

Nachfolgend finden Sie die Übersetzung ins Deutsche des frei verfügbaren Fachartikels:

Original:

**„Material Flow Optimization as a Tool for Improving Logistics Processes in the Company“.**

Juraj Camaj, Zdenka Bulková \* and Jozef Gašparík.

**Verfügbar unter** (Stand 23.6.2025):

<https://www.mdpi.com/2076-3417/15/6/3116>

Dies ist eine nicht offizielle deutsche Übersetzung des Originals durch:

Markus Bans

ATS Prozessoptimierung Markus Bans

Web: <https://simio-simulation.de>

**Lizenz:**

Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)

S. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>



## Artikel

# Materialflussoptimierung als Instrument zur Verbesserung der Logistikprozesse im Unternehmen

Juraj Camaj<sup>†</sup> , Zdenka Bulková<sup>\*</sup>  und Jozef Gašparík 



Akademischer Herausgeber: Arkadiusz Gola

Eingegangen: 21. Februar 2025

Überarbeitet: 5. März 2025

Angenommen: 10. März 2025

Veröffentlicht: 13. März 2025

**Zitat:** Camaj, J.; Bulková, Z.;<sup>†</sup> Gašparík, J. Optimierung des Materialflusses als Instrument zur Verbesserung der Logistikprozesse im Unternehmen. *Appl. Sci.* **2025**, *15*, 3116. <https://doi.org/10.3390/app15063116>

**Copyright:** © 2025 bei den Autoren. Lizenznehmer MDPI, Basel, Schweiz. Bei diesem Artikel handelt es sich um einen Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Attribution (CC BY) Lizenz (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) vertrieben wird.

Abteilung für Eisenbahnverkehr, Fakultät für Betrieb und Wirtschaft des Verkehrs und der Kommunikation, Universität Žilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slowakei; juraj.camaj@uniza.sk (J.C.); <sup>†</sup> jozef.gasparik@uniza.sk (J.G.)

**\* Korrespondenz:** zdenka.bulkova@uniza.sk; Tel.: +421-41-513-34-11

## Zusammenfassung:

Fortschritte in der Verkehrstechnik und -technologie spielen eine entscheidende Rolle bei der Verbesserung multimodaler Transportsysteme und der Optimierung von Logistikabläufen. Die

vorliegende Studie befasst sich mit dem effizienten Stoffstrommanagement in einem Industrieunternehmen, das die Ziele eines nachhaltigen Transports und innovativer Logistikstrategien direkt unterstützt. Das Produktionswerk in Veselí nad Lužnicí wurde als Fallstudie ausgewählt, da Ineffizienzen in den Logistikprozessen festgestellt wurden und detaillierte Betriebsdaten verfügbar sind, die eine genaue Analyse der Materialflüsse ermöglichen. Die Studie identifiziert Schwachstellen im aktuellen Materialfluss und schlägt die folgenden zwei Optimierungslösungen vor: die Ersetzung eines externen Betreibers für den Transport von Halbfertigwaren durch eine eigene Logistik und die Substitution externer Transportdienstleister für den Transport von Fertigwaren durch eine intern verwaltete Flotte. Die vorgeschlagene Methodik führt eine neuartige Integration von Analysewerkzeugen ein, einschließlich Schachbretttabellenanalyse, Kostenmodellierung und Return-on-Investment (ROI)-Bewertung, um die Logistikeffizienz zu bewerten und die Materialflusskosten zu minimieren. Die Studie zeigt, wie optimierte Materialflüsse, insbesondere durch Bahnlogistik, zu kostengünstigen und nachhaltigen Lieferketten beitragen können. Die Studie spiegelt aktuelle Trends in der Planung von Verkehrssystemen wider und legt den Schwerpunkt auf Verkehrsmodellierung, Simulationen digitaler Zwillinge und intelligenter Bahntechnologien, um die betriebliche Effizienz und Widerstandsfähigkeit zu verbessern. Die Ergebnisse geben praktische Empfehlungen für Unternehmen, die den Schienenverkehr in ihre Logistikprozesse integrieren wollen, und tragen so zu den übergeordneten Zielen der ökologischen Nachhaltigkeit und der digitalen Transformation im Transportsektor bei.

**Schlüsselwörter:** Materialfluss; Management; Logistikkette; Kosten; Wettbewerbsfähigkeit; Optimierung

## 1. Einleitung

Die Optimierung des Materialflusses ist einer der Schlüsselbereiche, der sich direkt auf die Effizienz der Produktionsprozesse und die allgemeine Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen auswirkt. Vor dem Hintergrund aktueller Herausforderungen in der Bahn- und Verkehrstechnik wird dieses Thema noch wichtiger, da ein effektives Stoffstrommanagement eng mit Logistik, Transport und Kostenoptimierung in Verkehrssystemen verknüpft ist [1,2]. Der Materialfluss stellt die organisierte Bewegung von Materialien innerhalb des Produktionsprozesses oder des Produktkreislaufs dar, die durch die Richtung, Intensität, Häufigkeit, Länge, Leistung, Struktur und Beschaffenheit des transportierten Materials sowie die angewandte Transport- und Handhabungstechnologie gekennzeichnet ist [3,4]. Bei der Analyse des Materialflusses wird die Effizienz der Materialbewegungen innerhalb der verschiedenen Stufen des Produktionsprozesses untersucht, einschließlich der Darstellung der wesentlichen Anforderungen des Produktionsprozesses und deren Integration in die externe Logistikkette [5]. Die Optimierung von Materialflüssen in Produktion und Logistik steigert die Wettbewerbsfähigkeit, da die

Die optimale Anordnung von Elementen und Beziehungen beeinflusst maßgeblich die Kosten, die Flexibilität und die Gesamtproduktivität [6].

Ein untrennbarer Bestandteil des Materialflusses ist der Informationsfluss, der eine Schlüsselrolle bei der Sicherstellung der Effizienz und Kontinuität der gesamten Logistikkette spielt [7]. Der Informationsfluss liefert wichtige Daten für die Überwachung, Planung und Koordination von Materialbewegungen und unterstützt so die Entscheidungsfindung und Prozessoptimierung [8,9]. Im breiteren Rahmen der Logistik und des Lieferkettenmanagements orientiert sich die Materialflussoptimierung an den Prinzipien der schlanken Logistik, reduziert Verschwendung und verbessert die Effizienz durch Just-in-Time-Bestandsstrategien (JIT) und eine optimierte Produktionsplanung [10]. Darüber hinaus hängt die Resilienz der Lieferkette von der Anpassungsfähigkeit der Materialflüsse an externe Störungen ab, was die Bedeutung von Predictive Analytics, Echtzeit-Tracking und Automatisierung in modernen Logistikabläufen unterstreicht [11].

Ein effizientes Materialflussmanagement ist ebenfalls ein wesentlicher Bestandteil der Agilität der Lieferkette und ermöglicht es Unternehmen, schneller auf Nachfrageänderungen, Unterbrechungen der Lieferkette und Marktschwankungen zu reagieren [12,13]. Die Integration von Industrie-4.0-Technologien wie digitalen Zwillingen, IoT-basiertem Tracking und KI-gesteuerter Nachfrageprognose verbessert die Fähigkeit von Unternehmen, Materialflüsse dynamisch zu optimieren [14]. In der Transportlogistik kann die Integration optimierter Materialflüsse in multimodale Transportstrategien, einschließlich des Schienenverkehrs, die Kosten erheblich senken, die Kohlenstoffemissionen senken [15–17] und die Nachhaltigkeit der Lieferkette insgesamt verbessern [18–21].

Im heutigen Wettbewerbsumfeld ist es für Unternehmen unerlässlich, ihre Prozesse kontinuierlich zu verbessern. Die Begriffe Analyse, Planung und Optimierung sind eng miteinander verknüpft, da die Befolgung dieser Abfolge einen kontinuierlichen Verbesserungszyklus gewährleistet, der Unternehmen Wettbewerbsvorteile und eine höhere Wahrscheinlichkeit zur Aufrechterhaltung der Rentabilität verschafft [22,23]. Unternehmen müssen daher verstärkt auf die Analyse und Optimierung von Materialflüssen setzen, um mehr Effizienz zu erzielen, Kosten zu senken und ihre Marktposition zu stärken.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Identifizierung von Mängeln und Lösungsvorschlägen für das Materialflussmanagement in einem Produktionsunternehmen in Veselí nad Lužnicí, das Futtermittel herstellt. Das Hauptziel besteht darin, eine gründliche Analyse der aktuellen Betriebsprozesse durchzuführen, um Schlüsselprobleme aufzudecken, die sich negativ auf die Effizienz, Kosteneffizienz und Gesamtleistung des Logistiksystems des Unternehmens auswirken. Basierend auf den Erkenntnissen werden Maßnahmen vorgeschlagen, um festgestellte Mängel zu beseitigen. Es wird der Grundriss des Unternehmens vorgestellt, der die räumliche Anordnung der Arbeitsplätze und der verschiedenen Bereiche der Produktionsstätte detailliert beschreibt. Ein wichtiger Teil der Analyse umfasst auch eine Beschreibung der Lager- und Materialflussprozesse unter Einbeziehung von Bestandsverwaltungsmethoden wie FIFO (First In, First Out) und FEFO (First Expired, First Out), die einen optimalen Materialfluss gemäß seinen Eigenschaften und Anforderungen gewährleisten. Die Analyse des Materialflusses innerhalb des Unternehmens konzentriert sich auf die Quantifizierung der mit dem Handling verbundenen Kosten, einschließlich Personalkosten, Transportkosten, Kosten für Flurförderzeuge und Lagermietgebühren.

