in die operativen Abläufe. Über einen Zeitraum von mehreren Tagen werden die tatsächlichen Materialbewegungen im Lager, im Zwischenlager und in den Produktionsbereichen systematisch beobachtet und dokumentiert. Der Fokus liegt hierbei auf der Identifizierung typischer Transportwege, auftretender Standzeiten und potenzieller Engpässe. Die direkte Beobachtung ist entscheidend, um informelle Abläufe, nicht-systematische Entscheidungen und ad-hoc-Lösungen zu erfassen, die in reinen Datensätzen oft nicht sichtbar sind. Sie ermöglicht es, die "physischen Bewegungen von Gütern" im Detail zu studieren und deren "Wechselwirkungen mit der zugehörigen Informationsverarbeitung" zu verstehen. Beispielsweise können die tatsächlichen Laufwege von Staplern, die Art und Weise der Warenbereitstellung oder unerwartete Wartezeiten an Übergabepunkten direkt erfasst werden. Dies geht über die reine Erfassung von Transportzeiten hinaus und beinhaltet die qualitative Beurteilung von "Weghindernissen, Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Prozessen sowie betriebliche Abläufe".

### **Interviews mit Mitarbeitenden**

Als ergänzende qualitative Methode zu den Beobachtungen dienen strukturierte und teilstrukturierte Interviews mit Schlüsselpersonen aus den Bereichen Lager, interner Transport und Fertigung. Der Mehrwert dieser Gespräche liegt in der Gewinnung von Erfahrungswerten und praktischen Hinweisen aus erster Hand, die oft tiefere Einblicke in die täglichen Abläufe und deren Herausforderungen bieten. Mitarbeitende können Schwachstellen benennen, die nicht unmittelbar beobachtbar sind, da sie über Prozesswissen, historische Kontexte und das Wissen über "menschliche Fehlerquellen" verfügen. Solche Informationen sind für die Identifikation von Wurzelursachen unerlässlich. Die Interviews ermöglichen es auch, die Perspektive der operativen Ebene auf die logistischen Rahmenbedingungen und die Rolle der Masterarbeit im Projektkontext zu verstehen. Sie helfen dabei, Widerstände gegen Veränderungen frühzeitig zu erkennen und die späteren Handlungsempfehlungen praxistauglich zu gestalten, indem sie "mangelnde Akzeptanz oder unzureichendes Verständnis für die geplanten Maßnahmen" adressieren.

### **Transportprotokolle (Quantitative Datenerhebung)**

Die quantitativste und wohl arbeitsintensivste Methode ist die Erfassung mittels speziell entwickelter Transportprotokollbögen. Diese Protokolle werden über einen definierten Zeitraum (zwei Wochen) täglich von den Fahrern ausgefüllt. Jedes Transportprotokoll enthält eine Vielzahl detaillierter Datenfelder, die eine präzise Nachverfolgung der Materialflüsse im Unternehmen ermöglichen. Die erfassten Datenfelder umfassen:

- Name des Fahrers und Datum: Zur Nachverfolgung und Zuordnung der Bewegungen.
- Transportnummer: Dient der eindeutigen Identifikation jedes einzelnen Transportvorgangs.
- Startpunkt und Zielpunkt: Fundamentale Informationen zur Rekonstruktion der physischen Wege.
- Stehzeit und Grund der Stehzeit: Diese Felder sind von besonderer Relevanz, da sie direkte Hinweise auf Wartezeiten, Engpässe und deren Ursachen liefern. Beispiele hierfür sind "Geordnete Einlagerung vorkommissionierter Waren" oder "Wartezeit wegen verstellter Ware".
- LKW-Entladezeit und LKW-Ladezeit: Wichtig für die Analyse von externen Schnittstellen und deren Auswirkungen auf interne Abläufe.
- Bemerkungsfeld für Problembeschreibungen: Ein qualitatives Feld, das wiederkehrende Schwierigkeiten wie unklare Abstellorte, fehlende Ladehilfsmittel oder Engpässe bei der Staplerverfügbarkeit erfasst.

Diese detaillierte Dokumentation ermöglicht eine systematische Auswertung nach Transportverläufen (z.B. Transporte ins/aus dem Zwischenlager, Bewegungen zwischen Verpackung, Fertigung, Lager oder Lackierung). Die Unterscheidung dieser Transportwege ist von entscheidender Bedeutung, um die Transportintensität zwischen verschiedenen Zonen zu bewerten.

### 3.1.1.2 Datenverarbeitung und -analyse

Die rohen Transportprotokolle werden digitalisiert und in einer strukturierten Excel-Datei mit mehreren Tabellenblättern verarbeitet, um eine saubere Trennung von Datenerfassung, -verarbeitung und -auswertung zu gewährleisten.

- Datenbank-Blatt: Dient als zentrales Archiv für alle ausgefüllten Transportprotokolle. Jede Zeile stellt einen einzelnen Transportvorgang dar.
- Daten-Blatt: Enthält unterstützende Informationen wie Hilfstabellen, Sortierkriterien oder Ergänzungen zur Datenbereinigung. Dieses Blatt ermöglicht Rückschlüsse und Verknüpfungen, beispielsweise für Gruppierungen nach Bereichen oder die Umkodierung von Bezeichnungen. Dies ist entscheidend, um eine "redundanzfreie und aussagekräftige Datengrundlage" zu schaffen.
- Ergebnisse-Blatt: Hier werden die gesammelten Transportdaten aggregiert und ausgewertet, insbesondere der Palettendurchsatz in den Zwischenlagern. Die täglichen IN- und OUT-Bewegungen werden gezählt und summiert, um ein klares Bild der Materialflüsse und ihrer Intensität über den zweiwöchigen Analysezeitraum zu erhalten.

## Praxisorientierte Konzeptentwicklung und Umsetzung

Tabelle 1: Beispiele aus Datenbankblatt

Datum	Transport-Nummer	Start	Ziel	Stehzeit in h	A	Grund der Stehzeit	LKW Entladung	Probleme
03.02.2025	38	Zelt 1	Zelt 2	0,033		Geordnete Einlagerung vorkommissionierter Waren Stapler klein		
03.02.2025	47				Halle3	Laden der Ware	0,333	
03.02.2025	6					Entladen der Ware	1,5	
03.02.2025	8			1,5	Lackierung	Materialtransport		
03.02.2025	3		BGZ A	0,75				
03.02.2025	4		BGZ A	0,5				
03.02.2025	11	Halle 8		0,25	Halle8	Lagerung der Ware gemäß den allgemeinen Lagerrichtlinien		
03.02.2025	12	Halle 8		0,25	Halle8	Lagerung der Ware gemäß den allgemeinen Lagerrichtlinien		
03.02.2025	18	Halle 8		1	Halle8	Lagerung der Ware gemäß den allgemeinen Lagerrichtlinien		
03.02.2025	6			0,333	BGZ	Durchführung von Qualitäts- und Mengenprüfungen der eingehenden Waren		
03.02.2025	7			1	BGZ	Durchführung von Qualitäts- und Mengenprüfungen der eingehenden Waren		
03.02.2025	10			0,166	BGZ	Durchführung von Qualitäts- und Mengenprüfungen der eingehenden Waren		
03.02.2025	12			2,75	STU	Durchführung von Qualitäts- und Mengenprüfungen der eingehenden Waren		
04.02.2025	19					Laden der Ware	0,033	
04.02.2025	33					Laden der Ware	0,166	
04.02.2025	1	Halle 7 Verpackung		1		Materialtransport		
04.02.2025	2	VLP C				Laden der Ware	0,75	
04.02.2025	4	Halle 7 Lackierung		0,5		Materialtransport		
04.02.2025	7	Halle 7 Verpackung		0,75		Materialtransport		
04.02.2025	21			0,25				Wartezeit wegen verstellter Ware (Wellenboxen Z02)
04.02.2025	16	Halle 8		0,5		Materialtransport		
04.02.2025	4			0,166		Durchführung von Qualitäts- und Mengenprüfungen der eingehenden Waren		
04.02.2025	6			0,5		Durchführung von Qualitäts- und Mengenprüfungen der eingehenden Waren		
04.02.2025	7			0,75	STU	Kennzeichnung der Ware		

## Praxisorientierte Konzeptentwicklung und Umsetzung

Tabelle 2: Daten-Blatt

Datum	Fahrer	Orte	Transport von Start	Start	Ziel	Transport von Ziel	Ziel	Start
03.02.2025	1	BGZ A	BGZ A BGZ A	BGZ A	BGZ A	BGZ A Halle 2	BGZ A	Halle 2
04.02.2025	2	BGZ F	BGZ A BGZ F	BGZ A	BGZ F	BGZ A Halle 3	BGZ A	Halle 3
05.02.2025	3	BGZ G	BGZ A BGZ G	BGZ A	BGZ G	BGZ A VLP C	BGZ A	VLP C
06.02.2025	4	Halle 10	BGZ A Halle 2	BGZ A	Halle 2	BGZ A BGZ A	BGZ A	BGZ A
07.02.2025	5	Halle 2	BGZ A Halle 3	BGZ A	Halle 3	BGZ A Halle 7 Lackierung	BGZ A	Halle 7 Lackierung
10.02.2025	6	Halle 2 Mittelgang	BGZ A Halle 4	BGZ A	Halle 4	BGZ A Halle 4	BGZ A	Halle 4
11.02.2025	7	Halle 3	BGZ A Halle 7 Lackierung	BGZ A	Halle 7 Lackierung	BGZ A VLP D	BGZ A	VLP D
12.02.2025	8	Halle 4	BGZ A Halle 8	BGZ A	Halle 8	BGZ A BGZ G	BGZ A	BGZ G
13.02.2025		Halle 5	BGZ A QS	BGZ A	QS	BGZ F BGZ A	BGZ F	BGZ A
14.02.2025		Halle 7 Lackierung	BGZ F Halle 3	BGZ F	Halle 3	BGZ F Halle 4	BGZ F	Halle 4
		Halle 7 Verpackung	BGZ G BGZ A	BGZ G	BGZ A	BGZ G BGZ A	BGZ G	BGZ A
		Halle 8	BGZ G BGZ G	BGZ G	BGZ G	BGZ G Halle 2	BGZ G	Halle 2
		Halle 9	BGZ G Halle 3	BGZ G	Halle 3	BGZ G BGZ G	BGZ G	BGZ G
		I42	BGZ G I42	BGZ G	I42	BGZ G Halle 4	BGZ G	Halle 4
		LWST	Halle 10 Halle 2	Halle 10	Halle 2	Halle 10 Halle 7 Lackierung	Halle 10	Halle 7 Lackierung
		QS	Halle 10 Halle 3	Halle 10	Halle 3	Halle 10 Halle 4	Halle 10	Halle 4
		VLP B	Halle 10 Halle 7 Lackierung	Halle 10	Halle 7 Lackierung	Halle 10 VLP C	Halle 10	VLP C
		VLP C	Halle 10 Halle 7 Verpackung	Halle 10	Halle 7 Verpackung	Halle 10 Zelt 2	Halle 10	Zelt 2
		VLP D	Halle 10 VLP B	Halle 10	VLP B	Halle 10 Zelt 1	Halle 10	Zelt 1
		Zelt 1	Halle 10 VLP D	Halle 10	VLP D	Halle 10 Halle 7 Verpackung	Halle 10	Halle 7 Verpackung
		Zelt 2	Halle 10 Zelt 2	Halle 10	Zelt 2	Halle 10 Halle 3	Halle 10	Halle 3

## Praxisorientierte Konzeptentwicklung und Umsetzung

---

Tabelle 3: Ergebnisse-Blatt

Transport von Start	03.02.2025	04.02.2025	05.02.2025	06.02.2025	07.02.2025	10.02.2025	11.02.2025	12.02.2025	13.02.2025	14.02.2025	Gesamt
BGZ A BGZ A	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4
BGZ A BGZ F	0	1	11	7	0	5	1	14	0	0	39
BGZ A BGZ G	0	2	5	16	0	4	5	26	14	0	72
BGZ A Halle 2	0	3	0	2	1	0	1	0	1	0	8
BGZ A Halle 3	0	0	2	1	2	0	1	0	0	0	6
BGZ A Halle 4	0	1	0	0	0	0	3	0	1	0	5
BGZ A Halle 7 Lackierung	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
BGZ A Halle 8	0	1	1	1	0	10	0	0	0	0	13
BGZ A QS	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
BGZ F Halle 3	0	1	1	2	8	4	9	3	2	0	30
BGZ G BGZ A	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
BGZ G BGZ G	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
BGZ G Halle 3	4	2	5	6	1	7	6	2	7	2	42
BGZ G 42	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Halle 10 Halle 2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Halle 10 Halle 3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
Halle 10 Halle 7 Lackierung	0	0	1	0	2	1	0	0	0	2	6
Halle 10 Halle 7 Verpackung	3	2	2	0	0	0	1	1	0	0	9

### Analyse des Palettendurchsatzes

Die Analyse des Palettendurchsatzes liefert wichtige quantitative Einblicke in die Dynamik der Materialflüsse. Die erhobenen Zahlen zeigen spezifische Muster für die verschiedenen Lagerbereiche:

Tabelle 4: Paletten Ein- und Ausgänge der Zelte

Datum	IN			OUT		
	Zelt 1	Zelt 2	Halle 2 Mittelgang	Zelt 1	Zelt 2	Halle 2 Mittelgang
03.02.2025	17	9	9	30	9	2
04.02.2025	14	1	5	15	6	7
05.02.2025	18	12	11	21	10	10
06.02.2025	18	11	9	31	5	8
07.02.2025	0	1	1	8	10	3
10.02.2025	21	11	6	30	12	8
11.02.2025	14	10	3	31	4	1
12.02.2025	27	4	19	15	6	0
13.02.2025	13	11	3	20	7	5
14.02.2025	8	2	0	5	2	0
<b>Gesamt</b>	<b>150</b>	<b>72</b>	<b>66</b>	<b>206</b>	<b>71</b>	<b>44</b>
<b>Durchschnitt</b>	<b>15</b>	<b>7,2</b>	<b>6,6</b>	<b>20,6</b>	<b>7,1</b>	<b>4,4</b>

- Zelt 1: Zeigt mit 206 Palettenabgängen und 150 Zugängen eine deutlich höhere Auslagerungsfrequenz. Dies deutet auf einen schnellen Durchsatz und eine zentrale Rolle in der bisherigen Lagerlogistik hin, wobei es als Hauptzwischenlager für externe Zuschnitte diente. Dies steht im Kontrast zu seiner zukünftigen Rolle als Lager für allgemeine Lagerware.
- Zelt 2: Weist mit 72 Zugängen und 71 Abgängen ein nahezu ausgeglichenes Mengenverhältnis auf. Dies bestätigt seine bisherige Funktion als temporäres Zwischenlager, jedoch ohne die klare Prozesszuordnung, die für die zukünftige Rolle als zentrales Drehkreuz für interne Blechteile notwendig ist.
- Halle 2 Mittelgang: Zeigt eine Nettozunahme (66 IN / 44 OUT). Dies kann auf eine unbeabsichtigte Lagerbildung oder Verzögerungen bei der Abholung hindeuten und ist ein früher Indikator für potenzielle Engpässe oder unzureichende Stellplatzlogik.

Diese Durchsatzzahlen sind von hoher Relevanz für die Kapazitätsplanung und die Anpassung von Layout und Ressourcenverteilung in den Lagerbereichen. Sie fließen direkt in die Dimensionierung von Lagerzonen, Pufferflächen und Transportfrequenzen ein, welche in den Handlungsempfehlungen konkretisiert werden.