Basierend auf den festgestellten Mängeln werden zwei Lösungsvarianten vorgeschlagen, um den Materialfluss zu optimieren. Zu diesen Vorschlägen gehören die Ersetzung des externen Operators für Halbfabrikate (SF) durch den innerbetrieblichen Transport und die Substitution externer Operatoren für den Transport von Fertigwaren (FG) durch ein internes Logistiksystem. In diesem Beitrag wird ein neuartiger, systematischer und praktisch anwendbarer Ansatz zur Materialflussoptimierung in Unternehmen vorgestellt, der traditionelle Analysewerkzeuge mit modernen Visualisierungs- und Effizienzbewertungstechniken verbindet. Die vorgeschlagene Methodik kombiniert eine Schachbretttabelle als visuelles Werkzeug zur Analyse von Arbeitsplatzbeziehungen mit Formeln zur Berechnung der Materialflusskosten. Dieser Ansatz

verbessert das Verständnis der Wechselwirkungen innerhalb des Logistiksystems und ermöglicht gleichzeitig die Quantifizierung der Auswirkungen der vorgeschlagenen Änderungen. Die Einbeziehung einer ökonomischen Analyse des Return on Investment (ROI) direkt in die Methodik liefert klare und messbare Indikatoren für den Erfolg der umgesetzten Maßnahmen. Diese Integration erhöht den praktischen Wert der Methodik sowohl für Manager als auch für Akademiker. Die Methodik ist so konzipiert, dass sie leicht auf verschiedene Arten von Unternehmen anwendbar ist, von Fertigungsunternehmen bis hin zu Lagersystemen. Einer seiner Hauptvorteile ist seine Anpassungsfähigkeit, die es ermöglicht, einzelne Schritte auf die spezifischen Bedürfnisse eines Unternehmens zuzuschneiden, was ihn von starren theoretischen Ansätzen unterscheidet. Während sich viele Methoden ausschließlich auf tabellarische und numerische Daten stützen, beinhaltet dieser Ansatz eine Schachbretttabelle für eine intuitive Darstellung der Beziehungen zwischen den Workstations. Dieses Tool ermöglicht die schnelle Identifizierung kritischer Bereiche innerhalb des Materialflusses. Ein weiterer wichtiger Aspekt dieser Lösung ist die Fähigkeit, die betriebliche Flexibilität zu erhöhen, so dass Unternehmen schnell auf Nachfrageschwankungen oder Kundenspezifikationen reagieren können. Im Ergebnis werden nicht nur konkrete Lösungsansätze zur Verbesserung der Logistikprozesse vorgestellt, sondern auch ein methodischer Rahmen geboten, der auf andere produzierende Unternehmen anwendbar ist, die vor ähnlichen Herausforderungen stehen. Insgesamt bietet es einen wertvollen Ansatz zur Verbesserung der Materialflusseffizienz, wobei die praktische Machbarkeit und der wirtschaftliche Nutzen hervorgehoben werden. Dieser Ansatz ist nicht nur in Logistikunternehmen, sondern auch in der integrierten Bahnlogistik anwendbar. Sie unterstützt direkt die Ziele eines nachhaltigen Verkehrs und innovativer Verkehrstechnologien.

Obwohl das Thema der Materialflussoptimierung Gegenstand zahlreicher Forschungsstudien war, trägt diese Arbeit zur bestehenden Literatur bei, indem sie sich auf praktische Einschränkungen im industriellen Umfeld konzentriert und eine Methodik anbietet, die unter realen Bedingungen anwendbar ist, ohne dass umfangreiche Investitionen in die technologische Modernisierung erforderlich sind. Diese Studie identifiziert und hinterfragt gängige industrielle Einschränkungen, die oft eine effektive Optimierung des Materialflusses behindern. Traditionelle Optimierungsmodelle setzen vor allem auf mathematische und simulationsbasierte Ansätze, die zwar präzise Ergebnisse liefern, aber nicht immer reale Betriebsbedingungen wie Kapazitätsgrenzen, Infrastruktureinschränkungen oder die Investitionsmöglichkeiten eines Unternehmens widerspiegeln. Im Gegensatz dazu stützt sich die vorgeschlagene Methodik auf eine Kombination aus einer Schachbretttabelle und einer quantitativen Kostenanalyse, was eine flexible und schnell anwendbare Lösung ermöglicht, ohne dass ausgefeilte Simulationsmodelle erforderlich sind.

Die Neuheit dieser Studie liegt auch in der Entwicklung eines systematischen Verfahrens zur Bewertung unterschiedlicher Stoffstromvarianten, das visuelle und ökonomische Analysewerkzeuge in einen umfassenden methodischen Rahmen integriert. Während sich bestehende Studien häufig auf isolierte Aspekte des Materialflusses konzentrieren, wie z. B. die Lagerhaltung oder die interne Logistik, bietet dieses Papier eine integrierte Perspektive auf den gesamten Logistikprozess – von der Bestandsverwaltung bis zum externen Transport – und berücksichtigt gleichzeitig die ökologischen und wirtschaftlichen Auswirkungen der vorgeschlagenen Lösungen. Ein weiterer wesentlicher Beitrag ist die Fähigkeit der Methodik, nicht nur die Materialflussoptimierung unter bestehenden Bedingungen, sondern auch ihre breiteren Auswirkungen auf die Logistikkette zu bewerten, einschließlich Nachhaltigkeits- und Kosteneffizienzaspekten. Die vorgeschlagene Methodik quantifiziert die direkten finanziellen Auswirkungen von Veränderungen in der Logistik und bietet gleichzeitig einen Rahmen für die Analyse der ökologischen Vorteile, die sich aus reduzierten Transportwegen und Emissionen ergeben. Diese Studie unterscheidet sich von früheren Forschungen dadurch, dass sie sich nicht nur auf die theoretische Modellierung der Materialflussoptimierung konzentriert, sondern ein praktisches Werkzeug bietet, das über verschiedene Industriesektoren hinweg angepasst werden kann und betriebliche, wirtschaftliche und ökologische Faktoren berücksichtigt. Durch die Kombination eines pragmatischen Ansatzes mit analytischer Präzision bietet diese Studie einen

originellen Beitrag auf dem Gebiet der Materialflussoptimierung und gibt praktische Empfehlungen für Unternehmen, die vor ähnlichen Herausforderungen in Logistik und Transport stehen.

## 2. Literaturrecherche

Die Optimierung des Materialflusses ist ein grundlegender Aspekt der Logistik und des Lieferkettenmanagements, der sich auf die Verbesserung der Effizienz, die Kostensenkung und die Verbesserung der Ressourcenauslastung in Produktions- und Vertriebssystemen konzentriert. Während die Begriffe Supply-Chain-Optimierung, Lagereffizienz und Anlagenlayout-Optimierung in der Literatur häufig genannt werden, ist es wichtig, ihren Zusammenhang mit der Materialflussoptimierung zu klären. Die Supply-Chain-Optimierung umfasst einen breiteren strategischen Ansatz, der Beschaffungs-, Produktions- und Vertriebsprozesse integriert, um einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten, während die Materialflussoptimierung speziell die Bewegung und Transformation von Materialien innerhalb eines definierten Systems, wie z. B. einer Fabrik oder eines Logistikzentrums, abdeckt. Die Optimierung der Lagereffizienz und des Anlagenlayouts stellen Unterkategorien der Materialflussoptimierung dar, da sie die internen Materialbewegungen, Lagerstrategien und Handhabungsvorgänge beeinflussen. Dieser Review konzentriert sich auf Methoden und technologische Fortschritte, die direkt zur Optimierung des Materialflusses beitragen und gleichzeitig die Zusammenhänge mit breiteren Logistik- und Supply-Chain-Management-Konzepten anerkennen. Die Autoren von [24] bieten einen umfassenden Überblick über das Supply Chain Management und diskutieren Optimierungstechniken und Materialflussmanagementmodelle. Eine andere Studie [25] unterstreicht die Bedeutung einer effektiven Planung und Koordination in Logistikstrategien, um die Materialflüsse zu verbessern. Die Referenz [26] unterstreicht die Rolle moderner Modellierungswerkzeuge wie Simulationen und linearer Programmierung bei der Gestaltung effizienter Logistiksysteme.

Lean-Manufacturing-Prinzipien bieten effektive Werkzeuge zur Optimierung des Materialflusses. Die Autoren von [27] untersuchen 5S (eine Methodik für die Arbeitsplatzorganisation), SMED (Singleminute Exchange of Chip) und Continuous Flow und zeigen ihren Beitrag zur wirtschaftlichen Nachhaltigkeit und zur Reduzierung der Rüstzeiten in Produktionssystemen. Der [Online-Blog Reference \[28\]](#) skizziert fünf Schritte zur Optimierung des Materialflusses und gibt praktische Tipps und Beispiele aus der Automobilindustrie. Die Autoren von [29] veranschaulichen den Einsatz von Lean-Tools im Gartenbausektor, um Zykluszeiten zu reduzieren, Verschwendung zu vermeiden und zu optimieren Arbeitsplatz-Layouts.

Das Anlagenlayout und die Lagerverwaltung spielen eine wichtige Rolle bei der Optimierung des Materialflusses. Die Autoren von [30] stellen Verbesserungen der Lagerlayouts bei Magneti Marelli vor, die die Effizienz durch optimierte Abstände zwischen den Zonen steigern. In [31] stellt der Autor Konzepte für integrierte Handhabungssysteme vor, um Ineffizienz zu beheben. Die Autoren von [32] evaluieren neue Layoutkonfigurationen in einer digitalen Fabrik mittels 3D-Modellierung, während die Autoren von [33] einen genetischen Ansatz zur Optimierung von Materialflusswegen in einem Kreislauf entwickeln.

Mathematische Modellierung und algorithmische Ansätze wurden in großem Umfang auf Materialflussprobleme angewendet. In dem Papier [34] schlagen die Autoren ein gemischt-ganzzahliges Programmiermodell zur Optimierung von Materialflüssen und -routen vor und bieten Managementempfehlungen auf der Grundlage einer Sensitivitätsanalyse. In [35] wendet er den Algorithmus für künstliche Bienenvölker an, um die Fahrwege der Bediener in einem Produktionsunternehmen zu minimieren, und zieht Parallelen zum Vehicle Routing Problem. Die Autoren von [36] stellten ein Entscheidungsunterstützungstool zur Analyse von Nebenprodukt-Synergienetzwerken mit Hilfe mathematischer Programmierung vor und zeigten damit signifikante Kosten- und Umweltvorteile.

Die Fortschritte bei Industrie 4.0-Technologien haben die Optimierung des Materialflusses verändert. In der Referenz [37] wird das Konzept der digitalen Zwillinge vorgestellt, die Echtzeitsimulationen durch IoT (Internet of Things), Big Data und Cloud-Technologien ermöglichen. Die Autoren von [38] integrieren Materialflusssimulationen mit fahrerlosen Transportsystemen

(FTS) und digitalen Zwillingen von Fertigungszellen. Die Autoren von [39] schlagen die Implementierung von Kanban-Logik im Materialflussmanagement vor, unterstützt durch Simulationsmodellierung. Die Studie in [40] analysiert den Einsatz von Sensornetzwerken in der Logistik und zeigt, wie das Internet der Dinge (IoT) zur Echtzeitüberwachung von Materialflüssen beiträgt, was zu einer Senkung der Betriebskosten führt. Die Autoren von [41] stellen die Anwendung von Blockchain in Kombination mit IoT für eine transparente und effiziente Echtzeitüberwachung von Logistikabläufen vor. Die Studie in [42] konzentriert sich auf die Anwendung von maschinellem Lernen zur Optimierung der logistischen Routenplanung und zur Vorhersage von Transporthindernissen in Lieferketten.

Die Studie in [43] untersucht den Einsatz von Simulationen digitaler Zwillinge, um verschiedene Supply-Chain-Szenarien zu testen, bevor sie in der realen Welt implementiert werden. Die Autoren der Studie geben in [44] einen Überblick über die Implementierung digitaler Zwillinge in verschiedenen Fertigungs- und Logistiksektoren. Die Autoren von [45] analysieren, wie digitale Technologien der Industrie 4.0 die Widerstandsfähigkeit der Lieferkette als Reaktion auf Marktstörungen oder globale Krisen verbessern.

Die Materialflusskostenrechnung (MFCA) bietet einen Rahmen für die Bewertung von Materialverlusten und die Verbesserung der Ressourceneffizienz. Die Autoren der Studie in [46] stellten die MFCA-Methode vor, die Ineffizienzen in monetärer Hinsicht bewertet, während die Autoren der Studie in [47] MFCA auf ein Unternehmen zur Herstellung von Keramikfliesen anwendeten und ihre Auswirkungen auf die Prozessoptimierung und die Datennutzung für eine nachhaltige Produktion hervorhoben. Zahlreiche Fallstudien zeigen praktische Anwendungen der Materialflussoptimierung. In [48] analysieren die Autoren den Materialfluss in einem Automobilunternehmen und schlagen interne Transportprogramme und die Neuorganisation von Arbeitsplätzen vor. Die Autoren von [49] entwickeln einen evolutionären Algorithmus, um Lieferketten zu synchronisieren und so optimale Lösungen für verschiedene logistische Szenarien zu erzielen.

Diese Studien unterstreichen die transformative Wirkung moderner digitaler Technologien auf die Optimierung des Materialflusses, nicht nur in Bezug auf Effizienz und Kostensenkung, sondern auch in Bezug auf die Nachhaltigkeit. Ihre Anwendung in der Logistik und im Supply Chain Management ermöglicht eine bessere Planung, genauere Vorhersagen und eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegenüber unvorhergesehenen Marktschwankungen.

### 3. Methodik

Die Optimierung des Materialflusses ist ein Schlüsselement des Logistik- und Produktionsmanagements, das sich auf die Verbesserung der Prozesseffizienz, die Kostensenkung und die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit konzentriert. Die Methodik zur Optimierung des Materialflusses in Unternehmen ist auf eine systematische Analyse, Bewertung und Optimierung ausgelegt, wobei visuelle Werkzeuge wie die Schachbretttabelle, quantitative Kostenanalysen und wirtschaftliche Indikatoren wie der Return on Investment (ROI) verwendet werden.

Die Methodik der Materialflussoptimierung besteht aus mehreren miteinander verbundenen Schritten, die einen systematischen Ansatz zur Verbesserung der Logistikeffizienz gewährleisten. Die fett hervorgehobenen Hauptschritte stellen den Kernprozess der Optimierung dar, während die unterstützenden Schritte, die in normaler Schrift dargestellt sind, zusätzliche Analyse- und Entscheidungsunterstützung bieten.

Der Prozess beginnt mit der Datenerfassung und -analyse, bei der die Materialflusskosten berechnet werden, um Ineffizienzen im System zu identifizieren. Basierend auf dieser Bewertung werden Defizite identifiziert, die die Grundlage für die Entwicklung von Optimierungsmaßnahmen bilden. Parallel dazu werden mögliche Optimierungsmaßnahmen (Varianten) vorgeschlagen, bewertet und anhand der Machbarkeit und des erwarteten Nutzens ausgewählt.

Ist eine geeignete Variante gewählt, erfolgt die Implementierung (Realisierung) des gewählten Optimierungsansatzes. Die Ergebnisse werden dann analysiert, um festzustellen, ob die angewendeten Maßnahmen mit den Erwartungen übereinstimmen. Entsprechen die Ergebnisse

den vordefinierten Zielen, schließt der Prozess mit der Layout-Realisierung ab, die die langfristige Anwendung der optimierten Materialflussstrategie sicherstellt.

In Fällen, in denen die Ergebnisse nicht den Erwartungen entsprechen, beinhaltet die Methodik eine Rückkopplungsschleife, die Anpassungen der vorgeschlagenen Maßnahmen oder Verfeinerungen im Datenanalyseprozess ermöglicht. Dieser iterative Ansatz gewährleistet eine kontinuierliche Verbesserung und Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Betriebsbedingungen. Die aktualisierte Methodik, angereichert mit zusätzlichen unterstützenden Schritten, bietet einen strukturierteren und flexibleren Rahmen für die Optimierung von Materialflüssen bei gleichzeitiger Beibehaltung der Kosteneffizienz und der betrieblichen Effektivität.

Durch die Anwendung dieser Methodik erhalten Unternehmen einen umfassenden Überblick über ihre Materialflüsse, identifizieren kritische Ineffizienzen und implementieren Maßnahmen, die Kosten senken und die Effizienz steigern. Die ROI-Berechnung gibt einen klaren Überblick über den wirtschaftlichen Nutzen von Optimierungsbemühungen. Der vorgeschlagene Ansatz ist sowohl replizierbar als auch flexibel und ermöglicht seine Anwendung in verschiedenen Industriesektoren. Die Ergebnisse dieser Methodik können als Grundlage für weitere Forschungen und praktische Umsetzungen dienen. Abbildung 1 veranschaulicht die Methodik zur Optimierung des Materialflusses.

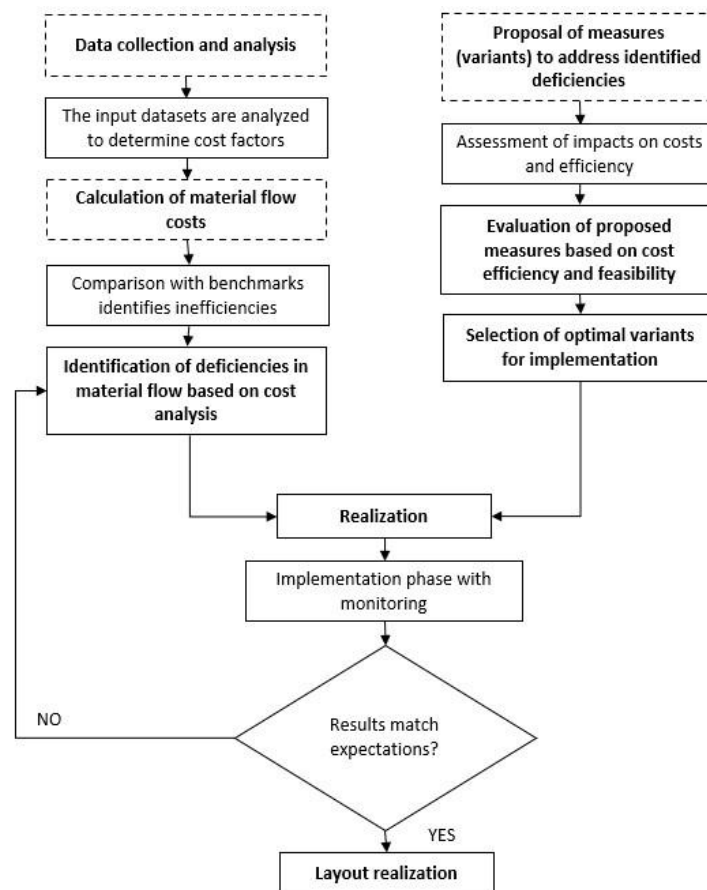


Abbildung 1. Methodik der Materialflussoptimierung.

Die Methodik besteht aus den folgenden Schritten:

#### Schritt 1: Datenerfassung und -analyse

Identifizierung von Arbeitsplätzen und Abläufen – Jeder Arbeitsplatz innerhalb des Unternehmens wird als Knotenpunkt im Logistiksystem definiert [50]. Die Datenerfassung umfasst Folgendes:

- Abstände zwischen den Arbeitsplätzen ( $d_{ij}$ );
- Häufigkeit der Überweisungen ( $f_{ij}$ );  $D_{dd}$
- Überweisungskosten ( $c_{transfer}$ ).

### Visualisierung von Beziehungen: Die Schachbrettmethodenmethode

Die Schachbretttafel ist ein weit verbreitetes Werkzeug in der Logistik zur Analyse von Beziehungen zwischen verschiedenen Entitäten. Es stellt die Bewegung und Menge der Materialien, die innerhalb eines bestimmten Zeitraums zwischen verschiedenen Arbeitsplätzen, Einrichtungen und sogar externen Einheiten übertragen werden, genau dar. Die Gestaltung eines Schachbretttafels ist flexibel und richtet sich allein nach seinem Verwendungszweck.

Ein grundlegendes Prinzip dieser Methode besteht darin, die Namen der einzelnen Entitäten in der ersten Spalte und in der ersten Zeile der Tabelle aufzulisten. Dadurch wird sichergestellt, dass die Schnittmenge identischer Entitätsnamen entlang der Diagonale der Tabelle angezeigt wird. Die Zeilen und Spalten stellen unterschiedliche Arbeitsplätze, während die Tabellenelemente die Intensität der Beziehungen zwischen ihnen ausdrücken, wie z.B. Materialflussmengen, Transferfrequenzen oder Logistikkosten [51].

Die Schachbretttafel bietet umfassende Einblicke in die Interaktionen zwischen Entitäten. Während einfache Tabellen in der Regel nur zwei Parameter abdecken – den Materialfluss pro Zeiteinheit –, ist es möglich, sie um zusätzliche Daten wie Transportfrequenz, Ladezeiten und Verpackungsgrößen zu erweitern. Dies ermöglicht eine genauere Analyse der Materialflüsse. Der entscheidende Vorteil dieser Methode liegt in der Möglichkeit, die Zusammenhänge innerhalb der Logistikinfrastruktur eines Unternehmens detailliert und messbar zu beschreiben. Seine Flexibilität macht es sehr anpassungsfähig an verschiedene Bedürfnisse und gewährleistet eine universelle Anwendbarkeit. Durch die Implementierung der Schachbretttafel erhalten Analysten ein einfaches, aber effektives Werkzeug zur Datenerfassung, das später für komplexere Auswertungen verwendet werden kann. Letztlich ist das Ziel dieser Methode, die Beschreibung von Beziehungen zwischen Arbeitsplätzen zu standardisieren und dadurch die Materialflussanalyse und -optimierung zu verbessern [51].

Die Schachbretttafel wurde als visuelles und analytisches Werkzeug eingesetzt, um den Materialfluss im Vergleich zu den ausgewählten Optimierungsvarianten zu bewerten. Dieser Ansatz ermöglichte eine klare Darstellung der Materialbewegungen unter den bestehenden Bedingungen und nach Anwendung der Optimierung unter Berücksichtigung der folgenden Faktoren:

- Die Anzahl der Materialumschlagvorgänge vor der endgültigen Verarbeitung;
- Die Häufigkeit des Transports und die durchschnittliche Entfernung zwischen den Logistikpunkten;
- Die Zeit, die für einzelne Vorgänge während des gesamten Prozesses benötigt wird;
- Die Auswirkungen auf den gesamten Produktionsfluss und die Beseitigung ineffizienter Bewegungen.

Bei der Schachbretttafel-Methodik wird der Materialfluss in einzelne Elemente unterteilt, die dann anhand vordefinierter Effizienzparameter bewertet werden. Die Analyseergebnisse ermöglichten die Identifizierung kritischer Punkte in der Logistikkette und die Modellierung ihrer optimalen Lösungen innerhalb des neuen internen Transportsystems. Die Formeln des Kostenmodells wurden auf der Grundlage der tatsächlich erfassten Betriebskosten im Unternehmen unter Berücksichtigung der Schlüsselkomponenten entwickelt.