### 3.1.1.3 Prozessmapping und Visualisierung – Das Spaghetti-Diagramm

Ein zentrales Werkzeug zur Visualisierung des Ist-Zustands des Materialflusses ist das Spaghetti-Diagramm. Es bildet die realen Transportwege auf dem Lagerlayout ab und macht komplexe Bewegungsabläufe auf einen Blick verständlich. Für diese Analyse werden ausschließlich Materialbewegungen betrachtet, die dem Transport an die Fertigung in Halle 3 unmittelbar vorgelagert sind, um die kritischen Wege für die Fertigungsversorgung sichtbar zu machen.<sup>118</sup>

Das Iststand Warenfluss-Diagramm (Abbildung 3) zeigt eine unübersichtliche Wegeführung. Die Farblegende hierfür ist bereits unter Abbildung 2 zu finden. Viele "rote Direktbewegungen" (direkte Transporte auf den Fertigungsarbeitsplatz) aus verschiedenen Bereichen wie Zelt 1, BGZ-A, F, G und Zelt 2 kreuzen sich im Mittelgang und in den Torbereichen nach Halle 3. Blaue Linien, die Material im Zwischenlager abbilden, das erst kommissioniert werden muss, zeigen wiederholtes Zwischenlagern und erneutes Aufsuchen der Kommissionierung (Zone 2 ↔ Zone 3). Dies weist auf doppelte Umlagerungen hin – eine kritische Ineffizienz. Zudem ist eine hohe Kreuzungsdichte vor Tor Halle 3 erkennbar, wo sich Stapler in Spitzenzeiten stauen.

---

<sup>118</sup> Vgl. Arnold/Furmans (2019) S. 269 ff

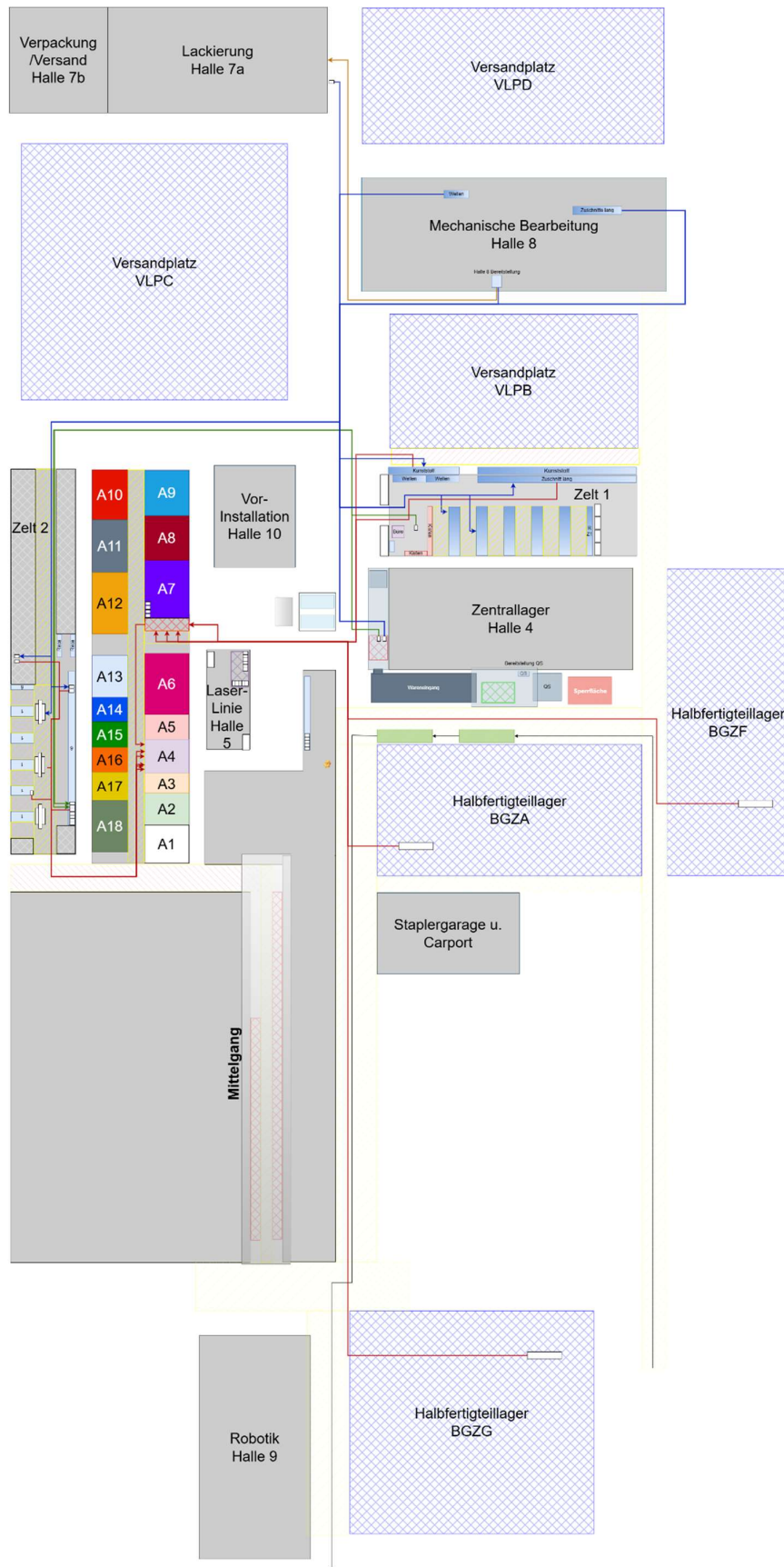


Abbildung 3: Iststand Warenfluss

Die farbigen Linien spiegeln dabei die jeweiligen Transportwege wider:



Abbildung 4: Farblegende Transportwege

Ergänzt wird die Visualisierung durch die Transportmatrix und Distanzmatrix. Die Transportmatrix quantifiziert die Anzahl der Transporte zwischen verschiedenen Punkten, während die Distanzmatrix die physischen Entfernungen in Metern angibt. Diese Matrizen bilden die quantitative Grundlage für die Identifizierung von Hot-Spots und die Berechnung der "Wegmeter". Beispielsweise zeigt die Transportmatrix (Tabelle 2) die Häufigkeit von Transporten zwischen einzelnen Hallen und Zonen, während die Distanzmatrix (Tabelle 3) die zugehörigen Weglängen liefert. Diese Zahlen liefern die notwendigen Metriken für die Effizienzmessung.

## Praxisorientierte Konzeptentwicklung und Umsetzung

Tabelle 5: Transportmatrix – Häufigkeit der Fahrten von A nach B

Von Zu	Halle 2	Halle 3	VLP C	BGZ A	Halle 7 Lackierung	Halle 4	VLP D	BGZ G	Zelt 2	Zelt 1	Halle 7 Verpackung	Halle 8	Halle 2 Mittelgang	Halle 10	Halle 5	BGZ F	VLP B	Halle 9	QS
Halle 7 Verpackung	36	36	2	0	44	9	3	0	0	0	1	1	0	9	8	0	0	0	0
Halle 4	37	12	0	5	3	0	0	0	9	9	31	6	0	0	3	0	0	0	1
Halle 7 Lackierung	130	146	0	1	18	20	3	0	0	1	5	5	0	6	2	0	0	0	0
Halle 2	13	1	0	8	62	54	0	0	7	53	3	53	44	1	1	0	0	0	0
Halle 3	2	32	2	6	62	27	0	42	48	44	2	55	0	2	0	30	1	1	0
Zelt 2	0	3	0	0	2	25	0	0	1	34	0	6	0	1	0	0	0	0	0
VLP D	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	52	0	0	1	0	0	0	0	0
VLP B	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	14	0	0	1	0	0	0	0	0
Zelt 1	0	18	0	0	0	15	0	0	1	0	0	116	0	0	0	0	0	0	0
Halle 8	25	33	0	13	1	26	0	0	1	33	0	50	0	0	0	0	0	0	1
Halle 2 Mittelgang	2	0	0	0	1	27	0	0	2	30	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Halle 5	0	0	6	0	1	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
LWST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Halle 10	0	1	5	0	17	20	0	0	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
VLP C	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0
I42	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
BGZ G	1	0	0	72	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BGZ A	7	12	2	4	5	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BGZ F	0	0	0	39	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Halle 9	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
QS	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Praxisorientierte Konzeptentwicklung und Umsetzung

Tabelle 6: Distanzmatrix

Werte in meter	Halle 2	Halle 3	VLP C	BGZ A	Halle 7 Lackierung	Halle 4	VLP D	BGZ G	Zelt 2	Zelt 1	Halle 7 Verpackung	Halle 8	Halle 2 Mittelgang	Halle 10	Halle 5	BGZ F	VLP B	Halle 9	QS
Halle 7 Verpackung	300	270	50	265	95	190	120	350	100	180	0	140	320	130	240	320	160	340	250
Halle 4	80	60	100	60	150	0	170	170	170	50	190	120	130	50	50	130	80	150	60
Halle 7 Lackierung	210	210	60	200	0	150	70	300	200	130	95	120	280	140	200	270	110	300	200
Halle 2	0	70	160	100	280	80	220	90	120	110	300	170	70	70	68	170	130	20	100
Halle 3	70	0	30	100	210	60	200	180	40	100	270	170	50	40	20	160	120	180	100
Zelt 2	120	40	50	190	200	170	200	270	0	130	100	160	70	80	120	260	120	140	190
VLP D	220	200	100	210	70	170	0	310	200	150	120	130	300	150	210	220	130	310	220
VLP B	130	120	60	110	110	80	130	210	120	50	160	70	200	60	120	190	0	210	130
Zelt 1	110	100	80	90	130	50	150	190	130	0	180	95	170	70	95	170	50	190	100
Halle 8	170	170	100	160	120	120	130	260	160	95	140	0	240	110	170	180	70	260	170
Halle 2 Mittelgang	70	50	150	160	280	130	300	90	70	170	320	240	0	110	95	230	200	60	170
Halle 5	68	20	90	90	200	50	210	180	120	95	240	170	95	40	0	150	120	170	100
LWST	70	50	150	160	280	130	300	90	70	170	320	240	0	110	95	230	200	60	170
Halle 10	80	40	30	95	140	50	150	190	80	70	130	110	110	0	40	170	60	180	110
VLP C	160	30	0	150	60	100	100	250	50	80	50	100	150	30	90	220	60	240	150
I42	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
BGZ G	270	180	250	120	300	170	310	0	270	190	350	260	90	190	180	185	210	50	170
BGZ A	100	100	150	0	200	60	210	120	190	90	265	160	160	90	90	40	110	110	70
BGZ F	170	160	220	40	270	130	220	185	260	170	320	180	230	170	150	0	190	180	70
Halle 9	20	180	240	110	300	150	310	50	140	190	340	260	60	180	170	180	210	0	160
QS	100	100	150	70	200	60	220	170	190	100	250	170	170	110	100	70	130	160	0

### 3.1.2 Identifikation von Effizienzhemmnissen im Materialfluss

Die gezielte Identifikation von Effizienzhemmnissen ist ein zentraler Schritt im Rahmen jeder logistischen Optimierungsmaßnahme. Erst wenn die Ursachen für nichtwertschöpfende Abläufe, unnötige Bewegungen und Prozessverzögerungen im Detail analysiert sind, können fundierte und wirksame Maßnahmen abgeleitet werden. In dieser Phase der Untersuchung steht somit nicht die technische Lösungsentwicklung im Vordergrund, sondern das kritische Erkennen und Bewerten jener strukturellen, organisatorischen und systemischen Schwächen, die den aktuellen Materialfluss innerhalb des Unternehmens beeinträchtigen.<sup>119</sup>

Die vorliegende Analyse basiert auf einem kombinierten qualitativen und quantitativen Vorgehen, wie es bereits im vorangegangenen Kapitel ausführlich beschrieben wurde. Grundlage bilden 2300 Transportvorgänge, Scanereignisse, Wartezeiten und Protokolleinträge aus dem Zeitraum vom 3. bis 14. Februar 2025. Diese wurden ergänzt durch Beobachtungen vor Ort, Rückmeldungen aus strukturierten Interviews mit Mitarbeitenden der operativen Bereiche sowie durch Visualisierungen der realen Transportbewegungen im Spaghetti-Diagramm. Methodisch wurde auf eine induktive Vorgehensweise zurückgegriffen, bei der aus konkreten Einzelvorgängen generalisierbare Muster und Ursachen abgeleitet wurden.

Im Ergebnis konnten drei übergeordnete Kategorien von Ineffizienzen herausgearbeitet werden, die sich durch ihre Häufigkeit, Wirkung und strukturelle Verankerung als besonders relevant erwiesen haben:

- Doppelte Umlagerungen und unnötige interne Schleifen
- Warte- und Standzeiten durch organisatorische und technische Verzögerungen
- Suchzeiten als Folge mangelhafter Transparenz und Buchungslogik

Tabelle 7: Ineffizienz Kategorien

Rang	Ineffizienz-Kategorie	Häufigkeit*	Zeitverlust in h	Typisches Beispiel (Transport-ID)
1	<b>Doppelte Umlagerung / Schleifen</b>	71 Umläufe (≈ 22 % aller Paletten)	28,4	Zelt 1 → Zelt 2 → Halle 3 dieselbe Palette legte 290 m zurück, davon 190 m ohne Wertschöpfung
2	<b>Warte- &amp; Standzeiten</b>	46 Fälle ≥ 10 min	11,3	„Entladen der Ware“ 1,5 h Blockierung WE-H4
3	<b>Suchzeiten wegen fehlender Kennzeichnung</b>	29 Meldungen	5,8	„Wartezeit wegen <i>verstellter Wellenboxen Z02</i> “ – 0,15 h Staplerkreislauf

<sup>119</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 31 ff

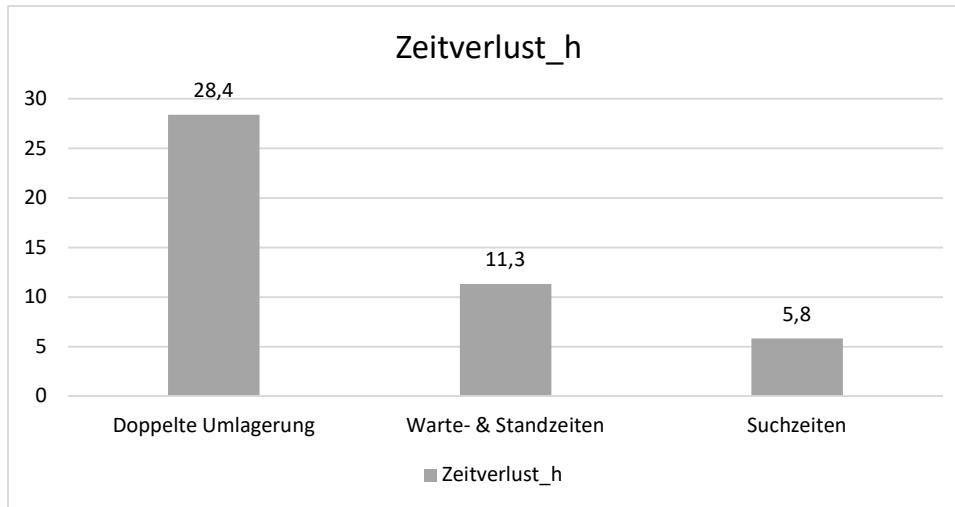


Abbildung 5: Grafische Darstellung des Zeitverlustes

Diese Bereiche werden im Folgenden detailliert dargestellt, wobei jeweils auf beobachtete Muster, dokumentierte Beispiele, analysierte Auswirkungen sowie identifizierte Ursachen eingegangen wird. Ergänzend dazu erfolgt eine Verknüpfung mit den theoretischen Grundlagen der Intralogistik (Kapitel 2), um die erkannten Probleme in einen methodischen Rahmen einzuordnen und ihre strategische Relevanz für das Gesamtprojekt zu verdeutlichen.

### 3.1.2.1 Doppelte Umlagerungen – nichtwertschöpfende interne Schleifen

Die häufigste und zugleich logistisch teuerste Form der ineffizienten Bewegung innerhalb des untersuchten Systems betrifft die sogenannten doppelten Umlagerungen. Gemeint ist damit das mehrfache interne Umsetzen von Materialien, ohne dass zwischen den Bewegungen ein produktiver oder wertschöpfender Verarbeitungsschritt stattfindet. Im untersuchten Unternehmen ist diese Form der Verschwendung nicht nur punktuell vorhanden, sondern tritt in einem derartigen Ausmaß auf, dass sie als strukturell bedingt zu interpretieren ist.

#### Beobachtetes Muster

Ein signifikanter Teil der internen Transporte erfolgt nicht direkt von einem Lager- oder Pufferort zur Produktionsversorgung, sondern über eine Zwischenstation, die keinerlei funktionalen Mehrwert bietet. Typisch ist hierbei der Ablauf: Wareneingang oder BGZ-Bereich → Zelt 1 → Zelt 2 → Bereitstellung zur Fertigung in Halle 3. Diese Art der Umlagerung findet häufig ohne konkrete Planung statt und ist auch nicht durch platztechnische Engpässe begründet. Stattdessen ist sie Ausdruck einer unzureichenden Stellplatzstrategie, eines fehlenden Prozessverständnisses sowie mangelnder Transparenz hinsichtlich der Funktion der einzelnen Lagerbereiche.

Die Protokolle zeigen, dass rund 22 % aller Palettenbewegungen diesem Muster folgen. Ein exemplarischer Fall findet sich unter der Transportnummer 38 vom 05.02.2025: Die Palette wird aus dem Bereich BGZ A zunächst nach Zelt 1 gebracht. Nach kurzer Lagerdauer erfolgt ein interner Transport nach Zelt 2. Erst von dort wird die Ware schließlich zur Fertigung verbracht. Diese „Schleife“ kostet Zeit, Kapazität und

erzeugt keinen Mehrwert – sie ist damit im Sinne der Lean-Logistik als klassische Verschwendung („Muda“) zu klassifizieren.

### **Quantifizierbare Auswirkungen**

Die Auswirkungen dieser wiederholten internen Umlagerungen sind sowohl auf taktischer als auch auf strategischer Ebene erheblich:

- Erhöhter Transportaufwand: Pro doppelte Umlagerung entstehen im Mittel 90 zusätzliche Laufmeter. Bei einer Tagesfrequenz von 50 betroffenen Paletten summiert sich dies auf 4,5 km zusätzliche Staplerfahrten pro Tag. Hochgerechnet auf ein Jahr ergibt sich ein signifikanter Mehraufwand an Fahrleistung.
- Kumulierte Zeitverluste: Im Analysezeitraum wurden insgesamt 28,4 Stunden an reiner Transportzeit dokumentiert, die ausschließlich auf doppelte Umlagerungen zurückzuführen sind – ohne Einschluss von Lade- und Wartezeiten.
- Bindung von Ressourcen: Diese Umlagerungen blockieren Stapler, Fahrer und Verkehrsflächen. Gleichzeitig steigt der Wartungsbedarf der eingesetzten Fahrzeuge bei steigender Belastung.
- Verlängerung der Durchlaufzeit: Jeder zusätzliche Transport verlängert die Durchlaufzeit des Materials und reduziert die Lieferperformance.

Diese Effekte stehen im direkten Gegensatz zu den in Kapitel 2.2 beschriebenen Zielen einer flussorientierten Intralogistik, die sich durch eine Reduktion der Schnittstellen, kurze Wege, stabile Routings und eine minimierte Umlagerungsquote auszeichnet.

### **Ursachenanalyse**

Die Ursachen für diese Art der nichtwertschöpfenden Bewegung sind vielfältig, lassen sich jedoch auf drei Hauptursachen verdichten:

- Fehlende Stellplatzlogik: In Zelt 2 fehlt eine strukturierte Einteilung der Lagerflächen. Die Vermischung von Wareneingang, Zwischenlagerung und Kommissionierung führt dazu, dass verfügbare Flächen häufig nicht funktional, sondern opportunistisch genutzt werden. Die Folge ist ein Bedarf an späterer Umlagerung.
- Unklare funktionale Abgrenzung: Die Rollen von Zelt 1 und Zelt 2 sind nicht eindeutig definiert. Während Zelt 1 ursprünglich als Hauptzwischenlager fungierte, wurde Zelt 2 zunehmend für die Kommissionierung genutzt – jedoch ohne entsprechende Anpassung der Prozesse. Dadurch entstehen vermeidbare Umlagerungen.
- Fehlende Ausschleuslogik: Es existiert kein System, das erkennt, wann eine Palette zur Fertigung freigegeben ist. Ohne digitale Unterstützung oder feste Priorisierungsregeln erfolgt die Auswahl der zu bewegenden Paletten häufig manuell und nach subjektivem Ermessen.

Darüber hinaus verstärkt der derzeitige Mangel an digitaler Materialverfolgung die Unfähigkeit, den Materialfluss in Echtzeit zu überwachen und zu steuern.

### **3.1.2.2 Warte- und Standzeiten – verdeckte Prozessunterbrechungen im Tagesgeschäft**

Wartezeiten zählen zu den am schwersten zu quantifizierenden, zugleich aber bedeutendsten Effizienzhemmnissen innerhalb logistischer Systeme. Sie treten häufig verdeckt auf, verteilen sich unregelmäßig über verschiedene Prozessschritte und können nicht immer eindeutig einer Ursache zugeordnet werden. In der innerbetrieblichen Logistik entstehen Warte- und Standzeiten primär durch mangelnde Synchronisation zwischen beteiligten logistischen Schnittstellen, fehlende Transparenz über Stellplatzverfügbarkeit oder unzureichende Ressourcenkoordination.

#### **Beobachtungen im Untersuchungszeitraum**

Im Rahmen der Transportprotokolle wurden insgesamt 46 Fälle dokumentiert, in denen die registrierte Wartezeit pro Vorgang zehn Minuten oder mehr betrug. In den Bemerkungsfeldern wurden dabei verschiedene Auslöser genannt, darunter, „keine Gitterbox“, „kein Platz in Zone 2“ oder „LKW wird noch entladen“. Solche Ereignisse sind kein Einzelfall, sondern deuten auf strukturelle Defizite im Ressourcenmanagement hin.

Die aufsummierte Wartezeit aller dokumentierten Fälle im Analysezeitraum beträgt 11,3 Stunden, was bei Betrachtung der Anzahl aktiver Transportfahrzeuge einem produktiven Verlust von etwa 12 % Staplerverfügbarkeit pro Schicht entspricht. Diese Zahl erhält zusätzliches Gewicht, wenn man bedenkt, dass diese Zeit nicht etwa durch unvorhergesehene Ereignisse, sondern durch systematisch wiederkehrende Hindernisse verursacht wurde.

#### **Auswirkungen auf den Gesamtprozess**

Die betriebswirtschaftlichen und prozessualen Folgen dieser Wartezeiten sind vielfältig:

- Kapazitätsbindung ohne Output: Stapler und Personal werden in inaktiven Phasen gebunden. Diese Ressourcen stehen nicht für andere Tätigkeiten zur Verfügung, obwohl sie technisch einsatzbereit wären.
- Verzögerung der Materialbereitstellung: Wartezeiten führen zu einem zeitlichen Versatz in der Produktionsversorgung. Da interne Transporte häufig aufeinander aufbauen (z. B. bei Taktfertigung oder Werkstattfertigung), entstehen Dominoeffekte in den nachgelagerten Prozessen.
- Störung der Produktionssynchronität: Wenn Materialien verspätet bereitgestellt werden, muss entweder auf andere Aufträge ausgewichen oder die Produktion kurzfristig umdisponiert werden. Dies erhöht die interne Komplexität.
- Stress und Unzufriedenheit im Personal: Wiederholte Verzögerungen und ineffiziente Abläufe wirken sich negativ auf die Motivation und das Belastungsempfinden des Personals aus, insbesondere wenn Ursachen als strukturell „nicht beeinflussbar“ wahrgenommen werden.

In der Gesamtheit zeigen diese Auswirkungen, dass Wartezeiten mehr als nur temporäre Verzögerungen darstellen. Sie sind Ausdruck einer systemischen Unausgeglichenheit zwischen Planung, Steuerung und Durchführung des Materialflusses. Im Vergleich zu den im Kapitel 2.1 beschriebenen Zielen einer „prozess-synchronen Logistik“ mit hoher Taktgenauigkeit und minimalem Pufferbestand, weichen die Ist-Prozesse erheblich vom angestrebten Ideal ab.

#### **Ursachenanalyse – Drei Hauptverursacher im Fokus**

Die Analyse der Transportprotokolle und Beobachtungen vor Ort lassen sich auf drei Ursachenfelder verdichten:

- **Blockierte oder belegte Stellplätze:** In mehreren Fällen konnten Paletten nicht eingelagert werden, da keine systemseitige Übersicht über belegte Stellflächen bestand. Die Fahrer mussten entweder warten, bis Platz geschaffen wurde, oder vor Ort Rücksprache halten, was zusätzliche Zeit in Anspruch nahm.
- **Fehlende Ladungsträger oder Ladehilfsmittel:** In neun protokollierten Fällen war der Transport auf Grund fehlender Gitterboxen oder Europaletten nicht möglich. Insbesondere der „Gitterboxen außer Haus“-Vermerk weist auf Defizite im Leergutmanagement hin, was den Materialfluss verlangsamte und Lagerprozesse destabilisierte.
- **Rampenblockierung durch externe LKW-Entladung:** Die zeitliche Überlagerung von Wareneingang und interner Logistik führt regelmäßig zu Kollisionen an den Rampen. Ohne abgestimmte Zeitfensterplanung oder eine digitale Buchungsübersicht entstehen hier physische Engpässe, die sich auf den gesamten Transportprozess auswirken.

Diese Ursachen zeigen deutlich, dass Wartezeiten nicht auf individuelles Fehlverhalten zurückzuführen sind, sondern das Resultat eines fehlenden Steuerungsmechanismus sind. Gerade im Hinblick auf die Einführung digitaler Technologien stellt die Steuerung von Rampen, Stellplätzen und Materialverfügbarkeit eine zentrale Voraussetzung für zukünftige Prozessstabilität dar.

### **3.1.2.3 Suchzeiten – Intransparenz als strategischer Risikofaktor**

Die dritte große Ineffizienzquelle, die im Rahmen der Analyse identifiziert wurde, betrifft die Suchzeiten innerhalb des Lager- und Bereitstellungsprozesses. Anders als bei Wartezeiten, die durch externe Faktoren ausgelöst werden können, sind Suchzeiten fast immer ein Ausdruck interner System- oder Kommunikationsdefizite. Ihre Ursache liegt typischerweise in unzureichender Datenpflege, unvollständiger Buchung oder fehlender physischer Materialkennzeichnung.

#### **Dokumentierte Fälle und Muster**

In 29 der untersuchten Transportprotokolle finden sich Hinweise auf Suchaufwand. Diese sind unter anderem mit Kommentaren wie „Ort unbekannt“, „Palette nicht auffindbar“, „verstellt“ oder „nicht gekennzeichnet“ dokumentiert. Besonders bezeichnend ist ein Fall vom 04. 02. 2025: Eine Wellenbox in Zone 2 konnte über einen Zeitraum von 15 Minuten nicht gefunden werden, da sie außerhalb des vorgesehenen Stellplatzes abgestellt und nicht gebucht worden war. Der Fahrer dokumentierte dabei drei Suchfahrten, ehe die Palette lokalisiert werden konnte.

Die kumulative Zeitverzögerung durch alle dokumentierten Suchvorgänge beläuft sich auf 5,8 Stunden – bei einem deutlich höheren Dunkelfeld nicht dokumentierter oder kürzerer Suchvorgänge. Auch hier handelt es sich nicht um Einzelfälle, sondern um strukturelle Symptome.

### **Auswirkungen im operativen Kontext**

Die Auswirkungen dieser Suchvorgänge sind gravierend, da sie mehrere Ebenen gleichzeitig betreffen:

- Verlust operativer Effizienz: Die eingesetzten Stapler und Mitarbeitenden sind in dieser Zeit blockiert und können keine produktiven Aufgaben ausführen.
- Störung der Versorgungskette: Nicht auffindbare Materialien führen zu Verzögerungen in der Kommissionierung oder zu fehlerhaften Materialbereitstellungen in der Produktion.
- Erhöhte Fehlerwahrscheinlichkeit: Unter Zeitdruck oder bei fehlender Identifikation besteht die Gefahr, dass falsche Materialien entnommen oder falsch verbucht werden.
- Psychologische Belastung des Personals: Wiederholte Suchprozesse führen zu Frustration, insbesondere wenn die Ursache nicht im Einflussbereich des operativen Personals liegt.

In Bezug auf die in Kapitel 2 behandelten Prinzipien der logistischen Transparenz wird deutlich, dass hier elementare Voraussetzungen wie „lückenlose Rückverfolgbarkeit“, „Eindeutigkeit der Materialzuordnung“ und „Konsistenz von System und Realität“ nicht erfüllt sind.

### **Ursachenanalyse – Technische und organisatorische Defizite**

Die Ursachen der dokumentierten Suchzeiten lassen sich systematisch auf folgende Problembereiche zurückführen:

- Fehlende systemische Verknüpfung: Viele Materialien sind nicht eindeutig mit einem Stellplatz verknüpft. So werden Paletten zwar physisch bewegt, jedoch nicht systemseitig eingebucht oder aktualisiert. Dieser Medienbruch zwischen physischer Bewegung und digitalem Abbild verhindert jede Form von Echtzeit-Nachverfolgbarkeit.
- Unzureichende physische Kennzeichnung: Paletten und Ladungsträger sind oftmals nicht oder nur handschriftlich gekennzeichnet. Eine systematische Zuordnung über Barcodes oder RFID fehlt vollständig. Somit ist auch eine automatisierte Lagerplatzidentifikation ausgeschlossen.
- Mangel an standardisierten Buchungsprozessen: In mehreren Interviews wurde berichtet, dass Buchungsvorgänge teilweise verzögert oder übersprungen werden, etwa wenn der Scanner gerade nicht funktioniert oder die Softwareanwendung umständlich zu bedienen ist. Diese Ausnahmen werden zur Regel, was die gesamte Datenbasis beschädigt.

Damit stellt sich die Problematik der Suchzeiten nicht nur als operatives Problem dar, sondern auch als strategische Herausforderung. Ein System, das keine zuverlässige Bestandsinformation liefern kann, verliert mittelfristig seine Steuerungsfähigkeit.

#### **3.1.2.4 Engpässe und Kreuzungspunkte – strukturelle Schwächen im Layout**

Neben den prozessualen Ineffizienzen, die durch doppelte Umlagerungen, Warte- und Suchzeiten verursacht werden, existieren physisch-strukturelle Hemmnisse, die auf die bauliche und layoutbedingte Organisation des innerbetrieblichen Materialflusses zurückzuführen sind. Engpässe und Kreuzungspunkte stellen in diesem Zusammenhang kritische Zonen dar, an denen sich Transportströme ballen und gegenseitig behindern. Sie entstehen vor allem dort, wo mehrere Transporte gleichzeitig stattfinden, jedoch keine klaren Regelungen für Vorrang, Fahrtrichtung oder Ausweichflächen bestehen.

### **Beobachtete Engstellen im betrieblichen Ablauf**

Die Spaghetti-Diagramm-Analyse zeigt eine besonders hohe Verkehrsdichte im Bereich des Mittelgangs vor Tor Halle 3. Etwa 65 % aller dokumentierten „roten Direkttransporte“ – also Transporte, die direkt vom Zwischenlager in die Fertigung erfolgen – durchqueren diesen zentralen Punkt. An mehreren Tagen wurden hier zeitgleich bis zu sechs Flurförderfahrzeuge beobachtet, die sich teils gegenseitig blockierten oder in Ausweichmanöver gezwungen wurden. Die dokumentierten Rückstaus erstreckten sich teilweise bis in Zone 4, wodurch angrenzende Bereiche ebenfalls in ihrer Funktion eingeschränkt wurden.