Die Kosten für den externen Transport,  $C_{ext}$ , werden nach Formel (1) wie folgt berechnet:

$$C_{ext} = P_{transp} \times N_{transp} + C_{handl} \quad [€] \quad (1)$$

wo

$P_{transp}$  – durchschnittliche Kosten pro Einheit des Materialtransports [EUR/Einheit];

$N_{transp}$  – Anzahl der Transportvorgänge in jedem Zeitraum [Vorgänge/Zeit];  $C_{handl}$  – Bearbeitungskosten im Zusammenhang mit externen Transporten [EUR].

Die Kosten für den internen Transport ( $C_{int}$ ) werden nach Formel (2) berechnet:

$$C_{int} = P_{fuel} \times S + P_{maint} + P_{staff} \text{ [€]} \quad (2)$$

wo

$P_{fuel}$  – durchschnittliche Kraftstoffkosten pro Entfernungseinheit [EUR/km];

$S$  – Gesamtstrecke der internen Transportfahrzeuge [km];

$P_{maintenance}$  – Instandhaltungs- und Reparaturkosten des internen Verkehrssystems [EUR];  $P_{staff}$  – Personalkosten für den Betrieb innerbetrieblicher Transportfahrzeuge [EUR].

### Schritt 2: Berechnung der Materialflusskosten

Die Kosten, die mit dem Materialfluss zwischen den Arbeitsplätzen verbunden sind, werden nach der Formel (3) berechnet. Diese Formel ermöglicht die genaue Berechnung der finanziellen Auswirkungen von Materialbewegungen innerhalb des Logistiknetzwerks des Unternehmens. Durch die Anwendung dieses Ansatzes können Unternehmen kostspielige Ineffizienzen identifizieren und die Ressourcenallokation bei Materialtransport und Transport optimieren.

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (C_{flow_{dij}} * F_{idschi} * c_{transfer}) \quad (3)$$

wo

$C_{flow}$  – Gesamtkosten für den Materialfluss;  $D_{IJ}$  – Abstand zwischen den Arbeitsplätzen  $i$  und  $j$  (Meter);  $F_{IJ}$  – Häufigkeit der Versetzungen zwischen den Arbeitsplätzen  $I$  und  $J$ ;

$c_{transfer}$  – Kosten pro Einheit (EUR/m). **Schritt 3:**

### Identifizierung von Mängeln

Die Arbeitsplätze mit den höchsten Kostenwerten in der Schachbretttafel werden als kritische Knoten innerhalb des Materialflusses identifiziert. Zu den Mängeln gehören in der Regel die folgenden:

- Ineffizientes Layout – schlechte räumliche Anordnung der Arbeitsplätze, die zu übermäßigen Transportwegen führt;
- Übermäßige Transporte – unnötige oder häufige Materialbewegungen, die die Gesamtkosten erhöhen;
- Hohe Handhabungskosten – erhöhte Kosten aufgrund ineffizienter Nutzung von Handhabungsgeräten oder arbeitsintensiven Prozessen.

Durch die Identifizierung dieser kritischen Punkte können Unternehmen Optimierungsbemühungen priorisieren und gezielte Verbesserungen umsetzen, um Kosten zu senken, Ineffizienzen zu minimieren und den Materialfluss innerhalb der Produktionsumgebung zu rationalisieren.

### Schritt 4: Vorschlag von Maßnahmen

Basierend auf den festgestellten Mängeln werden gezielte Maßnahmen zur Optimierung des Materialflusses und zur Kostensenkung vorgeschlagen. Diese Vorschläge zielen darauf ab, die Logistikeffizienz zu verbessern, die Handhabungskosten zu senken und die Gesamtproduktivität innerhalb des Materialflusssystems des Unternehmens zu steigern. Diese Maßnahmen können Folgendes umfassen:

- Layout-Optimierung – Neugestaltung der räumlichen Anordnung von Arbeitsplätzen, um unnötige Materialbewegungen zu minimieren;
- Reduzierung des internen Transports – Implementierung direkter Versorgungswege oder Fördersysteme, um übermäßigen Umschlag zu begrenzen;
- Automatisierung von Handhabungsprozessen – Einführung von fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTS) oder Förderbändern zur Verbesserung der Effizienz;
- Optimierung der Transportflotte – Bewertung der Machbarkeit der Ersetzung externer Transportdienstleistungen durch eine eigene Flotte;

- Implementierung von FIFO- und FEFO-Methoden, um einen effizienten Lagerumschlag zu gewährleisten und die Veralterung von Material zu minimieren.

Die Kosten pro Kilometer werden nach der Formel (4) wie folgt berechnet:

$$C_{km} = \frac{\text{Gesamt €}}{D_{km}} \quad (4)$$

wo

*Gesamt* — jährliche Gesamtkosten (EUR);

*DKM*: Jährlich zurückgelegte Gesamtstrecke

(km).

Die Einsparungen während des Transports werden nach Formel (5) wie folgt berechnet:

$$S_{transp} = \text{Original} - \text{Kennung} \quad (5)$$

wo

*Coriginal* – laufende Transportkosten (EUR); *Neu* –

neue Transportkosten (EUR).

**Schritt 5: Evaluation der Maßnahmen**

Bei der Neuberechnung der Materialflusskosten nach Umsetzung der Änderungen wird Cflow neu berechnet, um die erzielten Einsparungen zu bewerten.

Die Berechnung des Return on Investment (ROI) misst die Rentabilität des gesamten investierten Kapitals und drückt die Gesamteffizienz des Unternehmens, die Ertragskraft oder die Produktionsstärke aus [52]. Ein ROI wird gemäß Formel (6) wie folgt berechnet:

$$ROI = \frac{\text{Ersparnisse} - \text{Investitionen}}{\text{Investments}} * 100\% \quad (6)$$

$$\text{Einsparungen} = C_{flowB} - C_{flowA} \quad (7)$$

wo

*CflowB* – Gesamtkosten des Materialflusses vor (EUR);

*CflowA* – Gesamtkosten des Materialflusses nach (EUR);

*Investitionen* – Gesamtkosten der Durchführungsmaßnahmen (EUR).

Die Amortisationszeit einer Investition ist die Zeit, die erforderlich ist, damit die anfänglichen Investitionskosten durch den aus der Investition generierten Mittelzufluss ausgeglichen werden. Er wird nach Formel (8) wie folgt berechnet:

$$PP = \frac{\text{Erstinvestitionen}}{\text{(8) Jährlicher Cashflow}}$$

wo

*PP* – Amortisationszeit (Jahre);

*Erstinvestitionen* – Erstinvestitionen (EUR);

*Jährlicher Cashflow* – Cashflow, der aus ihnen generiert wird (EUR).

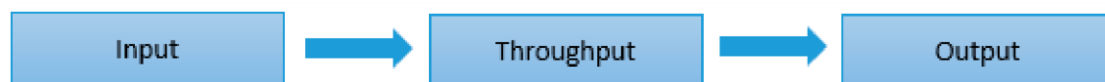
Die vorgeschlagene Methodik bietet einen praktischen Vorteil gegenüber komplexen Simulationsmodellen in Bezug auf die reale Anwendung. Die Verwendung einer Schachbretttabelle in Kombination mit einer quantitativen Kostenanalyse ermöglicht eine schnelle und effiziente Identifizierung von Einsparungen, ohne dass eine umfangreiche Datenerfassung und die Erstellung von Simulationsszenarien erforderlich ist, was zeit- und kostenintensiv sein kann. Die Simulationsmodellierung erfordert oft umfassende Daten über Prozessdynamik und Wechselwirkungen, die in der industriellen Praxis nicht immer verfügbar oder ausreichend genau sind. Daher bietet die vorgeschlagene Methodik eine praktische Lösung, die in einem

Geschäftsumfeld leicht anwendbar ist und eine schnelle Optimierung des Materialflusses ermöglicht, ohne dass komplexe Softwaretools erforderlich sind.

Die vorgeschlagene Lösung basiert auf einer Analyse des Ist-Zustandes und der Identifizierung von Optimierungsmöglichkeiten innerhalb bestehender logistischer Randbedingungen. Während fortschrittliche technologische Lösungen, wie z. B. automatisierte Lager, langfristige Vorteile bieten können, erfordert ihre Implementierung hohe Investitionskosten und eine längere Anpassungsphase. Im Gegensatz dazu bietet die vorgeschlagene Lösung, die sich auf die Optimierung der internen Transportprozesse und die Verbesserung der Materialflussorganisation konzentriert, schnelle und praktisch realisierbare Verbesserungen, ohne dass erhebliche Investitionen erforderlich sind. Obwohl alternative analytische und technologische Ansätze zusätzliche Optimierungsmöglichkeiten bieten können, stellt die vorgeschlagene Methodik eine ausgewogene Lösung zwischen Genauigkeit, Anwendbarkeit und finanzieller Effizienz dar. Sein Hauptvorteil liegt in der einfachen Implementierung, der direkten Nutzbarkeit für die Entscheidungsfindung im Unternehmen und der Fähigkeit, schnell auf identifizierte Ineffizienzen im Materialfluss zu reagieren.

#### 4. Hintergrund der Forschung

Der Materialfluss beginnt mit der Zuführung von Rohstoffen und Bauteilen in den Produktionsprozess und endet mit der Auslieferung des fertigen Produktes an den Endkunden. Der Materialfluss lässt sich in drei Hauptstufen unterteilen. Die erste Stufe ist der Input, der aus Rohstoffen und Komponenten besteht, die beschafft und anschließend in den Produktionsprozess integriert werden. Abbildung 2 veranschaulicht das Grundschema des Materialflusses.