Neben dieser Hauptkreuzung wurden insgesamt sieben weitere Kreuzungspunkte im Layout identifiziert, die durch gegenläufige Bewegungsmuster, eingeschränkte Sichtachsen und fehlende Einbahnregelungen geprägt sind.

### **Auswirkungen auf die logistische Leistungsfähigkeit**

Die genannten Engpässe wirken sich auf verschiedenen Ebenen negativ auf die logistische Prozessqualität aus:

- Reduzierung der Transportgeschwindigkeit: Fahrzeuge müssen abbremesen, stoppen oder umkehren, wodurch der gesamte Materialfluss verlangsamt wird.
- Erhöhung der Sicherheitsrisiken: Unübersichtliche Verkehrszonen bergen ein erhöhtes Risiko für Kollisionen, insbesondere bei hohem Zeitdruck oder eingeschränkter Fahrbahnbreite.
- Verlust von Pünktlichkeit: Engstellen wirken wie „logistische Flaschenhälse“ – sie stören den gleichmäßigen Fluss und erzeugen Verzögerungen in nachgelagerten Prozessen.
- Intransparenz der Flusswege: Ohne definierte Fahrrichtungen ist eine sinnvolle Wegoptimierung kaum möglich. Gleichzeitig wird die logistische Steuerung erschwert, da Bewegungsmuster schwer vorhersagbar bleiben.

Diese physischen Engpässe stehen im Gegensatz zu den in Kapitel 2.3 beschriebenen Grundsätzen eines flussorientierten Layouts, bei dem Material möglichst geradlinig, ununterbrochen und ohne Gegenverkehr bewegt werden sollte. Das Prinzip der „räumlichen Entflechtung“ ist derzeit nicht erfüllt, was sich sowohl negativ auf die Transportleistung als auch auf die Prozesssicherheit auswirkt.

### **Ursächliche Faktoren für die Engstellenbildung**

Die Ursachen für diese strukturellen Schwachstellen lassen sich auf drei zentrale Faktoren zurückführen:

1. Fehlende Layouttrennung nach Transportklassen: Es existieren keine getrennten Verkehrswege für Quertransporte, Hauptbewegungen und Zulieferungen. Alle Transportarten (Zulieferung, Rückführung, Kommissionierung) nutzen dieselben Wege.
2. Unzureichende Zuweisung von Vorrangzonen: Es bestehen keine Regelungen, welche Transporte Vorrang an Kreuzungspunkten haben. Priorisierungen müssten – wenn überhaupt – informell abgesprochen werden.
3. Mangel an Pufferzonen und Haltebereichen: In hochfrequentierten Bereichen fehlen definierte Wartezonen, in denen Fahrzeuge kurzfristig „aus dem Fluss“ genommen werden können, ohne andere zu behindern.

Diese Defizite im Layoutdesign könnten durch eine einfache Reorganisation – etwa durch Bodenmarkierungen, Beschilderungen, digitale Streckenführung oder Ampellogiken – deutlich entschärft werden. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine transparente Analyse der realen Verkehrsströme und ihrer Priorität.

### **3.1.2.5 Systemische Ursachen und Wechselwirkungen**

Die zuvor beschriebenen Ineffizienzen treten nicht isoliert auf, sondern stehen miteinander in Wechselwirkung. So führt z. B. eine doppelte Umlagerung häufig zu einer erneuten Buchung, die wiederum falsch oder gar nicht erfolgt – was zu späteren Suchzeiten führt. Ebenso resultieren verspätete Bereitstellungen aus Wartezeiten an Rampen, wodurch wiederum Kreuzungen im Mittelgang verstärkt belastet werden. Die Analyse zeigt, dass die Summe dieser einzelnen Schwachstellen ein komplexes System logistisch bedingter Reibungsverluste ergibt, die sich gegenseitig verstärken.

Darüber hinaus wurden im Rahmen der Beobachtung auch mehrere systemübergreifende Ursachen identifiziert, die als Verstärker dieser operativen Ineffizienzen wirken:

- Unklare Rollendefinitionen: Die Abgrenzung von Verantwortlichkeiten zwischen Lagerpersonal, interner Logistik und Fertigungscoordination ist nicht eindeutig geregelt. Dies führt zu doppelten Arbeiten, Informationsverlusten und Fehlern in der Steuerung.
- Mangelhafte Datenqualität: Die Buchungssysteme basieren auf manuellen Eingaben, die häufig fehlerhaft oder verzögert erfolgen. Es existiert keine Echtzeittransparenz über Materialpositionen oder Transportstatus.
- Begrenzte IT-Ressourcen: Trotz vorhandener ERP- und Scannersysteme werden die Potenziale digitaler Prozesssteuerung nicht ausgeschöpft. Es fehlen Schnittstellen zu mobilen Geräten, digitale Stellplatzverwaltung oder automatische Transportvorschläge.
- Historisch gewachsene Strukturen: Viele Prozesse basieren auf über Jahre entwickelten Praktiken, die heute nicht mehr zu den tatsächlichen Anforderungen passen. Eine grundlegende Neujustierung wurde bisher nicht vorgenommen.

Diese übergreifenden Ursachen zeigen, dass die beschriebenen Hemmnisse nicht lediglich operative Phänomene sind, sondern Ausdruck eines grundlegenden strukturellen Anpassungsbedarfs der Logistikorganisation.

### **3.1.2.6 Fazit und strategische Einordnung**

Die Analyse des Ist-Zustands des Materialflusses zeigt ein deutliches Missverhältnis zwischen den aktuellen logistischen Anforderungen – ausgelöst durch die Einführung der Laserschneidlinie – und der bestehenden Infrastruktur. Die identifizierten Ineffizienzen sind weder punktuell noch zufällig, sondern systematisch verankert. Doppelte Umlagerungen, Wartezeiten, Suchvorgänge und strukturelle Engpässe verursachen nicht nur messbare Zeitverluste, sondern gefährden mittel- bis langfristig die Fähigkeit des Unternehmens, Materialien taktgenau und prozesssicher bereitzustellen.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse lässt sich festhalten:

- Das logistische Gesamtsystem ist derzeit nicht in der Lage, dynamische und kleinteilige Fertigungsbedarfe effizient zu bedienen.
- Die operativen Ineffizienzen summieren sich zu einem erheblichen Produktivitätsverlust, der nicht durch organisatorische Maßnahmen allein kompensiert werden kann.
- Ein systemisches Re-Design der internen Logistik ist erforderlich. Dies betrifft sowohl die räumliche Struktur (Layout), die technologische Unterstützung (IT, Digitalisierung), als auch die Prozessverantwortung (Rollen und Zuständigkeiten).

Die im Kapitel 2 beschriebenen Konzepte zur Transportwegeoptimierung, zur Layoutgestaltung und zur Digitalisierung logistischer Prozesse ergeben einen klaren Handlungsauftrag: Es braucht konkrete Maßnahmen zur Reorganisation der Lagerstruktur, zur Einführung transparenter Buchungs- und Kennzeichnungssysteme sowie zur Entzerrung kritischer Kreuzungspunkte. Nur so kann die bestehende logistische Infrastruktur mit den zukünftigen Anforderungen Schritt halten.

Die Ergebnisse der Ist-Analyse liefern eine belastbare Grundlage für die Entwicklung gezielter Optimierungsansätze. Im folgenden Abschnitt werden aus den identifizierten Schwachstellen konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet. Diese richten sich sowohl auf kurzfristige Maßnahmen zur Stabilisierung der Prozesse als auch auf strategische Ansätze zur nachhaltigen Steigerung der logistischen Leistungsfähigkeit. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Reorganisation des Zwischenlagers, der Implementierung eines strukturierten Stellplatzsystems sowie dem Einsatz digitaler Technologien zur Unterstützung der Transportsteuerung.

### **3.1.3 Ableitung erster Handlungsempfehlungen**

Aufbauend auf der fundierten Analyse des Ist-Zustands sowie der detaillierten Identifikation bestehender Effizienzhemmnisse im innerbetrieblichen Materialfluss, werden in diesem Abschnitt gezielt erste Handlungsempfehlungen abgeleitet. Ziel dieser Maßnahmen ist es, die identifizierten Schwachstellen systematisch zu adressieren und zugleich die logistischen Prozesse an die veränderten Rahmenbedingungen infolge der Inbetriebnahme der Laserschneidlinie anzupassen. Die nachfolgend dar-gestellten Empfehlungen basieren auf den quantitativen und qualitativen Erkenntnissen aus der Analysephase und sind eng an die betrieblichen Gegebenheiten, strukturellen Rahmenbedingungen sowie technologischen Möglichkeiten angepasst. Sie dienen als praxisorientierte Grundlage für die spätere Konzeptentwicklung und deren Umsetzung.

Im Zentrum der Überlegungen steht die Optimierung der Wertschöpfungskette durch Reduktion nichtwert-schöpfender Tätigkeiten, die Verbesserung der Prozessstabilität sowie die Erhöhung der Transparenz in der Lager- und Transportlogistik. Dabei wird nicht nur die physische Wegeführung berücksichtigt, sondern auch organisatorische Schnittstellen, die Integration digitaler Technologien sowie übergeordnete Aspekte der Layoutplanung. Die Empfehlungen lassen sich in vier thematische Hauptbereiche gliedern:

- Struktur- und layoutbezogene Optimierungen im Zwischenlager
- Prozessoptimierungen im internen Transport
- Integration digitaler Technologien zur Rückverfolgbarkeit

- Organisatorische Maßnahmen und Qualifizierung des Personals

### **3.1.3.1 Struktur- und Layoutoptimierung**

Die im Kapitel 3.1.2 beschriebenen Analysen haben gezeigt, dass die bestehenden Strukturen – insbesondere Zwischenlager – den aktuellen Anforderungen nicht gerecht werden. Die derzeitige Lagerpraxis ist durch eine chaotische Ablage, fehlende Funktionszonen, hohe Umlagerungsquoten sowie mangelnde Transparenz geprägt. Eine Neuausrichtung des Lagers ist daher unabdingbar, um den künftigen Materialfluss mit höherer Frequenz und Komplexität stabil abbilden zu können.

Empfohlen wird die vollständige Umstrukturierung von Zelt 2 zu einem klar zonierten Zwischenlager für die Versorgung der Fertigung mit Blechteilen, Halbfertigteilen und weiteren vorgelagerten Komponenten.

Ergänzend zur Umstrukturierung von Zelt 2 wird die Entlastung durch eine funktionale Reallokation der allgemeinen Lagerware nach Zelt 1 empfohlen. Materialien, die nicht für die Fertigungsversorgung bestimmt sind oder keinen unmittelbaren Kommissionierbedarf aufweisen – wie etwa überlange Lagerartikel oder Sonderteile – sollen zukünftig ausschließlich in Zelt 1 gelagert werden. Diese Maßnahme reduziert überflüssige Umlagerungen und schafft in Zelt 2 Raum für dynamische Prozesse. Durch diese klare funktionale Trennung zwischen operativem Versorgungslager (Zelt 2) und statischem Lagerbereich (Zelt 1) wird ein wesentliches Prinzip der Lagerlogistik umgesetzt: die räumliche Entkopplung von Durchsatz- und Reservelagerfunktionen.

Ein weiterer Optimierungsvorschlag bezieht sich auf die konsolidierte Lagerung von Baugruppenkomponenten. Ziel ist es, Transport- und Kommissionieraufwand deutlich zu reduzieren. Diese Maßnahme wirkt insbesondere dem Problem „verteilte Lagerorte“ entgegen, das im Ist-Zustand mehrfach als Suchursache dokumentiert wurde. Darüber hinaus verbessert die Bündelung die Übersicht für das Kommissionierpersonal, verringert die Fehlerquote und vereinfacht die Qualitätskontrolle.

### **3.1.3.2 Prozessoptimierungen im internen Transport**

Parallel zur Neustrukturierung der Lagerflächen müssen auch die innerbetrieblichen Transportprozesse angepasst werden, um einen reibungslosen Materialfluss zu gewährleisten. Der Fokus liegt hierbei auf der Reduktion unnötiger Bewegungen, der Entzerrung von Kreuzungspunkten sowie der besseren Nutzung vorhandener Ressourcen.

#### **Transportbündelung und Wegeoptimierung**

Auf Basis der Spaghetti-Analyse und der Transportmatrix wird eine systematische Bündelung von Transporten empfohlen. Besonders kritische Kreuzungspunkte – etwa der stark belastete Übergangsbereich Tor Halle 3 – sollen durch gezielte Fahrtrouten und Fahrpläne entlastet werden. Im Zielzustand wird die Anzahl der Kreuzungspunkte von derzeit sieben auf drei reduziert, was nicht nur das Risiko von Staus verringert, sondern auch die durchschnittliche Umlaufzeit pro Transport senkt. Die Priorisierung von Transportwegen nach Frequenz, Dringlichkeit und Richtung stellt sicher, dass Engpässe künftig frühzeitig vermieden werden können.

### **Einführung klar definierter Abhol- und Abstellzonen**

Fahrer sollen auf einen Blick erkennen können, an welchen Stellen Paletten abzustellen oder abzuholen sind. Durch diese eindeutige Regelung werden Missverständnisse und Rückfragen reduziert, Suchzeiten vermieden und die Transparenz im Prozessablauf gestärkt. Diese Maßnahme bildet eine wichtige Grundlage für die spätere Digitalisierung logistischer Abläufe, da nur durch klare Übergabepunkte eine automatisierte Erfassung und Steuerung möglich wird.

### **3.1.3.3 Organisatorische Maßnahmen und Personalentwicklung**

Technische und strukturelle Veränderungen entfalten ihr volles Potenzial nur dann, wenn sie von klaren organisatorischen Rahmenbedingungen begleitet werden. Die Implementierung neuer Prozesse, Lagerlayouts und digitaler Systeme erfordert eine präzise Gestaltung der Zuständigkeiten sowie die aktive Einbindung des beteiligten Personals.

#### **Eindeutige Aufgabenverteilung**

Ein wiederholt beobachtetes Problem im Ist-Zustand war die Unschärfe in der Aufgabenverteilung zwischen Lagerpersonal und internen Transportdiensten. So war z. B. unklar, wer für das Auffinden fehlender Paletten verantwortlich ist oder wer den Kommissionierstatus eines Auftrags prüft. Diese fehlende Prozessklarheit führte zu Verzögerungen, Rückfragen und Verantwortungsdiffusion. Im Zielbild wird daher empfohlen, die Schnittstellen durch standardisierte Prozessdefinitionen zu klären:

- Lagerpersonal: Zuständig für Einlagerung, Kommissionierung, Buchung und Bereitstellung
- Transportpersonal: Verantwortlich für Transport gemäß Fahrauftrag, Rückmeldung über Ausführung, Umgang mit RFID-Gates
- Teamleitung: Überwachung der Lagerauslastung, Eskalation bei Prozessstörungen, Abstimmung mit Fertigung

#### **Schulung und Change Management**

Die Einführung digitaler Technologien sowie neuer Prozesse stellt auch an das beteiligte Personal neue Anforderungen. Eine gezielte Qualifizierungsmaßnahme ist daher zwingend erforderlich. Diese sollte praxisnah, wiederholbar und interaktiv ausgestaltet werden. Die Inhalte umfassen:

Grundlagen der RFID-Technologie und Anwendung im Alltag

Nutzung des neuen Vier-Zonen-Layouts mit Abhol- und Abstelllogik

Umgang mit dem ERP-System im Rahmen der automatisierten Buchung

Sensibilisierung für Prozessdisziplin und Datenverantwortung

Ein begleitendes Change-Management-Konzept unterstützt zusätzlich die Akzeptanz der Neuerungen. Dies kann u. a. durch aktive Einbindung in die Umsetzungsplanung, Feedback-Runden und klare Kommunikation der Ziele erreicht werden. Entscheidend ist, dass Veränderungen nicht als zusätzliche Belastung, sondern als Erleichterung des Arbeitsalltags wahrgenommen werden.

## 3.2 Konzeption innerbetrieblicher Transportwegeoptimierung

Der vorliegende Abschnitt widmet sich der Neugestaltung und strukturellen Umorganisation des Zwischenlagers Zelt 2 als zentralem logistischen Knotenpunkt der innerbetrieblichen Materialversorgung. Das hier entwickelte Konzept versteht sich als praxisorientierter Beitrag zur nachhaltigen Neuausrichtung der Intra-logistik und zugleich als Vorbereitung auf den gezielten Einsatz digitaler Systeme. Die geplante Umstrukturierung verfolgt das Ziel, physische Materialflüsse, organisatorische Abläufe und digitale Informationsflüsse in einem konsistenten Gesamtsystem zu vereinen.

Während der bisherige Versorgungsprozess vorwiegend aus wenigen, klar strukturierten Lieferungen bestand, erfordert die neue Prozesslandschaft eine feinere Taktung, flexiblere Transportorganisation sowie eine präzise digitale Abbildung sämtlicher Lager- und Bewegungsdaten.

Das vorgestellte Konzept adressiert diese veränderten Rahmenbedingungen durch folgende Schwerpunkte:

- Funktionale Neuausrichtung von Zelt 2 als zentraler Puffer-, Kommissionier- und Bereitstellungsbereich für die Fertigung
- Klare räumliche Zonierung zur Trennung der Prozessschritte und Reduzierung von Kreuzungspunkten
- Optimierte Wegeführung für Stapler und Kommissionierpersonal auf Basis einer flussorientierten Layoutplanung
- Organisatorische Anpassungen zur eindeutigen Verantwortlichkeitszuweisung und Steigerung der Prozessdisziplin

Damit bildet Zelt 2 künftig den zentralen Materialumschlagplatz zwischen vorgelagerten Lagerbereichen, der Fertigung und den unterstützenden Prozessen. Die Umsetzung dieser Konzeption folgt einem ganzheitlichen Ansatz, bei dem physische, organisatorische und digitale Maßnahmen ineinandergreifen und gemeinsam auf die übergeordneten Ziele der Transportwegeoptimierung einzahlen.

Bevor die einzelnen Gestaltungs- und Umsetzungsmaßnahmen im Detail beschrieben werden, ist es notwendig, die übergeordneten Zielsetzungen und Bewertungskriterien klar zu definieren. Nur durch eine präzise Formulierung der Optimierungsziele und -kriterien lässt sich sicherstellen, dass die geplanten Anpassungen sowohl messbar als auch auf die strategischen Anforderungen des Unternehmens ausgerichtet sind.

Im folgenden Kapitel werden daher die Optimierungsziele und die zugrunde liegenden Optimierungskriterien systematisch dargestellt und begründet.

### 3.2.1 Definition von Optimierungszielen und Optimierungskriterien

Der erste und entscheidende Schritt in jeder logistischen Planung ist die präzise Definition der Zielgrößen sowie der zugehörigen Optimierungskriterien. Sie dienen nicht nur als Leitlinie für die Entwicklung des Soll-

Konzepts, sondern auch als objektive Grundlage für die spätere Erfolgskontrolle. Nur wenn Ziele klar formuliert, messbar und überprüfbar sind, lässt sich beurteilen, ob die geplanten Maßnahmen ihre beabsichtigte Wirkung entfalten.<sup>120</sup>

Im Rahmen dieser Arbeit ergibt sich die besondere Relevanz dieser Zieldefinition aus dem Umstand, dass die innerbetriebliche Logistik des Unternehmens historisch gewachsen ist und bislang nur punktuell an neue technologische und organisatorische Rahmenbedingungen angepasst wurde. Mit der Inbetriebnahme der Laserschneidlinie in Halle 5 hat sich die Prozesslandschaft grundlegend verändert: Statt linearer, externer Versorgungsketten sind nun mehrstufige, interne Materialkreisläufe mit höherer Taktfrequenz und größerer Variantenvielfalt zu bewältigen. Die bestehenden Transportwege, Lagerstrukturen und Informationsflüsse waren für diese Dynamik nicht ausgelegt und führten zu signifikanten Effizienzverlusten.

Die in der Ist-Analyse (Kapitel 3.1) identifizierten Schwachstellen – wie Doppelumlagerungen, Suchzeiten, fehlende Transparenz, unklare Verantwortlichkeiten und prozessuale Engpässe – bilden die Grundlage für die hier abgeleiteten Optimierungsziele.

### **3.2.1.1 Effizienzsteigerung durch Reduzierung unnötiger Wege und Transportbewegungen**

Ein zentrales Ziel der Optimierung besteht in der Minimierung der zurückgelegten Transportstrecken pro Materialbewegung. In der Vergangenheit führten fehlende Stellplatzlogik, chaotische Lagerstrukturen und mangelnde Abstimmung zwischen Lagerbereichen zu Doppelumlagerungen, die bis zu 22 % aller Palettenbewegungen betrafen. Jede dieser zusätzlichen Bewegungen erzeugte einen Mehrweg von durchschnittlich 90 Metern, was an Spitzentagen kumuliert mehrere Kilometer zusätzlicher Staplerfahrten verursachte.

#### **Messkriterium:**

- Ø Transportweg pro Palette (in Metern)
- Anzahl der Umlagerungen pro Auftrag/Palette

#### **Theoretischer Bezug:**

Gemäß den Grundsätzen der Lean-Logistik und der Materialflussplanung nach VDI 2411 gilt: „Jeder Materialtransport, der nicht unmittelbar wertschöpfend wirkt, ist zu vermeiden.“ Die Weglängenreduktion steht daher im direkten Zusammenhang mit der Eliminierung von Verschwendungsarten (Muda) im Sinne des Toyota-Produktionssystems.<sup>121</sup>

#### **Praktischer Ansatz:**

- Einführung fester Stellplätze für häufig genutzte Materialien
- Flussorientierte Anordnung der Lagerzonen gemäß Materialverbrauch

---

<sup>120</sup> Vgl. Weber/Kunz (2003) S. 33 ff

<sup>121</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 47

### 3.2.1.2 Vereinfachung und Standardisierung der Abläufe

Die zweite Zielsetzung ist die Prozessvereinfachung durch klare, standardisierte Abläufe. Die bisherige Praxis war stark personenabhängig, wodurch individuelle Arbeitsweisen und situative Entscheidungen die Prozessqualität beeinflussten.

#### **Messkriterium:**

- Anteil standardisiert durchgeführter Prozesse (%)
- Anzahl dokumentierter Prozessvarianten pro Tätigkeit

#### **Theoretischer Bezug:**

Nach REFA-Grundsätzen zur Arbeitsorganisation erhöht Standardisierung die Prozesssicherheit und Wiederholgenauigkeit, während sie die Schulungszeiten für neues Personal reduziert.<sup>122</sup>

#### **Praktischer Ansatz:**

- Erstellung standardisierter Arbeitsanweisungen (SOPs) für Lager- und Transportprozesse
- Sichtbare Markierung von Abhol- und Abstellflächen
- Nutzung eines einheitlichen Buchungsschemas im ERP-System

### 3.2.1.3 Erhöhung der Transparenz über Materialbewegungen und Bestände

Ein wesentliches Problem des Ist-Zustands lag in der eingeschränkten Rückverfolgbarkeit von Warenbewegungen. Teilweise wurden Stellplätze nur systemgeführt, ohne physische Kennzeichnung. Dies führte zu Suchzeiten und Fehlbuchungen.

#### **Messkriterium:**

- Prozentsatz eindeutig lokalisierbarer Paletten (%)
- Anteil automatisiert erfasster Bewegungen (%)

#### **Theoretischer Bezug:**

In modernen Supply-Chain-Konzepten gilt Transparenz als Voraussetzung für jede Form datengetriebener Optimierung. Nur wenn Daten vollständig und fehlerfrei vorliegen, können Systeme wie „Advanced Planning and Scheduling“ oder KI-gestützte Materialflussteuerung wirksam eingesetzt werden.<sup>123</sup>

#### **Praktischer Ansatz:**

- Einführung einer physischen Kennzeichnung aller Stellplätze (Barcode, QR, RFID)
- Echtzeit-Synchronisierung zwischen physischem Lager und ERP-System

---

<sup>122</sup> Vgl. Piontek/Czenskowsky (2012) S. 293 ff

<sup>123</sup> Vgl. Otto/Obermaier (2007) S. 269 ff

### 3.2.1.4 Minimierung von Suchzeiten und Fehlzweisungen

Die Analyse in Kapitel 3.1.2 zeigte, dass Suchzeiten im Analysezeitraum zu einem kumulierten Zeitverlust von 5,8 Stunden führten, wobei das Dunkelfeld nicht dokumentierter Suchvorgänge vermutlich deutlich größer ist.

#### **Messkriterium:**

- Ø Suchzeit pro Auftrag (in Minuten)
- Anteil fehlerfreier Erstentnahmen (%)

#### **Theoretischer Bezug:**

Suchzeiten zählen zu den nichtwertschöpfenden Tätigkeiten und sind ein Indikator für fehlende Prozessstabilität. Sie wirken sich direkt auf Durchlaufzeit, Kapazitätsauslastung und Mitarbeiterproduktivität aus.<sup>124</sup>

#### **Praktischer Ansatz:**

- Einführung einer Stellplatzverbindlichkeit für alle Materialien
- Schulung zur konsequenten Buchungsdisziplin
- Nutzung visueller Hilfsmittel (z. B. Lagerzonenbeschilderung, Farbcodierungen)

### 3.2.1.5 Reduzierung von Warte- und Standzeiten sowie Engpässen an Kreuzungspunkten

Stillstandzeiten traten im Ist-Zustand regelmäßig an hochfrequentierten Übergängen und Rampenbereichen auf, was zu Rückstaus und Störungen im Materialfluss führte.

#### **Messkriterium:**

- Ø Wartezeit pro Transportvorgang (in Minuten)
- Anzahl der kritischen Kreuzungspunkte im Layout

#### **Theoretischer Bezug:**

In der Logistikplanung wird die „Flusskontinuität“ als Qualitätskriterium bewertet. Engpässe und Kreuzungen, die zu Unterbrechungen führen, reduzieren die Transportleistung und erhöhen die Gefahr von Sicherheitsvorfällen.<sup>125</sup>

#### **Praktischer Ansatz:**

- Umgestaltung der Wegführung zur räumlichen Entflechtung kritischer Knotenpunkte
- Einführung von Fahrtrichtungslogiken und Vorrangregelungen
- Einrichtung von Pufferflächen vor Kreuzungspunkten

### 3.2.1.6 Optimale Nutzung logistischer und personeller Ressourcen

Ein weiteres Optimierungsziel ist die gleichmäßige und effiziente Auslastung von Staplern, Fahrern und Lagerflächen.

---

<sup>124</sup> Vgl. Günthner/Boppert (2013) S. 47 ff

<sup>125</sup> Vgl. Hohmann (2022) S. 65

**Messkriterium:**

- Auslastungsgrad pro Stapler (%)
- Personaleinsatzstunden pro transportierter Einheit

**Theoretischer Bezug:**

Die optimale Ressourcennutzung ist ein Kernelement der Kapazitätsplanung. Unter- wie Überlastung wirken sich negativ auf Produktivität und Kostenstruktur aus.<sup>126</sup>

**Praktischer Ansatz:**

- Einführung einer zentralen Transportsteuerung mit Priorisierung nach Dringlichkeit
- Einsatz von Leitstandsystemen zur Echtzeit-Überwachung von Auslastung und Auftragsstatus
- Schicht- und Pausenplanung in Abstimmung mit Materialflussspitzen

**3.2.1.7 Zusammenfassung der Optimierungsziele und -kriterien**

Die in diesem Kapitel formulierten Ziele und Kriterien sind nicht isoliert zu betrachten, sondern greifen ineinander. Eine Reduzierung von Weglängen führt zwangsläufig zu geringeren Transportzeiten, was wiederum Wartezeiten und Ressourcenauslastung beeinflusst. Ebenso trägt die Erhöhung der Transparenz direkt zur Minimierung von Suchzeiten bei.

Zur besseren Übersicht werden die wesentlichen Ziele und deren messbare Kriterien in der angeführten Tabelle dargestellt:

Tabelle 8: Optimierungsziele

<b>Optimierungsziel</b>	<b>Messbare Kriterien</b>
<b>Reduzierung unnötiger Laufwege</b>	Ø Weglänge pro Palette, Umlagerungsquote
<b>Vereinfachung der Abläufe</b>	Anteil standardisierter Prozesse
<b>Erhöhung der Transparenz</b>	Anteil eindeutig lokalisierbarer Paletten, Automatisierungsgrad
<b>Minimierung von Suchzeiten</b>	Ø Suchzeit pro Auftrag, Erstentnahmequote
<b>Reduzierung von Wartezeiten</b>	Ø Wartezeit pro Transport, Anzahl Kreuzungspunkte
<b>Optimale Ressourcennutzung</b>	Auslastung Stapler/Personal

Auf Basis der definierten Ziele und Kriterien wird im folgenden Abschnitt ein Entwurf alternativer Wegführungen und Layoutvarianten entwickelt. Dabei werden verschiedene Szenarien modelliert, die auf die Reduzierung von Transportwegen, die Entzerrung von Kreuzungspunkten und die Verbesserung der Transparenz abzielen. Die Auswahl der optimalen Variante erfolgt anhand der in diesem Kapitel festgelegten Bewertungskriterien.

---

<sup>126</sup> Vgl. Gudehus (2010) S. 60

### 3.2.2 Entwurf alternativer Wegführungs- und Layoutvariante

Aufbauend auf der Analyse des Ist-Zustandes, die signifikante Engpässe und Ineffizienzen wie doppelte Umlagerungen, Suchzeiten, fehlende Transparenz und unklare Verantwortlichkeiten offengelegt hat, wurde ein ganzheitliches Optimierungskonzept entwickelt. Dieses Konzept verfolgt das Ziel, die innerbetrieblichen Transportwege zu straffen, Materialflüsse klar zu strukturieren und die Grundlage für eine durchgängig digitale Abbildung zu schaffen. Im Mittelpunkt steht die grundlegende Neuausrichtung und Umstrukturierung des Zwischenlagers Zelt 2 als logistische Drehscheibe der Fertigungsversorgung.

#### 3.2.2.1 Zielbild und Grundkonzept

Das zentrale Element des neuen Konzepts ist die Umsetzung eines Vier-Zonen-Layouts in Zelt 2, das durch klare räumliche Trennung und definierte Prozesslogik eine stabile, transparente und effiziente Lagerorganisation ermöglicht. Diese Zonierung stellt sicher, dass jede logistische Funktion – vom Wareneingang bis zur Bereitstellung – einen klar zugewiesenen Bereich hat, wodurch Schnittstellen vereinfacht und Transportwege minimiert werden.

##### Zone 1 – Wareneingang

**Funktion:** Aufnahme aller neu ankommenden Paletten, sowohl aus internen Quellen (z. B. Halle 5) als auch aus anderen Fertigungs- oder Lagerbereichen. Zone 1 dient als Pufferfläche, bevor die Einlagerung in Zone 2 erfolgt.

**Kapazität:** Ca. 130 Palettenstellplätze, dimensioniert auf Basis eines Zwei-Tages-Puffers. Diese Kapazität deckt den Bedarf von rund 114 Stellplätzen ab, der sich aus der täglichen Anliefermenge ergibt, und berücksichtigt Spitzenlasten.