**Abbildung 2.** Grundschema des Materialflusses.

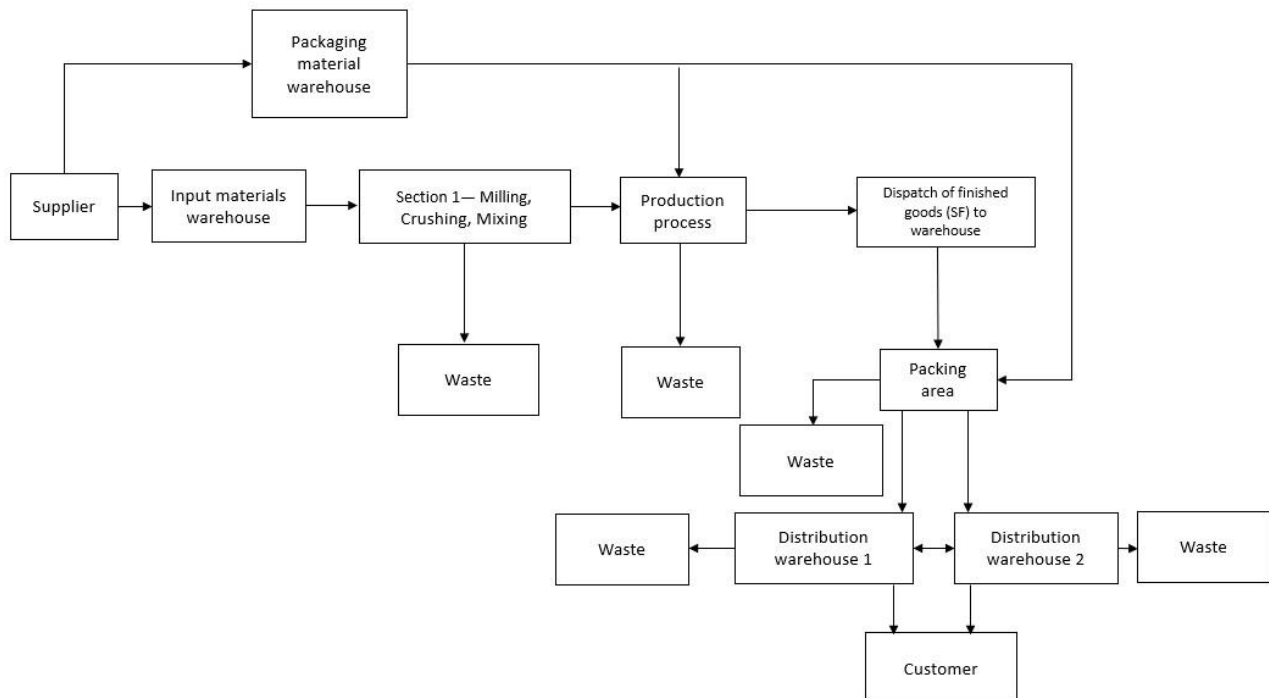
##### 4.1. Stoffflüsse im Unternehmen

###### Materialfluss

Auf der Grundlage der Bestellung liefert der Lieferant die benötigte Menge an Rohstoffen (RM) und Verpackungsmaterialien (PM). Diese Materialien werden anschließend entsprechend ihren spezifischen Anforderungen gelagert. Das RM wird in Kühl- und Tiefkühlvorproduktionslagern gelagert, während Schüttgüter in Silos gelagert werden. Das PM wird wie folgt in zwei getrennten Lagern gelagert:

- Das Primärverpackungslager, das die direkte Verpackung von Beuteln (Beuteln) enthält;
- Das Sekundärverpackungslager, in dem Materialien für die Verpackungsanlage gelagert werden, einschließlich Kartons, Trennwände und Schutzdecken.

Abbildung 3 veranschaulicht den tatsächlichen Materialfluss innerhalb des Produktionsunternehmens in Veselí nad Lužnicí.



**Abbildung 3.** Materialfluss im Unternehmen.

Auf der Grundlage des Produktionsplans und der Rezepte werden die Rohstoffe (RM) in die Sektion 1 abgegeben, wo sie gemahlen und mit verschiedenen Komponenten (Zusatzstoffe, Vitamine, Mehl, Gemüse, Nudeln usw.) vermischt werden, um die Mischung zu bilden. Anschließend wird das Gemisch durch einen Dampftunnel transportiert, wo es vorgekocht wird, bevor es zu den Produktionslinien transportiert wird, wo es in Beutel abgefüllt wird, was zu Halbfabrikaten (SF) führt. Die SF werden in Gemüseboxen mit 160 Stück pro Kiste platziert und in der Logistik zu 28 Kisten pro Palette palettiert. Anschließend werden sie in ein 2 km entferntes Lager transportiert, wo sie drei Tage lang gelagert werden. Nach Ablauf dieser Frist werden die SF für den Rücktransport auf das Werksgelände verladen, wo sie einen weiteren Tag gelagert werden, bevor sie am vierten Tag im Verpackungszentrum nach Kundenwunsch verpackt werden. Diese vier Tage stellen die Reifezeit dar, in der sich mögliche Produktionsprobleme zeigen. Defekte Beutel beginnen ab dem zweiten Tag nach dem Kochen einen Geruch abzugeben oder sich aufzublähen. Dieses Verfahren ermöglicht die Sortierung von fehlerhaftem SF aus den ordnungsgemäß produzierten Chargen.

Das Verpackungszentrum verfügt über die folgenden fünf Verpackungslinien: zwei für das 12er-Pack-Format, eine für das 24/48-Pack-Format und zwei für das Flow-Pack-Format (6/4× Beutel in einem Beutel). Basierend auf Kundenwunsch werden die Beutel in Kartons verpackt und palettiert. Nach dem Einwickeln in Stretchfolie wird die fertige Palette mit einem Palettenetikett versehen und im Fertigwarensystem erfasst, wodurch Fertigwaren (FG) entstehen. Das Lager FG ist mit Schwerkraftregalen mit einer maximalen Kapazität von 420 Palettenplätzen ausgestattet, die eine Produktionszeit von ca. 38 Stunden abdecken. In diesem Flow-Through-Lager FG werden die Waren nach dem Distributionsendlager sortiert, danach werden sie auf LKWs verladen und in das Distributionslager 1 in Tábor oder in das Distributionslager 2 in České Budějovice transportiert. Durchschnittlich werden täglich neun Lkw-Ladungen FG abgefertigt. Die Distributionslager befinden sich an zwei Standorten. Das erste Lager in Tábor ist ein internes Lager, das Einzelhandelskunden und Marken bedient, die von der Produktionsfirma verwaltet werden. Hier werden Waren konsolidiert und nach Kundenauftrag versendet. Das Lager in Tábor verfügt über eine Kapazität von 15.000 Palettenplätzen und verfügt über ein Co-Packing-Zentrum für die gesamte Produktionsgruppe, in dem die Produkte nach Kundenspezifikation individuell gemischt werden. Das zweite Lager in České Budějovice ist ein externes Lager, das von einem externen Logistikdienstleister betrieben wird. In diesem Lager werden FG verarbeitet, die für Schwestergesellschaften in Polen, der Slowakei, Ungarn und den Niederlanden bestimmt sind und

als Intercompany-FG kategorisiert sind. Gemäß den Unternehmensvereinbarungen müssen diese Waren innerhalb von 14 Tagen nach dem Produktionsdatum entweder an die Lager der Schwestergesellschaften oder direkt an die Kunden versandt werden. Beide Distributionslager können bei Bedarf zusammenarbeiten und Waren untereinander umlagern. Wie jede Produktionsstätte fallen auch hier fehlerhafte Produkte, Abfälle und Reststoffe an. Da diese Produkte tierischen Ursprungs sind, werden alle Abfälle an Tierkörperverwertungsunternehmen oder Verbrennungsanlagen geschickt. Dieser Entsorgungsprozess ist finanziell anspruchsvoll: Die Entsorgungsunternehmen berechnen 239,30 Euro pro Tonne für die Entsorgungsleistungen.

#### Informationsfluss

Ohne einen entsprechenden Informationsfluss kann der Materialfluss im Unternehmen nicht funktionieren [53]. Das Unternehmen nutzt Microsoft Navision als Enterprise-Resource-Planning-System (ERP), in dem der gesamte Materialfluss von der Rohstoffannahme bis zum Versand der Fertigwaren (FG) erfasst und verfolgt wird. Dies gewährleistet die Rückverfolgbarkeit aller Bewegungen, was eine Anforderung der Auditstandards für ISO (International Organization for Standardization), IFS-Zertifizierungen (International Featured Standards) und Private-Label-Kunden ist, die ihre Produktionsprozesse streng prüfen. Das Navision-System besteht aus Schlüsselmodulen, die den Informationsfluss sowohl innerhalb des Unternehmens als auch extern erleichtern. Zu diesen Modulen gehören Finanzmanagement, Vertrieb und Marketing, Einkauf, Lagerhaltung, Produktion, Ressourcenplanung, Personalwesen, Transportmanagement und Qualitätsmanagement.

#### Firmenlayout

Abbildung 4 zeigt die aktuelle räumliche Anordnung (Layout) des Unternehmens in Veselí nad Lužnicí. Diese Kennzahl repräsentiert den Materialfluss innerhalb der Produktionsstätte, der wichtige Bereiche wie Annahme, Lagerung, Produktion und Versand abdeckt. Jeder nummerierte und beschriftete Abschnitt entspricht bestimmten Prozessen oder Standorten innerhalb der Anlage und sorgt so für einen klaren Überblick über den Betriebsablauf.

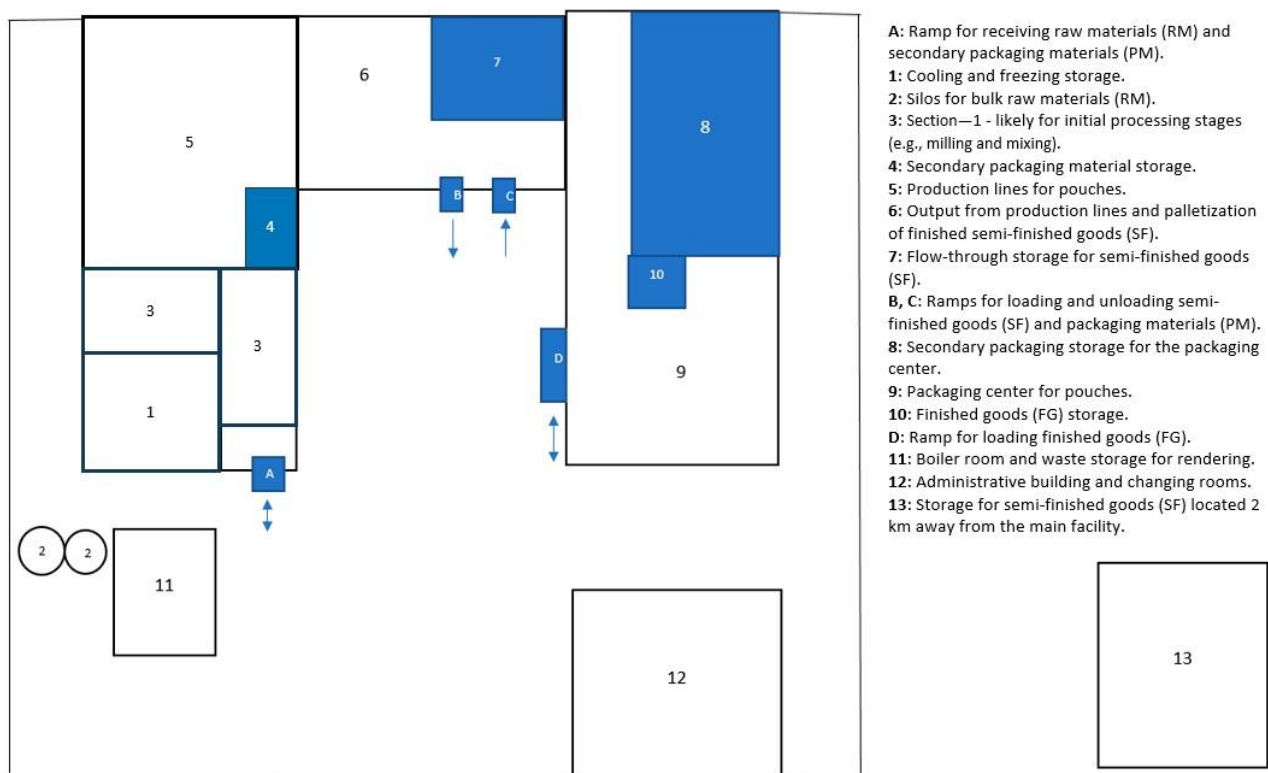


Abbildung 4. Derzeitiges Firmenlayout.