**Vorteil:** Entlastung des Wareneingangs durch geordnete Pufferung und klare Übergabepunkte zum Lagerbereich.

##### Zone 2 – Kommissionslager

**Funktion:** Zentrale Lagerung aller für die Fertigung bestimmten Blechteile, Halbfertigteile und vorkommissionierten Materialien. Durch die feste Zuordnung von Stellplätzen wird die chaotische Lagerhaltung des Ist-Zustandes beendet.

**Kapazität:** Ca. 370 Stellplätze, ausgelegt auf eine durchschnittliche Lagerdauer von vier bis fünf Tagen. Die Dimensionierung berücksichtigt Spitzenwerte von bis zu 50 Paletten pro Tag sowie Überlängen, die mehrere Stellplätze belegen.

**Vorteil:** Suchwege entfallen, die Zugriffssicherheit steigt, und die Steuerbarkeit verbessert sich erheblich.

##### Zone 3 – Kommissionierung

**Funktion:** Zentral gelegener Bereich für die Zusammenstellung der Paletten mit Arbeitsplatz und EDV-Anbindung. Die Nähe zu Zone 2 minimiert Kommissionierwege auf wenige Meter.

**Vorteil:** Effiziente Arbeitsweise, direkte Datenverbuchung im ERP-System, einfache Integration digitaler Technologien wie RFID.

### Zone 4 – Bereitstellung

**Funktion:** Markierte Palettenstellplätze, eindeutig einzelnen Fertigungsarbeitsplätzen zugeordnet. Hier erfolgt die Übergabe fertig kommissionierter Materialien an das Fertigungspersonal.

**Kapazität:** Ca. 288 Stellplätze, ausgelegt auf einen Fünf-Tages-Puffer, mit realem Bedarf von ca. 240 Stellplätzen.

**Vorteil:** Sofortige Verfügbarkeit der Materialien nach Abschluss des vorherigen Auftrags, keine Wartezeiten für die Fertigung.

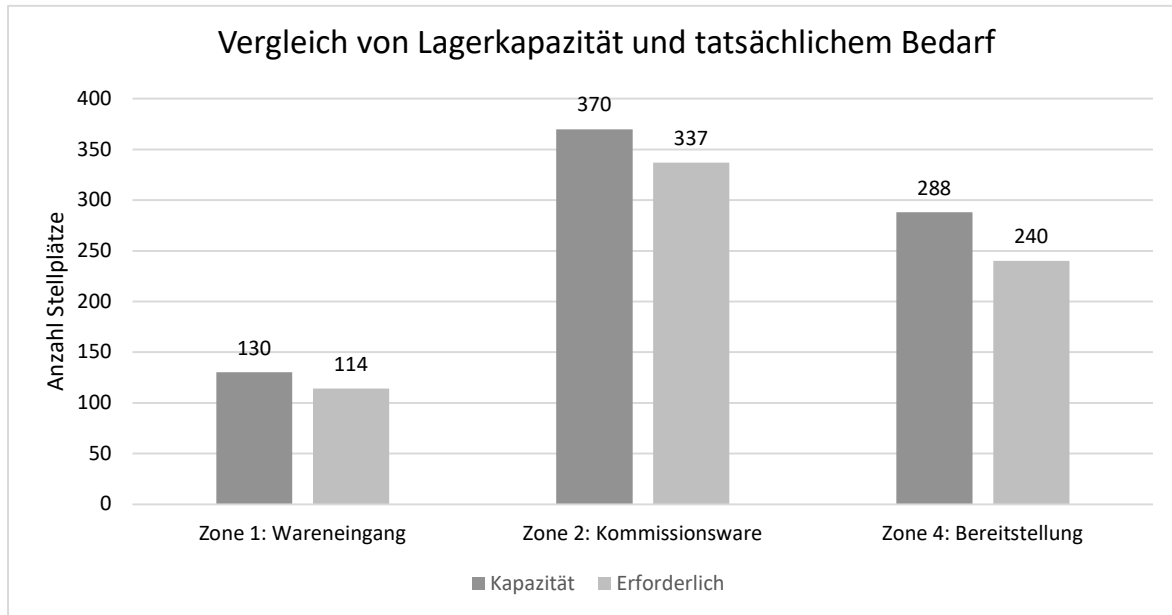


Abbildung 6: Vergleich von Lagerkapazität und tatsächlichem Bedarf

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Farblegende für das entworfene Sollkonzept.

Tabelle 9: Farblegende für Wegeführung

Farblegende	Bedeutung	Typischer Start / Ziel
<b>Grün</b>	Material ist bereits einem konkreten Arbeitsplatz zugewiesen (inkl. Vorkommissionierung).	Zone 4 → Halle 3
<b>Blau</b>	Material befindet sich noch im Zwischenlager und muss erst kommissioniert werden.	Zone 2 ↔ Zone 3
<b>Orange</b>	Zwischenarbeitsschritt (v.a. Lackierung) – Ware geht danach ins Zwischenlager.	Halle 7a → Zone 2
<b>Rot</b>	Direkttransport auf den Fertigungsarbeitsplatz.	Zone 4, BGZ etc. → Halle 3

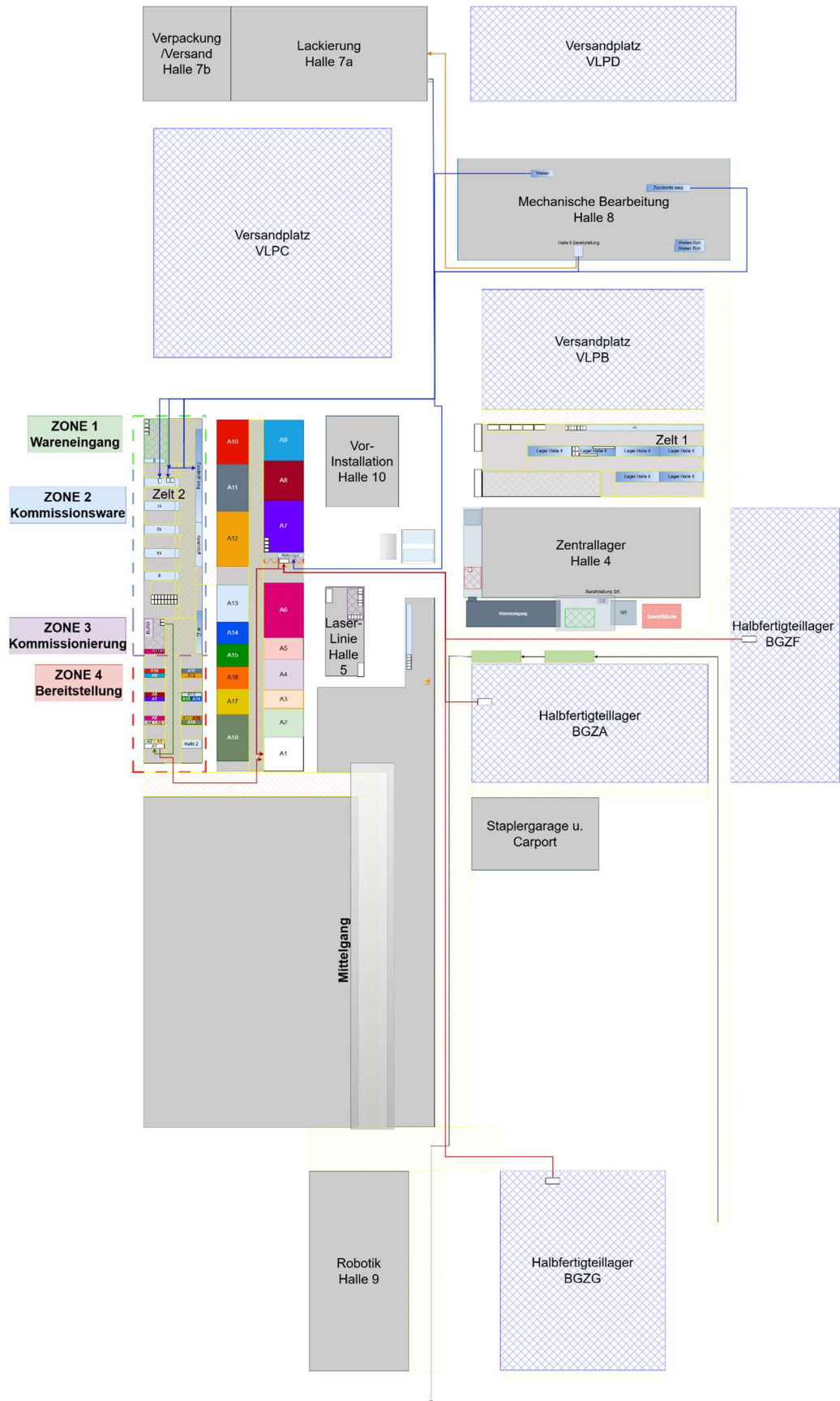


Abbildung 7: Warenfluss Soll

### **3.2.2.2 Fazit**

Mit der Umsetzung des Vier-Zonen-Layouts und den ergänzenden Maßnahmen wird eine stabile, transparente und zukunftsfähige Lagerstruktur geschaffen. Die Effekte reichen von kürzeren Wegen und reduzierten Umlagerungen über eine verbesserte Personalauslastung bis hin zu einer deutlich höheren Datenqualität für die Produktionsplanung.

### **3.2.3 Bewertung der Variante anhand logistischer Kennzahlen**

Die Bewertung der entworfenen Variante stellt einen zentralen Schritt im Entscheidungsprozess dar, da sie eine objektive Grundlage zur Auswahl der optimalen Lösungsvariante liefert. Während in den vorherigen Kapiteln die Defizite des Ist-Zustandes identifiziert und daraus Zielsetzungen sowie ein Konzept entwickelt wurden, erfolgt hier die quantitative Überprüfung, inwieweit die vorgeschlagenen Maßnahmen diese Ziele tatsächlich erfüllen.

Die Grundlage der Bewertung bilden logistische Kennzahlen, die in ihrer Auswahl eng an die in Kapitel 3.2.1 definierten Optimierungsziele und -kriterien angelehnt sind. Kennzahlen wie Weglänge, Kreuzungspunkte, Umlagerungsquote, Durchsatzleistung, Auslastung und Prozesszeiten ermöglichen eine messbare Vergleichbarkeit zwischen Ist- und Soll-Zustand.

#### **3.2.3.1 Bewertungsergebnisse**

Die Kennzahlenanalyse zeigt, dass die Umsetzung des vorgeschlagenen Layouts und der ergänzenden Maßnahmen zu deutlichen Verbesserungen in allen relevanten Bereichen führt.

##### **Durchschnittliche Weglänge pro Palette (Kommissionsware)**

- Ist-Zustand: 100 Meter
- Soll-Zustand: 40 Meter
- Veränderung: –60 %

Diese signifikante Verkürzung ist im Wesentlichen auf die feste Stellplatzzuweisung in Zone 2 zurückzuführen. Suchzeiten, die bisher einen großen Anteil der Transportwege ausmachten, werden vollständig eliminiert. Die Reduzierung wirkt sich direkt auf die Durchlaufzeit pro Palette aus und setzt in der Fertigung ca. 30 % mehr Zeit für wertschöpfende Tätigkeiten frei.

##### **Anzahl der Kreuzungspunkte**

- Ist-Zustand: 7
- Soll-Zustand: 3
- Veränderung: –43 %

Das Spaghetti-Diagramm des Soll-Zustandes zeigt eine klare Entlastung des stark frequentierten Torbereichs Halle 3. Die Reduzierung der Kreuzungen führt nicht nur zu kürzeren Wartezeiten, sondern erhöht auch die Betriebssicherheit durch geringere Kollisionsgefahr.

### **Direkttransporte („rote Transporte“)**

- Ist-Zustand: 4 Hauptrelationen
- Soll-Zustand: 2 Hauptrelationen
- Veränderung: –50 %

Die Bündelung der Direkttransporte sorgt für einen geradlinigeren, planbaren Materialfluss. Das Risiko ungeplanter Gegenverkehre sinkt deutlich.

### **Kapazitätssicherheit**

Die berechneten Kapazitäten in Zelt 2 sind so ausgelegt, dass selbst Spitzenlasten von bis zu 80 Paletten pro Anlieferung (maximale Menge bei wöchentlicher Blechzuschnittanlieferung) ohne Rückstau verarbeitet werden können. Die Auslastung der Zonen 2 und 4 bleibt dauerhaft unter 90 %, was einen wichtigen Puffer für Projekt- oder Saisonauslastung darstellt.

### **Erhöhung der Transparenz**

Die klare Trennung von Lager- und Kommissionierfunktion führt zu einer sofortigen Materiallokalisierung. Doppelte Umlagerungen, die im Ist-Zustand in zehn Tagen zu 28,4 Stunden Zeitverlust führten, werden nahezu eliminiert.

Warte- und Standzeiten (im Ist-Zustand 11,3 Stunden in zehn Tagen) sowie Suchzeiten (5,8 Stunden in zehn Tagen) sinken durch klare Stellplatzlogik und Kennzeichnung erheblich.

### **Klare Verantwortlichkeiten**

Durch die strukturierte Zonierung und die digitale Erfassung von Bewegungen können Übergaben und Lagerorte objektiv nachgewiesen werden. Dies erleichtert die Planung, steigert die Verlässlichkeit und reduziert Fehlerquellen.

### 3.2.3.2 Quantitativer Vergleich Ist vs. Soll

Tabelle 10: Vergleich Ist - Sollzustand

Kennzahl	Ist-Zu-stand	Soll-Zu-stand	Veränderung
<b>Ø Wegelänge pro Palette (Kommissionsware)</b>	100 m	40 m	-60 %
<b>Anzahl Kreuzungspunkte</b>	7	3	-43 %
<b>Direkttransporte (rot)</b>	4	2	-50 %
<b>Umlagerungsquote</b>	22 %	< 5 %	-77 %
<b>Suchzeit (gesamt, 10 Tage)</b>	5,8 h	< 0,5 h	-91 %
<b>Warte-/Standzeiten (gesamt, 10 Tage)</b>	11,3 h	< 2 h	-82 %
<b>Auslastung Zone 2/4</b>	95-100 %	≤ 90 %	+10 % Puffer

### 3.2.3.3 Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse bestätigen die in der Konzeptphase formulierten Erwartungen. Die größten Effizienzgewinne ergeben sich aus der Wegeverkürzung, der Reduzierung von Kreuzungspunkten und der Abschaffung doppelter Umlagerungen.

Darüber hinaus wirkt sich die neue Struktur qualitativ positiv auf die Arbeitssicherheit, die Mitarbeiterzufriedenheit und die Planbarkeit aus. Besonders hervorzuheben ist, dass viele Verbesserungen ohne zusätzliche Investitionen in Flächen erzielt werden – der Großteil resultiert aus einer optimierten Anordnung und Nutzung bestehender Kapazitäten.

### 3.2.3.4 Strategische Einordnung

Die positiven Bewertungsergebnisse belegen, dass das geplante Layout nicht nur den aktuellen Bedarf deckt, sondern auch zukunftsfähig ist. Die Auslastungsreserven ermöglichen es, auf Nachfragespitzen zu reagieren, und die klaren Strukturen schaffen die Voraussetzung für eine schrittweise Digitalisierung des Materialflusses.

Damit erfüllt die Variante sowohl die kurzfristigen Effizienzanforderungen als auch die langfristigen strategischen Ziele der Unternehmenslogistik.

Die vorliegende Bewertung zeigt, dass die vorgeschlagene Layout- und Wegeführung deutliche Effizienzgewinne realisiert. Im nächsten Kapitel werden die konkreten Maßnahmen und Umsetzungsvorschläge beschrieben, die zur praktischen Realisierung des Soll-Zustandes erforderlich sind. Diese umfassen sowohl baulich-strukturelle Anpassungen als auch organisatorische und digitale Implementierungsschritte.