#### Lagerung und Umschlag

Der Lagerprozess umfasst Aktivitäten wie Wareneingang (RM, PM, SF und FG), Einlagerung, Handling, Kommissionierung, Versand, Wartung und Reinigung. In der gesamten PPF-Anlage

werden die folgenden zwei Methoden der Bestandsverwaltung strikt befolgt: FIFO und FEFO. FIFO stellt sicher, dass das zuerst erhaltene Material auch das erste ist, das versandt wird, während FEFO das früheste Verfallsdatum priorisiert. Da es sich um ein Lebensmittelproduktionsunternehmen handelt, hat die FEFO-Methode immer Vorrang vor der FIFO-Methode. Diese Methoden sind leicht zu implementieren, nachvollziehbar und werden vom Unternehmenssystem, einschließlich des Warehouse Management Systems (WMS), vollständig unterstützt. Das WMS-System leitet die Lagerarbeiter an, indem es den korrekten Materialstandort und die Ablaufreihenfolge für die Kommissionierung anzeigt und so die Einhaltung der Bestandskontrollstandards sicherstellt.

Im Unternehmen gibt es mehrere separate Lagerbereiche (Abbildung 4), die sich nicht alle direkt auf dem Werksgelände befinden. Alle Lager werden vom WMS verwaltet, wodurch die Genauigkeit der Daten und die Bestandskontrolle gewährleistet sind. Zur Vereinfachung der Bedienung sind die Lager in Abschnitte unterteilt. Sind Lagerbereiche mit Regalen ausgestattet, verfügt jeder Palettenplatz über ein eigenes Kennzeichnungsetikett, das als Behälter (Fach) bezeichnet wird. Das WMS-System steuert die Vorbereitung der Materialfreigabe, indem es die Lagerbediener zum richtigen Behälter führt und sicherstellt, dass die Materialien nach den FEFO- und FIFO-Prinzipien kommissioniert werden. Der Materialumschlag erfolgt mit Elektrostaplern (sowohl Hoch- als auch Niederhubstaplern), Förderbändern, die Produktionslinien verbinden, LKWs und in einigen Bereichen mit manueller Handhabung.

#### 4.2. Berechnung der Materialflusskosten

Um den Materialfluss mit dem primären Ziel der Effizienzsteigerung zu optimieren, ist es unerlässlich, ausreichend Informationen und Daten zu sammeln, die Prozesse abzubilden und auf Basis dieser Erkenntnisse eine Analyse durchzuführen. Für die Berechnung des Materialflusses ist es entscheidend, das Volumen des umgeschlagenen Materials in messbaren Einheiten zu bestimmen, in diesem Fall die Tonnen pro Jahr, die Handhabungsstrecke und vor allem die Handhabungskosten.

##### **Kosten für die Handhabung**

Die gesamten Handhabungskosten umfassen in diesem Fall die Betriebskosten für Gabelstapler und Hubwagen, die Transportkosten zwischen den Lagern von FG und SF sowie die Personalkosten. Darüber hinaus decken diese Kosten auch die Mietkosten des Fruta-Lagers, in dem der Reifeprozess des Materials stattfindet.

##### **Kosten für Handhabungsgeräte**

Die Kosten, die mit Hubwagen und Gabelstaplern verbunden sind, sind leicht zu erkennen, da das Unternehmen diese Ressourcen durch langfristige Leasingverträge erwirbt. Für seinen Betrieb nutzt das Unternehmen Umschlaggeräte von Linde, konkret acht E20-Gabelstapler und drei T16-Niederhubwagen. Tabelle 1 zeigt die Kosten für Handhabungsgeräte im Unternehmen.

**Tabelle 1.** Kosten für Handhabungsgeräte.

| Artikel      | Einheiten (EUR) | Kosten pro Einheit (EUR) | Gesamtbetrag pro Monat (EUR) | Gesamtbetrag pro Jahr |
|--------------|-----------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Gabelstapler | 8               | 739.89                   | 5919.16                      | 70,029.87             |
| Hubwagen     | 3               | 267.96                   | 803.88                       | 9646.55               |
| Gesamt       | 11              |                          | 6723.04                      | 80,676.43             |

Die monatlichen Kosten für einen Gabelstapler betragen 739,89 EUR, während die Kosten für einen Hubwagen 267,96 EUR betragen. Die jährlichen Gesamtkosten belaufen sich auf 80.676,43 Euro. Die Leasing der Umschlaggeräte erfolgt im Rahmen eines Full-Service-Vertrags.

#### Personalkosten

Die gesamten Lohnkosten decken alle Ausgaben im Zusammenhang mit den Mitarbeitern ab, einschließlich Beiträgen, Schulungen, Schutzausrüstung und medizinischen Untersuchungen. Die Fabrik arbeitet kontinuierlich 24/7, und alle Vorgänge, die am Materialfluss beteiligt sind, folgen diesem Regime. Das Fruta Warehouse arbeitet von Montag bis Freitag im Zweischichtbetrieb (6:00–22:00 Uhr mit Vor- und Nachmittagsschichten). Samstags verkehrt er von 6:00 bis 18:00 Uhr, sonntags richtet sich der Fahrplan an die Einschränkungen des Lkw-Verkehrs. FG Warehouse arbeitet im Einschichtbetrieb von 6:00 bis 18:00 Uhr. Tabelle 2 zeigt die Personalkosten im Unternehmen.

**Tabelle 2.** Personalkosten.

| Personalkosten für die Abwicklung  | Menge | Kosten für den Abschnitt pro Monat (EUR) | Kosten für den Abschnitt pro Jahr (EUR) | Schichtarbeit                                  |
|------------------------------------|-------|--|---|--|
| Abschnitt 1                        | 4     | 6378.67                                  | 76,544.09                               | 24/7 nonstop                                   |
| Ende der Fahnenstange              | 4     | 6378.67                                  | 76,544.09                               | 24/7 nonstop                                   |
| Entladung von Halbfabrikaten (SF)  | 4     | 6378.67                                  | 76,544.09                               | 24/7 nonstop                                   |
| Fertigwaren (FG) von der Linie     | 4     | 6378.67                                  | 76,544.09                               | 24/7 nonstop                                   |
| Fertigwaren (FG) für den Transport | 2     | 3189.34                                  | 38,272.05                               | Tagschicht 12                                  |
| Fruta                              | 4     | 6378.67                                  | 76,544.09                               | Vormittags-<br>/Nachmittagsschicht<br>6–22 Uhr |
| Gesamt                             | 22    | 35,082.71                                | 420,992.50                              | -  |

Der gesamte Personalaufwand beläuft sich auf EUR 420.992,50 pro Jahr.

### Kosten für SF- und FG-Überweisungen

Ein wesentlicher Teil der Ausgaben besteht aus den Kosten für die Übertragung von SF auf die Fruta

Lagerung und Transport von FG zu den Distributionslagern in České Budeřjovice. Die Kosten für einen einzelnen SF-Transfer betragen 39,67 EUR, bei durchschnittlich 19 LKW-Bewegungen (OUT + IN) pro Tag. Daraus ergeben sich Tageskosten von 753,70 Euro, bei Kosten pro vollem Lkw-Zyklus von 79,34 Euro. Der Transportdienstleister betreibt zwei LKWs, die an Rampen ausgetauscht werden und zwischen dem Werksstandort und dem Fruta-Lager pendeln. Tabelle 3 zeigt die Kosten für den Transport von SF von der Fabrik nach Fruta.

**Tabelle 3.** Kosten für den SF-Transport von der Fabrik nach Fruta.

| Kosten für den Transport von SF | Anzahl der Verkehrsmittel | Gesamtkosten (EUR) |
|---------------------------------|---------------------------|--------------------|
| Transport IN–OUT Tag            | 19                        | 753.70             |
| Transport In–OUT Jahr           | 6593                      | 261,533.58         |

Die Kosten für einen einzigen FG-Transport (Tabelle 4) belaufen sich auf durchschnittlich 79,34 EUR. Es sind zwei Lkw im Einsatz, die sich von 6:00 bis 18:00 Uhr ununterbrochen zwischen dem FG-Lager und den Distributionszentren bewegen. In Ausnahmefällen können die Transportzeiten über diese Stunden hinaus verlängert werden.

**Tabelle 4.** Kosten für den FG-Transport.

| Kosten für den Transport von FG        | Anzahl der Transporte | Total Cost (EUR) |
|--|-----------------------|------------------|
| Transporte/Tag                         | 8                     | 634.69           |
| Transporte nach České Budeřjovice/Jahr | 694                   | 55,059.70        |
| Transporte nach Tábor/Jahr             | 2082                  | 165,179.10       |
| Gesamt pro Jahr                        | 2776                  | 220,238.80       |

Im Durchschnitt absolviert ein Lkw vier Transporte pro Tag, insgesamt 2776 Transporte pro Jahr zu beiden Lagern. Die jährlichen Gesamtkosten belaufen sich auf EUR 220.238,80.

### Kosten für die Anmietung des Lagers Fruta

Das Lager Fruta erstreckt sich über eine Fläche von 2000 m<sup>2</sup> und wird während der Reifezeit für die Lagerung von SF genutzt. Die monatlichen Mietkosten betragen 30.742,99 EUR (ohne MwSt.), woraus sich jährliche Kosten von 35.701,54 EUR (ohne MwSt.) ergeben. Das Lager ist von italienischen Eigentümern gepachtet.

### 4.3. Berechnung des Materialflusses

Für die Berechnung des Materialflusses ist es unerlässlich, Pläne zu haben, die den tatsächlichen oder geplanten Fluss angeben. Der Jahresdurchschnitt liegt bei ca. 132 Tonnen pro Tag. Tabelle 5 zeigt den Jahresplan für verpackte Tonnen FG.

**Tabelle 5.** Jahresplan für verpackte Tonnen FG.

| Monat                  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Verpackte Tonnen       | 3383 | 3200 | 3100 | 3350 | 3466 | 3790 |
| Produktionstage        | 30   | 27   | 30   | 28   | 30   | 29   |
| Durchschnitt pro Tag/t | 113  | 119  | 103  | 120  | 116  | 131  |
| Monat                  | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| Verpackte Tonnen       | 4330 | 4471 | 4215 | 4372 | 4247 | 3878 |
| Produktionstage        | 30   | 29   | 30   | 30   | 29   | 25   |
| Durchschnitt pro Tag/t | 144  | 154  | 141  | 146  | 146  | 155  |

Die jährlich produzierten Gesamttonnen belaufen sich auf 45.802 t, mit 347 produktiven Tagen und einem Tagesdurchschnitt von 132 t. Die Menge, die in den Produktionsprozess einfließt,

und das jährliche Gesamtvolumen in Tonnen sind in Tabelle 6 dargestellt. Tabelle 6 veranschaulicht auch den Ursprung und das Ziel der Materialumlagerungen. Insgesamt fließen jährlich 443.875 Tonnen Material durch die Anlage.

**Tabelle 6.** Materialflussvolumen.

| Von                                  | An                                | Tonnen/Jahr |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Eingang von Primärpackmitteln (PM)   | Lager für Primärpackmittel (PM)   | 504         |
| Eingang von Sekundärpackmitteln (PM) | Lager für Sekundärpackmittel (PM) | 4719        |
| Eingang von Rohstoffen (RM)          | Rohstofflager (RM)                | 47,634      |
| Rohstofflager (RM)                   | Abschnitt 1                       | 47,634      |
| Abschnitt 1                          | Produktionslinien                 | 47,634      |
| Lager für Primärpackmittel (PM)      | Produktionslinien                 | 476         |
| Produktionslinien                    | Ausgabe aus Zeilen                | 48,110      |
| Ausgabe aus Zeilen                   | Halbfabrikatslager (SF)           | 48,110      |
| Halbfabrikatslager (SF)              | Fruta                             | 48,110      |
| Fruta                                | Verpackung                        | 48,110      |
| Lager für Sekundärpackmittel (PM)    | Verpackung                        | 4461        |
| Verpackung                           | Fertigwarenlager (FG)             | 45,802      |
| Fertigwarenlager (FG)                | Ceské Budeřovice                  | 11,451      |
| Fertigwarenlager (FG)                | Tábor                             | 34,351      |
| Verpackung                           | Abfall                            | 6769        |
| Gesamt                               |                                   | 443,875     |

Die Beziehungen zwischen den einzelnen Arbeitsplätzen werden mit der Schachbretttabellenmethode ausgedrückt. Tabelle 7 veranschaulicht die Beziehungen zwischen verschiedenen Arbeitsplätzen, wobei die Richtung des Materialflusses und das jährliche Materialflussvolumen in Tonnen angegeben sind. Tabelle 7 zeigt die gleichen Ein- und Ausgabedaten wie in Tabelle 6. Zur Überprüfung werden die Werte, die in der Zeile und Spalte mit der Bezeichnung "Summe" in der Schachbretttabelle aufgeführt sind, addiert, und die Summe sollte übereinstimmen. Wie in Tabelle 7 dargestellt, beläuft sich der gesamte Materialstrom auf 443.875 Tonnen pro Jahr.

Die Schachbretttabelle kann um zusätzliche Daten wie Transporthäufigkeit, Bearbeitungskosten und Transportleistung erweitert werden. Um diese Indikatoren neben den verarbeiteten Daten zu berücksichtigen, müssen wir sie berechnen. Für weitere Berechnungen werden die Kosten pro Meter und pro Tonne ermittelt. Die Gesamtkosten ergeben sich aus der Summe aus den Tabellen 1–4, woraus sich ein Betrag von EUR 1.019.142,85 ergibt. Dieser Wert wird dann durch die Gesamtzahl der Tonnen dividiert, um die Handhabungskosten pro Tonne zu ermitteln. Der gleiche Ansatz wird für die Berechnung der Kosten pro Meter verwendet, wobei die Gesamtzahl der Tonnen durch die Gesamtzahl der jährlich zurückgelegten Kilometer ersetzt wird. Die Kosten pro Meter werden somit mit 0,01 EUR berechnet. Diese berechneten Kosten sind in Tabelle 8 dargestellt, die um die Handhabungskosten, die jährliche Häufigkeit der Bewegungen, die Entfernung zwischen den Arbeitsplätzen, die Transportleistung in Tonnen pro Meter und die insgesamt zurückgelegte Strecke pro Jahr erweitert wurde.

Bei der Berechnung der Transportleistung, die durch Multiplikation der Entfernung zwischen den Arbeitsplätzen und des Materialvolumens ermittelt wird, zeigt sich, dass Artikel, die auf den Transport von Material zwischen dem Werk, dem Reifelager und dem Distributionslager angewiesen sind, extrem hohe Werte aufweisen. Dies deutet auf ein unerwünschtes Phänomen hin, das zu einem deutlichen Anstieg der Materialflusskosten führt, so dass es unerlässlich ist, diesen Aspekt bei der Optimierung in den Fokus zu rücken.

Tabelle 7. Schachbrett-Tisch.

| Von–Bis                                   | Grundschule                             |   |                                |                     |                         |                                    |                   | Sekundäre        |                                       |   |                                   |                             |                          |                             | Abfall | SUMME  |         |
|---|---|---|--------------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------|------------------|---------------------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------|--------|---------|
|   | Erhalt von Verpackung Materialien (NA€) | Erhalt von Verpackung Materialien (NA€) | Beleg Primär Materialien (MI€) | Roh Ware-Haus (MI€) | Materialien Abschnitt 1 | Verpackung Ausgabe Ware-Haus (NA€) | Fertig ing Linien | Güter Von Linien | Halb- Waren aus Gütern Ware-Haus (SF) | Verpackung- Rohmaterial Fruta Ware-Haus (NA€) | Materialien Produktion Verpackung | Fertig Güter Ware-Haus (FG) | Fertig Ware-Haus (FG) ČB | Fertig Ware-Haus (FG) Tábor |        |        |         |
| Erhalt der Primärdate packstoffe (NA€)    |   |   |                                |                     |                         | 504                                |                   |                  |                                       |   |                                   |                             |                          |                             |        | 504    |         |
| Erhalt der SekundärwaFFE packstoffe (NA€) |   |   |                                |                     |                         |                                    |                   |                  |                                       |   | 4719                              |                             |                          |                             |        | 4719   |         |
| Erhalt des Werkstoffe (RM)                |   |   |                                | 47,634              |                         |                                    |                   |                  |                                       |   |                                   |                             |                          |                             |        | 47,634 |         |
| Rohmaterial Lager (RM)                    |   |   |                                |                     | 47,634                  |                                    |                   |                  |                                       |   |                                   |                             |                          |                             |        | 47,634 |         |
| Abschnitt 1                               |   |   |                                |                     |                         |                                    | 47,634            |                  |                                       |   |                                   |                             |                          |                             |        | 47,634 |         |
| Primärverpackung Materiallager (NA€)      |   |   |                                |                     |                         |                                    | 476               |                  |                                       |   |                                   |                             |                          |                             |        | 476    |         |
| Produktionslinien                         |   |   |                                |                     |                         |                                    |                   | 48,110           |                                       |   |                                   |                             |                          |                             |        | 48,110 |         |
| Ausgabe aus Zeilen                        |   |   |                                |                     |                         |                                    |                   |                  | 48,110                                |   |                                   |                             |                          |                             |        | 48,110 |         |
| Halbfabrikate Lager (SF)                  |   |   |                                |                     |                         |                                    |                   |                  |                                       | 48,110  |                                   |                             |                          |                             |        | 48,110 |         |
| Fruta                                     |   |   |                                |                     |                         |                                    |                   |                  |                                       |   | 48,110                            |                             |                          |                             |        | 48,110 |         |
| Sekundär packstoffe Lager (PM)            |   |   |                                |                     |                         |                                    |                   |                  |                                       |   |                                   | 4461                        |                          |                             |        | 4461   |         |
| Verpackung                                |   |   |                                |                     |                         |                                    |                   |                  |                                       |   |                                   |                             | 45,802                   |                             |        | 6769   |         |
| Fertige Waren Lager (FG)                  |   |   |                                |                     |                         |                                    |                   |                  |                                       |   |                                   |                             |                          | 11,451                      | 34,351 | 45,802 |         |
| Fertige Waren Lager (FG) ČB               |   |   |                                |                     |                         |                                    |                   |                  |                                       |   |                                   |                             |                          |                             |        | 0      |         |
| Fertige Waren Lager (FG) Tábor            |   |   |                                |                     |                         |                                    |                   |                  |                                       |   |                                   |                             |                          |                             |        | 0      |         |
| Abfall                                    |   |   |                                |                     |                         |                                    |                   |                  |                                       |   |                                   |                             |                          |                             |        | 0      |         |
| SUM (PM)                                  | 0                                       | 0                                       | 0                              | 47,634              | 47,634                  | 504                                | 48,110            | 48,110           | 48,110                                | 48,110  | 4719                              | 52,571                      | 45,802                   | 11,451                      | 34,351 | 6769   | 443,875 |

**Tabelle 8.** Gesamtübersicht der Materialflüsse.

| Von                                  | An                                | Tonnen/Jahr | Häufigkeit/<br>Jahr | Entfernung<br>(m) | Leistung t × m | m/Jahr      | Bearbeitungskosten<br>(EUR) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------|---------------------|-------------------|----------------|-------------|-----------------------------|
| Eingang von Primärpackmitteln (PM)   | Lager für Primärpackmittel (PM)   | 504         | 2016                | 40                | 20,160         | 80,640      | 863.70                      |
| Eingang von Sekundärpackmitteln (PM) | Lager für Sekundärpackmittel (PM) | 4719        | 7080                | 20                | 94,380         | 141,600     | 1516.60                     |
| Eingang von Rohstoffen (RM)          | Rohstofflager (RM)                | 47,634      | 127,024             | 10                | 476,340        | 1,270,240   | 13,604.86                   |
| Rohstofflager (RM)                   | Abschnitt 1                       | 47,634      | 127,024             | 20                | 952,680        | 2,540,480   | 27,209.73                   |
| Abschnitt 1                          | Produktionslinien                 | 47,634      | 63,512              | 20                | 952,680        | 1,270,240   | 13,604.86                   |
| Lager für Primärpackmittel (PM)      | Produktionslinien                 | 476         | 1904                | 20                | 9520           | 38,080      | 407.87                      |
| Produktionslinien                    | Ausgabe aus Zeilen                | 48,110      | 347                 | 100               | 4,811,000      | 34,700      | 371.65                      |
| Ausgabe aus Zeilen                   | Halbfabrikatslager (SF)           | 48,110      | 96,220              | 5                 | 240,550        | 481,100     | 5152.80                     |
| Halbfabrikatslager (SF)              | Fruta                             | 48,110      | 3123                | 2000              | 96,220,000     | 6,246,000   | 66,897.54                   |
| Fruta                                | Verpackung                        | 48,110      | 3470                | 2000              | 96,220,000     | 6,246,000   | 74,330.60                   |
| Lager für Sekundärpackmittel (PM)    | Verpackung                        | 4461        | 2230                | 50                | 223,050        | 111,500     | 1194.22                     |
| Verpackung                           | Fertigwarenlager (FG)             | 45,802      | 22,901              | 10                | 458,020        | 229,010     | 2452.81                     |
| Fertigwarenlager (FG)                | Ceské Budejovice                  | 11,451      | 694                 | 34,000            | 389,334,000    | 23,596,000  | 252,724.03                  |
| Fertigwarenlager (FG)                | Tábor                             | 34,351      | 2082                | 31,000            | 1,064,881,000  | 64,542,000  | 691,274.54                  |
| Verpackung                           | Abfall                            | 6769        | 347                 | 50                | 338,450        | 17,350      | 185.85                      |
| Gesamt                               |                                   | 443,875     | 459,974             | 69,345            | 30,780,511,875 | 107,538,940 | 1,151,791.58                |

#### 4.4. Aufbau der Stoffflüsse im Unternehmen

In Abbildung 5 sind die Materialflüsse innerhalb des Unternehmens dargestellt. Die blauen Pfeile stellen den Materialfluss aus dem Fruta-Lager dar, während die roten Pfeile den Rückfluss von Fruta zurück ins Werk und in den Verpackungsbereich anzeigen. Der schwarze Pfeil stellt den Fluss des Packmittels (PM) für den Verpackungsprozess dar. Der orangefarbene Pfeil zeigt den Fluss von Fertigwaren (FG) in das FG-Lager an, und der violette Pfeil stellt den Transport von FG zu den Distributionslagern dar.