### 3.2.4 Maßnahmenplan und Umsetzungsvorschläge

Die Umsetzung eines Logistikkonzepts markiert den entscheidenden Schritt vom theoretisch entwickelten Soll-Bild in die operative Realität. Dabei handelt es sich nicht um einen einzelnen, isolierten Vorgang, sondern um ein komplexes Vorhaben, das im Rahmen eines vollumfänglichen Projektes strukturiert geplant, gesteuert und überwacht werden muss. Eine erfolgreiche Realisierung erfordert eine präzise Abstimmung aller Teilbereiche, klare Verantwortlichkeiten, eine angemessene Ressourcenplanung und einen nachvollziehbaren Zeitplan.

Das hier vorgestellte Maßnahmenpaket basiert auf den Erkenntnissen der Ist-Analyse (Kapitel 3.1), den Optimierungszielen (Kapitel 3.2.1), den Layout-Entwürfen (Kapitel 3.2.2) sowie der quantitativen Bewertung (Kapitel 3.2.3). Ziel ist es, die identifizierten Schwachstellen dauerhaft zu beheben, die Effizienz im innerbetrieblichen Materialfluss zu steigern und gleichzeitig eine zukunftsfähige, digital anschlussfähige Logistikstruktur zu schaffen.

#### 3.2.4.1 Implementierung des Vier-Zonen-Layouts in Zelt 2

Kern der Umsetzung ist die physische Umstrukturierung des Zwischenlagers Zelt 2 zu einem klar definierten Vier-Zonen-System.

##### **Zentrale Maßnahmen:**

- Neudefinition der Lagerzonen entsprechend der im Konzept festgelegten Funktionen (Zone 1: Wareneingang, Zone 2: Kommissionslager, Zone 3: Kommissionierung, Zone 4: Bereitstellung).
- Umstrukturierung der Regalanlagen unter Berücksichtigung von Lastprofilen, Palettenmaßen (inkl. Überlängen) und ergonomischen Kriterien.
- Einrichtung klarer Verkehrswege für Stapler und Kommissionierpersonal mit optischer Trennung (Bodenmarkierungen, Schilder).
- Implementierung einer Stellplatzlogik: Jeder Stellplatz erhält eine eindeutige Kennzeichnung (Barcode oder RFID-fähiges Etikett), um spätere digitale Integration zu ermöglichen.

##### **Begründung:**

Die feste Zuordnung von Stellplätzen eliminiert Suchzeiten, reduziert Wege und ermöglicht eine direkte Verknüpfung von physischem Materialfluss und ERP-Daten. In Kombination mit der funktionalen Trennung der Zonen wird die Grundlage für eine flussorientierte, stabile Materialversorgung geschaffen.

#### 3.2.4.2 Verlagerung von Lagerbeständen

Die Umstrukturierung erfordert eine strategische Umverteilung bestehender Lagerbestände:

- Überlange Lagerware (z. B. Profile, Rohre), die in Zelt 2 bisher häufig Zwischenflächen blockierte, wird vollständig nach Zelt 1 verlagert.
- Zelt 1 wird damit zur zentralen Lagerstätte für allgemeine Lagerware, die nicht unmittelbar in den Fertigungsprozess einfließt.
- Durch diese klare Funktionsentkopplung wird Zelt 2 ausschließlich für kommissionsnahe Materialien genutzt.

**Begründung:**

Die Entlastung von Zelt 2 verhindert unkontrollierte Belegung der Stellflächen durch nicht zeitkritische Bestände, reduziert Umlagerungen und steigert die Übersichtlichkeit. Gleichzeitig wird die Kapazität in Zelt 2 für hochfrequentierte Materialflüsse freigehalten.

**3.2.4.3 Schulung der Mitarbeitenden und Change Management**

Logistische Umstrukturierungen wirken sich direkt auf Arbeitsabläufe aus und können Unsicherheiten oder Widerstände hervorrufen. Daher ist ein gezieltes Change Management essenziell.

**Maßnahmen:**

- Frühzeitige Kommunikation der Ziele, Vorgehensweise und erwarteten Verbesserungen an alle betroffenen Mitarbeitenden.
- Schulungen in folgenden Bereichen:
  - Neue Wege- und Zonenlogik
  - Stellplatzkennzeichnung und Buchungsdisziplin
  - Arbeitssicherheitsaspekte in der neuen Wegeführung
- Onboarding-Phase mit Unterstützung durch Key User oder interne Multiplikatoren, die als Ansprechpartner fungieren.
- Feedbackformate (Workshops, regelmäßige Besprechungen) zur Identifikation von Problemen in der Anlaufphase.

**Begründung:**

Nur wenn die Mitarbeitenden die neuen Abläufe verstehen und akzeptieren, können die geplanten Effizienzgewinne realisiert werden. Zudem wird so die Basis für eine spätere digital unterstützte Prozessführung gelegt.

**3.2.4.4 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP)**

Die Einführung des neuen Logistikkonzepts ist nicht als einmalige Maßnahme zu verstehen, sondern als Startpunkt einer dynamischen Weiterentwicklung.

**Methodischer Rahmen:**

Der KVP folgt dem PDCA-Zyklus:

- **Plan:** Regelmäßige Analyse der Kennzahlen (Wege, Auslastung, Durchlaufzeiten)
- **Do:** Umsetzung kleinerer Verbesserungen im operativen Betrieb
- **Check:** Überprüfung der Wirkung der Maßnahmen
- **Act:** Standardisierung erfolgreicher Anpassungen und Ableitung neuer Optimierungspotenziale

**Praktische Umsetzung:**

- Monatliche Prozessreviews mit operativem Personal und Führungsebene
- Fehler- und Abweichungsanalysen mit systematischer Ursachenforschung (Root Cause Analysis)
- Offene Kommunikationskanäle für Verbesserungsvorschläge aus der Belegschaft

**Begründung:**

Ein strukturierter KVP sichert die Nachhaltigkeit der Optimierung und passt die Prozesse kontinuierlich an veränderte Rahmenbedingungen an.

**3.2.4.5 Langfristige Perspektive**

Mit der erfolgreichen Umsetzung der beschriebenen Maßnahmen wird eine skalierbare und digital anschlussfähige Logistikstruktur geschaffen.

**Potenzielle nächste Schritte:**

- Automatisierte Nachschubprozesse auf Basis von Echtzeit-Bestandsdaten
- KI-gestützte Lagerplatzoptimierung zur dynamischen Anpassung der Stellplatzbelegung
- Integration von Flottenmanagementsystemen für den innerbetrieblichen Transport
- Verknüpfung mit Produktionsplanungssystemen (APS) zur bedarfsgerechten Materialversorgung

Diese Entwicklungen basieren auf der in Zelt 2 geschaffenen Infrastruktur, der klaren Stellplatzlogik und den etablierten standardisierten Abläufen.

**3.2.4.6 Fazit:**

Die Maßnahmen und Umsetzungsvorschläge schaffen nicht nur kurzfristig eine Verbesserung der Effizienz und Transparenz, sondern bilden auch eine robuste Grundlage für zukünftige Digitalisierungsschritte. Die klare Zonierung, die technische Vorbereitung und das begleitende Change-Management stellen sicher, dass die neue Logistikstruktur nachhaltig und zukunftssicher ist.

### **3.3 Konzeption einer Radio Frequency Identification-Lösung**

Die zunehmende Digitalisierung industrieller Produktions- und Logistikprozesse erfordert Technologien, die eine lückenlose Nachverfolgbarkeit und Echtzeittransparenz ermöglichen. Innerhalb des untersuchten Unternehmens bildet die Einführung einer RFID-basierten Lösung einen zentralen Baustein auf dem Weg zur digitalisierten Intralogistik. Ziel dieses Kapitels ist es, die technische und organisatorische Konzeption der RFID-Implementierung zu beschreiben, deren Systemarchitektur zu erläutern und die Integration in bestehende Prozessabläufe darzustellen. Grundlage bildet ein Grobkonzept zur RFID-gestützten Transportsteuerung in Verbindung mit der praktischen Umsetzung im Rahmen des Projekts.

#### **3.3.1 Systemarchitektur und Komponenten**

Die geplante RFID-Lösung folgt einem modularen Aufbau, der eine stufenweise Einführung ermöglicht. Die Architektur soll sicherstellen, dass zukünftige Erweiterungen – etwa auf zusätzliche Lagerzonen, Hallen oder Standorte – ohne grundlegende Anpassungen der Infrastruktur realisiert werden können. Die RFID-Implementierung ist so ausgelegt, dass sie mit bestehenden IT-Systemen des Unternehmens, insbesondere dem ERP-System, kompatibel ist und diese sinnvoll ergänzt.

##### **3.3.1.1 Übergeordnete Systemstruktur**

Das ERP-System bleibt das führende System für alle Material- und Buchungsprozesse. Von hier aus werden Transport- und Lageraufträge initiiert, die anschließend über eine standardisierte Schnittstelle an die

operative Steuerungsebene übermittelt werden. Diese Ebene dient der Priorisierung und Zuweisung von Transportaufträgen an die entsprechenden Flurförderfahrzeuge und gewährleistet gleichzeitig eine Echtzeitüberwachung des Prozessfortschritts.

Die Rückmeldung von Lagerbewegungen erfolgt automatisiert an das ERP-System. Dadurch wird sichergestellt, dass physische und systemische Bestände jederzeit synchron sind. Diese bidirektionale Datenkommunikation schafft die Basis für Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Prozesssicherheit. Zudem reduziert sie manuelle Eingriffe und die damit verbundenen Fehlerquellen erheblich.

### **3.3.1.2 Hardwarekomponenten und Infrastruktur**

Das technische Fundament der Lösung bilden passive UHF-RFID-Systeme, die für industrielle Anwendungen optimiert sind. Sie bestehen aus mehreren Hauptkomponenten:

#### **Transponder (Tags):**

Vorgesehen sind wiederverwendbare, robuste On-Metal-UHF-Tags, die speziell für den Einsatz auf metallischen Ladungsträgern geeignet sind. Diese sollen direkt an Gitterboxen, Paletten oder Stellplatzmarkierungen angebracht werden. Die Tags werden eindeutig codiert, sodass jeder Ladungsträger eine individuelle Kennung erhält, die im ERP-System hinterlegt ist.

#### **Lesegeräte (Reader):**

Stationäre Reader sollen an strategisch wichtigen Punkten installiert werden – beispielsweise an Toren im Wareneingang, an Bereitstellungszone oder in Übergangsbereichen zwischen Lager- und Produktionszone. Ergänzend ist der Einsatz mobiler Reader vorgesehen, die in Staplern oder Handheld-Geräten integriert werden können, um auch flexible Materialbewegungen zu erfassen.

#### **Kommunikationsnetzwerk:**

Die Datenübertragung erfolgt über ein drahtloses Industrienetzwerk, das eine stabile und latenzarme Kommunikation zwischen den Readern und der zentralen Datenverarbeitung sicherstellt. Durch redundante Netzwerkstrukturen soll eine hohe Verfügbarkeit gewährleistet werden. Ergänzend kann eine Positionsbestimmung durch Zonenerkennung oder Beacon-Systeme erfolgen, um Bewegungen noch präziser zu lokalisieren.

### **3.3.1.3 Softwarearchitektur**

Die Softwarearchitektur besteht aus drei funktional getrennten, aber miteinander vernetzten Ebenen:

- 1. ERP-Ebene:** Verwaltung von Materialstammdaten, Lagerplätzen und Auftragssteuerung. Sie fungiert als zentrale Planungs- und Steuerungseinheit, in der sämtliche Aufträge und Buchungen zusammenlaufen.
- 2. Steuerungsebene (Middleware):** Übersetzung der von den Readern erfassten Signale in für das ERP-System verwertbare Informationen. Diese Ebene dient zugleich der Fehlerprüfung und Datenfilterung.
- 3. Endgeräte-Ebene:** Stapler- und Hubwagen-Terminals sowie mobile Geräte für Sondertransporte und manuelle Buchungen. Hier werden alle relevanten Auftragsinformationen visualisiert, wodurch Mitarbeitende unmittelbar auf Prozessänderungen reagieren können.

Durch diese Struktur kann die RFID-Lösung als offene Plattform realisiert werden, die sowohl interne als auch externe Schnittstellen unterstützt. Eine spätere Integration zusätzlicher Systeme – etwa automatisierter Fördertechnik oder fahrerloser Transportsysteme – wird dadurch erleichtert.

#### **3.3.1.4 Mengengerüst und Dimensionierung**

Für den geplanten Ausbau ist vorgesehen, dass alle relevanten Lagerzonen und Übergabepunkte mit RFID-Technik ausgestattet werden. Das betrifft insbesondere den Wareneingang, die Bereitstellungszonen für die Fertigung sowie die zentralen Umlagerungsstellen. Insgesamt ist die Ausstattung von mehreren tausend Ladungsträgern mit RFID-Tags vorgesehen. Ergänzend sollen mobile Lesegeräte und stationäre Gates die wichtigsten Transportpunkte abdecken. Das System wird so dimensioniert, dass zukünftige Kapazitätserweiterungen problemlos möglich sind.

#### **3.3.1.5 Sicherheits- und Skalierungsaspekte**

Die geplante Speicherung der RFID-Daten erfolgt innerhalb der bestehenden IT-Infrastruktur des Unternehmens. Sämtliche Daten sollen in einer gesicherten Datenbank erfasst und über standardisierte Schnittstellen an das ERP-System übermittelt werden. Backup-Mechanismen und Zugriffsbeschränkungen stellen sicher, dass keine unberechtigten Änderungen vorgenommen werden können. Die Architektur ist modular aufgebaut, sodass Erweiterungen oder Anpassungen an veränderte logistische Prozesse ohne großen Aufwand umgesetzt werden können.

### **3.3.2 Konzept der Einbindung in Prozessabläufe**

Das RFID-Konzept wurde so ausgelegt, dass es sich nahtlos in die bestehenden logistischen Prozessketten integriert. Ziel ist es, Informationslücken zu schließen und Transparenz über alle Materialbewegungen zu schaffen. Nachfolgend werden die wesentlichen Anwendungsbereiche beschrieben, in denen der Einsatz der RFID-Technologie vorgesehen ist.

#### **3.3.2.1 Wareneingang**

Beim Eintreffen neuer Materialien sollen diese unmittelbar nach der Anlieferung mit einem RFID-Tag versehen werden. Das Gate im Wareneingang dient als erster Erfassungspunkt im System. Beim Passieren des Tores wird der Tag automatisch erkannt, wodurch der Wareneingang systemisch verbucht wird. Diese Erfassung bildet die Grundlage für eine durchgängige Rückverfolgbarkeit der Warenbewegungen.

#### **3.3.2.2 Einlagerung**

Nach der Wareneingangsbuchung soll das ERP-System automatisch einen Einlagerungsauftrag generieren, der einem verfügbaren Flurförderfahrzeug zugewiesen wird. Das Fahrzeug liest beim Aufnehmen der Palette den RFID-Tag aus und übermittelt die Information an die zentrale Datenbank. Beim Abstellen der Palette wird der Stellplatz automatisch erkannt und im System hinterlegt. Auf diese Weise entsteht eine lückenlose digitale Dokumentation aller Lagerbewegungen.

#### **3.3.2.3 Kommissionierung und Bereitstellung**

Bei der Kommissionierung sollen Palettenbewegungen automatisch erfasst werden, sobald ein mit RFID ausgestatteter Ladungsträger eine definierte Zone betritt oder verlässt. Die Übergabe an die Fertigung

kann durch das Passieren eines Gates oder durch einen mobilen Reader dokumentiert werden. Damit wird gewährleistet, dass jede Bewegung unmittelbar und fehlerfrei im ERP-System gebucht wird.

#### **3.3.2.4 Umlagerungen und Sondertransporte**

Für Umlagerungen oder nicht planbare Transporte ist vorgesehen, dass Mitarbeitende mobile RFID-Lesegeräte verwenden können. Dadurch wird eine flexible und gleichzeitig standardisierte Erfassung ermöglicht, auch wenn Transportaufträge kurzfristig angepasst werden. Alle Bewegungen werden automatisch dem entsprechenden Auftrag zugeordnet und im System dokumentiert.

#### **3.3.2.5 Datenfluss und Schnittstellenkonzept**

Der Datenaustausch zwischen den RFID-Komponenten und dem ERP-System erfolgt über standardisierte Schnittstellen. Diese sorgen für einen bidirektionalen Informationsfluss: RFID-Ereignisse werden an das ERP-System übermittelt, während Transportaufträge oder Rückmeldungen umgekehrt an die Lesepunkte gesendet werden. Diese Synchronisation gewährleistet, dass physische und digitale Bestände stets übereinstimmen.

#### **3.3.2.6 Erwartete Prozessvorteile**

Das vorgesehene Konzept soll langfristig zu folgenden Verbesserungen führen:

- **Automatisierte Buchungen:** Wegfall manueller Eingaben und Reduktion menschlicher Fehler.
- **Echtzeittransparenz:** Lückenlose Nachverfolgung aller Materialbewegungen.
- **Zeitersparnis:** Schnellere Durchlaufzeiten durch automatisierte Prozessschritte.
- **Erhöhte Prozesssicherheit:** Klare Verantwortlichkeiten und eindeutige Datengrundlage.
- **Optimierte Planung:** Grundlage für datenbasierte Analysen und zukünftige Automatisierungen.

### **3.3.3 Konzept der stationären Umsetzung**

Da die Implementierung der RFID-Lösung schrittweise erfolgen soll, wird in der ersten Phase die Installation stationärer Lesepunkte an den zentralen logistischen Schnittstellen vorgesehen. Diese Punkte stellen sicher, dass die wichtigsten Materialbewegungen automatisiert erfasst werden können.

#### **3.3.3.1 Geplante Lesepunkte**

- **Wareneingangstor:** Erfassung aller ein- und ausgehenden Materialflüsse.
- **Bereitstellungszonen:** Automatische Rückmeldung an das ERP-System bei Übergabe an die Fertigung.
- **Zwischenlagerzonen:** Dokumentation von Umlagerungen und Materialbereitstellungen zwischen Lagerbereichen.

Diese Erfassungspunkte bilden die Grundlage für eine spätere Erweiterung um zusätzliche Lesepositionen oder mobile Systeme.

### **3.3.3.2 Technische Auslegung**

Jede Lesestation besteht aus einem oder mehreren RFID-Readern, Antennen und einem Steuergerät zur Datenübermittlung. Die Lesereichweite beträgt bis zu vier Meter, wodurch mehrere Ladungsträger gleichzeitig erfasst werden können. Ein integriertes Filter- und Validierungssystem verhindert Fehllösungen und sorgt für eine hohe Datenqualität.

### **3.3.3.3 Weiterentwicklungsperspektive**

Nach erfolgreicher Einführung der stationären Lesepunkte kann die RFID-Technologie auf weitere logistische Bereiche ausgeweitet werden. Dazu zählen etwa mobile Anwendungen auf Flurförderzeugen oder die Integration in automatisierte Fördersysteme. Mittelfristig bietet die Architektur zudem die Möglichkeit, Daten für analytische Zwecke zu nutzen – beispielsweise zur Ermittlung von Engpässen, Routenoptimierungen oder Kapazitätsauslastungen.

### **3.3.4 Zusammenfassung und Bewertung**

Das in diesem Kapitel beschriebene Konzept bildet die Grundlage für eine zukunftsorientierte Digitalisierung der innerbetrieblichen Logistikprozesse. Durch die Integration von RFID in die bestehenden Strukturen werden Transparenz, Prozesssicherheit und Datenqualität signifikant erhöht.

Die vorgesehene Systemarchitektur ermöglicht eine schrittweise Einführung, ohne die laufenden Prozesse zu beeinträchtigen. Durch die Kombination von stationären und mobilen Erfassungspunkten entsteht ein skalierbares System, das den Anforderungen einer modernen, datengetriebenen Intralogistik gerecht wird.

Langfristig soll die RFID-Technologie als zentraler Bestandteil einer umfassenden Digitalisierungsstrategie dienen, die den Weg zu einer automatisierten und intelligenten Materialflusssteuerung ebnet.

## **4 FAZIT UND AUSBLICK**

### **4.1 Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse**

Die Masterarbeit zeigt, dass eine strukturierte Analyse und die Neugestaltung innerbetrieblicher Transportprozesse ein erhebliches Effizienzpotenzial birgt. Ausgangspunkt war die Einführung der Laserschneidmaschine, die einen fundamentalen Wandel des Materialflusses und eine Neuordnung der Lagerlogistik erforderte. Durch die Entwicklung eines klar definierten Vier-Zonen-Layouts im Zwischenlager (Zelt 2) konnten Suchzeiten, Umlagerungen und Kreuzungspunkte deutlich reduziert werden.

Die quantitative Auswertung belegt diese Verbesserungen: Die durchschnittliche Wegelänge pro Palette wurde um rund 60 % verkürzt, die Anzahl der Kreuzungspunkte sank um 43 %, und die Umlagerungsquote konnte von 22 % auf unter 5 % reduziert werden. Damit einher geht eine deutliche Entlastung des Personals und eine bessere Planbarkeit der Transporte.

Besonders hervorzuheben ist, dass diese Effizienzsteigerungen ohne zusätzliche Ressourcen, sondern primär durch organisatorische und strukturelle Anpassungen erreicht wurden. Die standardisierte Zonierung des Zwischenlagers bildet zudem die Grundlage für eine digitale Nachverfolgung des Materialflusses und eröffnet neue Möglichkeiten der Prozessautomatisierung.

Ein zentrales Ergebnis liegt in der Konzeption einer RFID-basierten Lösung. Durch die Kopplung physischer Materialbewegungen mit digitaler Datenerfassung entsteht eine durchgängige Transparenz über alle logistischen Schnittstellen hinweg. Damit wird der Grundstein für eine echtzeitfähige, datengetriebene Intralogistik gelegt, die eine präzisere Steuerung, verbesserte Rückverfolgbarkeit und langfristig eine automatisierte Bestandsführung ermöglicht.

### **4.2 Empfehlungen für den Regelbetrieb**

Für den Übergang vom Projekt- in den Dauerbetrieb empfiehlt sich ein gestuftes Vorgehen.

Im ersten Schritt sollten die Übergabepunkte mit der höchsten Transportfrequenz – Wareneingang (Zone 1), Kommissionierung (Zone 3) und Bereitstellung (Zone 4) – mit stationären RFID-Lesegates ausgestattet werden. Diese gewährleisten eine automatische Buchung der Warenbewegungen und schaffen Echtzeit-Bestandsdaten.

Parallel dazu ist der Einsatz mobiler Lesegeräte auf Flurförderzeugen sinnvoll, um flexible Buchungen außerhalb der Haupttransportachsen zu ermöglichen. Ebenso wichtig ist eine gezielte Schulung der Mitarbeitenden im Umgang mit den neuen Technologien. Nur wenn das Personal die Funktionsweise und den Nutzen der Systeme versteht, kann die Akzeptanz langfristig gesichert werden.

Ergänzend sollte ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP) etabliert werden, der technische und organisatorische Anpassungen regelmäßig überprüft. Durch die Einbindung von Feedback-Schleifen und Kennzahlenvergleichen lassen sich Abweichungen frühzeitig erkennen und Optimierungen dauerhaft verankern.

Darüber hinaus empfiehlt sich die Integration der RFID-Daten in das bestehende ERP-System, um eine automatische Lagerbuchung und eine bedarfsgerechte Materialversorgung zu ermöglichen. Auf dieser Basis können mittelfristig auch KI-gestützte Analysen zur Prognose von Engpässen und zur dynamischen Lagerplatzoptimierung umgesetzt werden.

### **4.3 Potenziale für weiterführende Forschung**

Die Arbeit bietet mehrere Ansatzpunkte für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Zum einen könnten Simulationen der Materialflüsse unter variierenden Produktionsbedingungen durchgeführt werden, um die Robustheit des Layouts weiter zu prüfen. Zum anderen wäre eine Erweiterung der RFID-Anwendung auf mobile Kommissioniereinheiten oder Werkzeuge von Interesse, um zusätzliche Transparenz in der Fertigung zu schaffen.

Langfristig eröffnet die Verknüpfung von Echtzeit-Daten mit KI-basierten Entscheidungsmodellen die Möglichkeit einer selbststeuernden Logistik. Die Kombination aus sensorbasiertem Tracking, automatisierter Datenauswertung und adaptiver Ressourcensteuerung könnte einen entscheidenden Schritt in Richtung Smart Factory darstellen.

Insgesamt leistet die Masterarbeit einen praxisorientierten Beitrag zur Digitalisierung der innerbetrieblichen Logistik. Sie zeigt, wie durch methodische Analyse, strukturelle Klarheit und technologische Integration ein nachhaltiger Mehrwert geschaffen werden kann – sowohl für die Effizienz des Materialflusses als auch für die strategische Weiterentwicklung des Unternehmens.

---

## LITERATUR- UND PROMPTVERZEICHNIS

### Gedruckte Werke (21)

Arnold, Dieter (2006): *Intralogistik*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

Arnold, Dieter; Furmans, Kai (2019): *Materialfluss in Logistiksystemen*, 7 Auflage, Springer-Verlag GmbH, Karlsruhe

Daganzo, Carlos (2005): *Logistics Systems Analysis*, 4 Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

Fleisch, Elager; Mattern, Friedmann (2005): *Das Internet der Dinge*, 1 Auflage, Berlin Heidelberg

Franke, Werner; Dangelmaier, Wilhelm (2006): *RFID - Leitfaden für die Logistik*, 1 Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden

Gudehus, Timm (2010): *Logistik: Grundlagen – Strategien – Anwendungen*, 4 Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Heidelberg Dordrecht London New York

Günthner, Willibald; Boppert, Julia (2013): *Lean Logistics*, 1 Auflage, Springer Vieweg, Heidelberg

Günthner, Willibald; Klenk, Eva; Durchholz, Janina; Boppert, Julia (2013): *Schlanke Logistikprozesse - Handbuch für Planer*, 1 Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin Heidelberg

Heinrich, Martin (2021): *Technische Transport- und Lagerlogistik*, 1 Auflage, Springer Vieweg, Hamburg

Hoene, Andreas; Jawale, Mandar; Neukirchen, Thom; Bednorz, Nicole; Schulz, Holger; Hauser, Simon (2019): *Bewertung von Technologielösungen für Automatisierung und Ergonomieunterstützung der Intralogistik*, 64 Auflage, MA Akademie Verlags- und Druck-Gesellschaft mbH, Essen

Hohmann, Susanne (2022): *Logistik- und Supply Chain Management*, 1 Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden

Langevin, André; Diane, Riopel (2005): *Logistics Systems: Design and Optimization*, 1 Auflage, Springer Verlag, New York

Otto, Andreas; Obermaier, Robert (2007): *Logistikmanagement*, 1 Auflage, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden

Piontek, Jochem; Czenskowsky, Thorsten (2012): *Logistikcontrolling - Marktorientiertes Controlling der Logistik*, 2 Auflage, Deutscher Betriebswirte-Verlag GmbH, Gernsbach

Plümer, Thomas; Steinfatt, Egbert (2017): *Produktions- und Logistikmanagement*, 2 Auflage, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston

Schuh, Günther; Stich, Volker (2013): *Logistikmanagement*, 1 Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg

ten Holmen, Michael; Büchter, Hubert; Franzke, Ulrich (2008): *Identifikationssysteme und Automatisierung*, 1 Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin Heidelberg

ten Hompel, Michael; Schmidt, Thorsten (2010): *Warehouse Management*, 3 Auflage, Springer-Verlag, Berlin

---

Wang, Heng; Hubbard, Bryan; Hubbard, Sarah (2014): *RFID Applied to Supply Chain Logistics in Disaster Recovery*, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA

Weber, Jürgen; Kunz, Jennifer (2003): *Empirische Controllingforschung*, 8 Auflage, Deutscher Universitäts-Verlag GmbH, 2003

Willibald Günthner, Andre (2011): *Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen*, 1 Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Heidelberg Dordrecht London New York

#### **Online-Quellen (4)**

: *insightsoftware*

[https://insightsoftware.com/blog/20-best-logistics-kpis-and-metric-examples/?utm\\_source=chatgpt.com](https://insightsoftware.com/blog/20-best-logistics-kpis-and-metric-examples/?utm_source=chatgpt.com)

[Stand: 15.Juli.2025]

Siebert, Bernd; Gläser, Michael: *Das Internationale Einheitensystem (SI)*, *PTB-Mitteilungen*, 117. Jahrgang, Heft 2, *Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven*

<http://www.ptb.de/de/publikationen/download/pdf/si.pdf> [Stand: 06.05.2011]

Springer: *Springer*

<https://springer.eu/> [Stand: 13.09.2025]

Turovski, Mattias: *MRPeasy*

[https://www.mrpeasy.com/blog/supply-chain-kpis/?utm\\_source](https://www.mrpeasy.com/blog/supply-chain-kpis/?utm_source) [Stand: 15.Juli.2025]

#### **Promptverzeichnis**

01\_ChatGPT5 (2025): Stilistische Textoptimierung in Kapitel 1 – 4

Prompt: „Verbessere den folgenden Satz stilistisch, verändere dabei keine Inhalte und Fachtermini.“

Einsatz: Mehrfach für stilistische und grammatikalische Verbesserung

## **ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abbildung 1: Iststand Warenfluss .....	7
Abbildung 2: Farblegende Transportwege .....	8
Abbildung 3: Iststand Warenfluss .....	43
Abbildung 4: Farblegende Transportwege .....	44
Abbildung 5: Grafische Darstellung des Zeitverlustes .....	48
Abbildung 6: Vergleich von Lagerkapazität und tatsächlichem Bedarf .....	64
Abbildung 7: Warenfluss Soll.....	65

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Beispiele aus Datenbankblatt .....	38
Tabelle 2: Daten-Blatt .....	39
Tabelle 3: Ergebnisse-Blatt .....	40
Tabelle 4: Paletten Ein- und Ausgänge der Zelte .....	41
Tabelle 5: Transportmatrix – Häufigkeit der Fahrten von A nach B .....	45
Tabelle 6: Distanzmatrix .....	46
Tabelle 7: Ineffizienz Kategorien .....	47
Tabelle 8: Optimierungsziele .....	62
Tabelle 9: Farblegende für Wegeführung.....	64
Tabelle 10: Vergleich Ist - Sollzustand .....	68

## **ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

AOA	Angle of Arrival
APS	Advanced Planning and Scheduling (Produktionsplanungssystemen)
BI	Business-Intelligence-Plattformen
BLE	Bluetooth Low Energy
BSc	Bachelor of Science
ERP	Enterprise Resource Planning
FTS	Fahrerloses Transportsysteme
GAE	Gesamtanlageneffektivität
HF	High Frequency
IT	Informationstechnologie
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LF	Low Frequency
LOS	Line of Sight
MES	Manufacturing Execution Systems
MFR	Materialflussrechner
MSc	Master of Science
PDCA	Plan, Do, Check, Act
QS	Qualitätssicherung
RFID	Radio Frequency Identification
RTLS	Real-Time Location Systems
SAW-Tags	Surface Acoustic Wave Tags
SCM	Supply chain Management
SOPs	Standard Operating Procedures
TDOA	Time Difference of Arrival
tW	Wiederbeschaffungszeit
TOF	Time of Flight
UHF	Ultra High Frequency
UWB	Ultra-Wideband
WBZ	Wiederbeschaffungszeit
WiFi	Wireless Fidelity
WMS	Warehouse Management System