#### 4.5. Festgestellte Mängel im Materialfluss

Basierend auf der Analyse des Ist-Zustands, einschließlich Neuberechnungen des Materialflussvolumens und der damit verbundenen Kosten, direkter Beobachtung, Interviews mit Mitarbeitern und persönlichen Erfahrungen mit Kenntnissen des jeweiligen Unternehmens, wurden mehrere Ineffizienzen in den Materialflussprozessen und deren Auswirkungen auf die damit verbundenen Kosten identifiziert. Zu den zentralen Themen im Materialfluss gehören unter anderem:

- Transport von SF zum Lager von Fruta zur Reifung;
- Rücktransport von SF von Fruta zurück ins Werk zum Verpacken; • Transport von FG vom Produktionslager zu den Distributionslagern.

Da sich das Unternehmen im Besitz von Finanzfonds befindet, wird großer Wert auf die Kapitalrendite gelegt. Entscheidet sich das Unternehmen, in eine Maßnahme oder Entwicklungsmaßnahme zu investieren, muss es innerhalb von zwei Jahren einen Return on Investment sicherstellen. In Ausnahmefällen räumt das Unternehmen eine Amortisationszeit der Investition von bis zu drei Jahren ein. Aus dieser Perspektive ist der Bau von Lagern direkt in der Fabrik eine unmögliche Aufgabe, obwohl das Unternehmen zu diesem Zweck bereits ein Grundstück in der Nähe des Produktionsunternehmens erworben hat.

Die ersten beiden Prozesse sind Teil des SF-Transports, wo ich erhebliches Potenzial zur Optimierung und Kostensenkung sehe. Die laufenden Kosten für diese Verfahren belaufen sich auf 262.585,63 EUR, und wenn die Produktion weiter ausgebaut wird, werden diese Kosten weiter steigen.

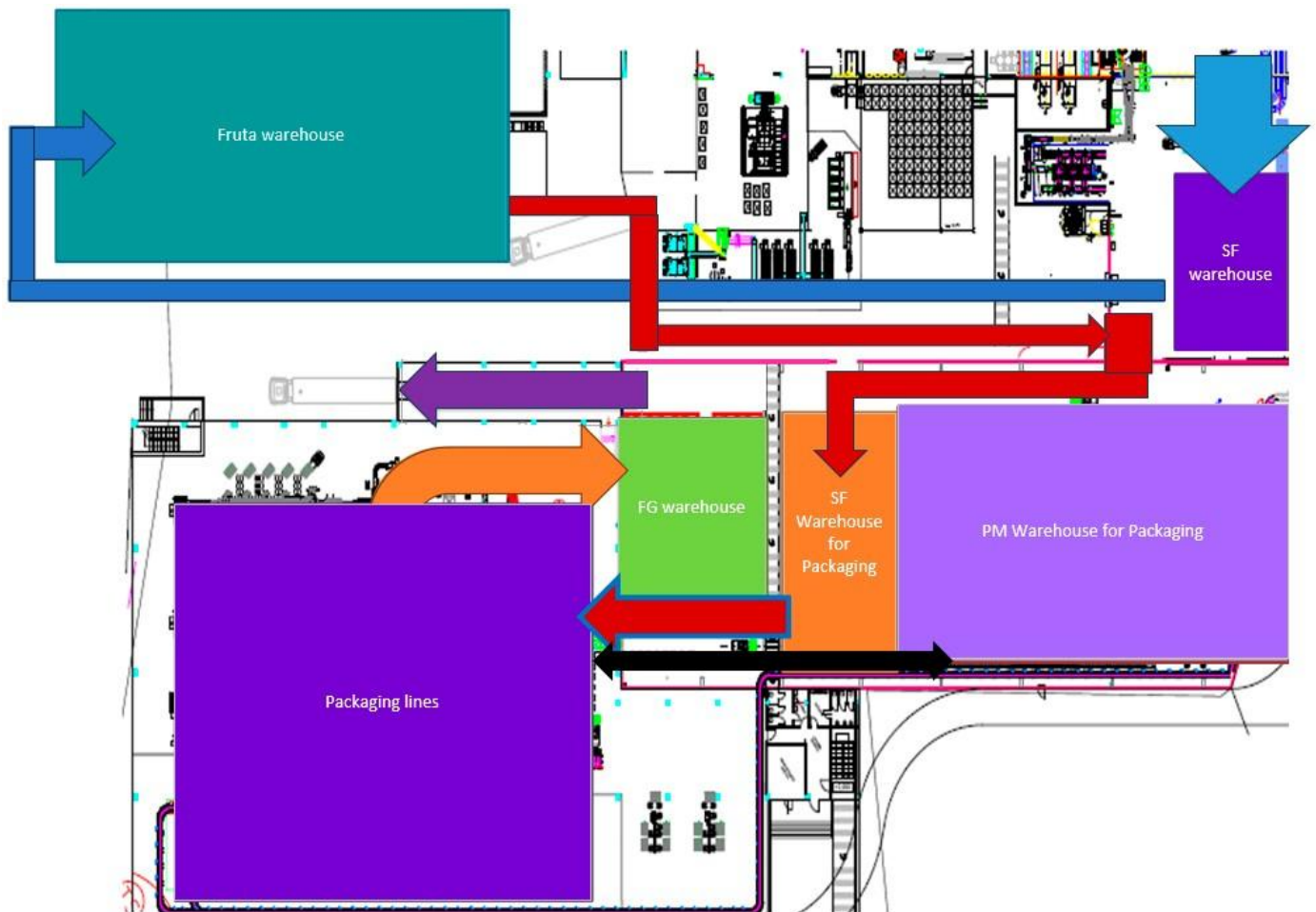


Abbildung 5. Materialfluss vor Optimierung.

## 5. Ergebnisse

In dieser Studie wurden zwei Optimierungsvarianten zur Verbesserung des Materialflusses ausgewählt: (1) Ablösung eines externen Spediteurs für den Halbfertigwaretransport durch interne Prozesse und (2) Ablösung eines externen Spediteurs für den Fertigwaretransport durch eine eigene Flotte. Die Kriterien für die Auswahl dieser Varianten wurden auf der Grundlage einer Analyse der aktuellen Kosten des Logistikbetriebs, der Verfügbarkeit interner Ressourcen und des Einsparpotenzials durch die Verlagerung der Logistikaktivitäten in das unternehmensinterne Umfeld festgelegt. Zu den Selektionskriterien für die Optimierungsvarianten gehörten:

- Kosteneffizienz, d. h. Identifizierung von Einsparpotenzialen durch den Wegfall externer Transportanbieter;
- Verfügbarkeit interner Kapazitäten, Bewertung der Fähigkeit des Unternehmens, den Transport mit eigenen Ressourcen zu bewältigen;
- Betriebliche Flexibilität, Bewertung des Potenzials für ein schnelleres und zuverlässigeres Materialflussmanagement, wenn es intern gehandhabt wird;
- Auswirkungen auf die Lieferkette, Bewertung der Auswirkungen auf die Produktionskontinuität und die Logistikprozesse;
- Langfristige Nachhaltigkeit unter Berücksichtigung des Return on Investment (ROI) und der Umweltvorteile.

### 5.1. Variante 1 — Ablösung des externen Operateurs für SF-Transporte durch innerbetriebliche Transporte

Eine Möglichkeit, die Materialflusskosten zu senken, besteht darin, die Transportkosten für Transfers zu senken. Da die Aushandlung niedrigerer Preise mit externen Betreibern nicht erfolgreich war, prüfen wir die Möglichkeit, zwei Transporteinheiten durch ein operatives Leasing zu erwerben und zwei Fahrer mit einem C + E-Führerschein einzustellen.

Um die Wirtschaftlichkeit dieser Änderung zu beurteilen, haben wir die aktuellen Transportkosten pro Kilometer berechnet. Derzeit belaufen sich die Transportkosten für SF-Transfers auf 19,91 EUR pro Kilometer.

Tabelle 9 zeigt die voraussichtlichen Kosten dieser Investition. Der Erwerb von zwei Transporteinheiten würde zu einem jährlichen Aufwand von 40.250,77 EUR führen, bei monatlichen Leasingkosten von 1672,77 EUR pro Einheit. Die Betriebskosten berechnen sich aus der geschätzten jährlichen Fahrleistung von 13.186 km und dem aktuellen Kraftstoffpreis von 1,28 EUR pro Liter, wie vom tschechischen Statistikamt berichtet. Darüber hinaus werden die Personalkosten für zwei Fahrer auf 51.234,67 EUR geschätzt.

**Tabelle 9.** Kosten für den innerbetrieblichen Transport.

| Leasing für 48 Monate        | Kosten (EUR) |
|------------------------------|--------------|
| 2x Straßengüterwagen         | 40,146.57    |
| Betriebskosten               | 4420.90      |
| Personalkosten für 2x Fahrer | 51,234.67    |
| Gesamt                       | 95,802.13    |

Die Kosten pro Kilometer werden nach der Formel (4) wie folgt berechnet:

$$\text{inkl. MwSt.} = \frac{95,802.13}{13,186} = 7.27 \text{ €}$$

Basierend auf den Kosten pro Kilometer können wir nun den Preis für einen einzelnen Transport nach Fruta bestimmen. Die Einsparungen pro Transport werden nach Formel (5) wie folgt berechnet:  $\text{Stransp} = 39,83 - 14,54 = 25,29 \text{ €}$

Die Ersparnis pro Transport beläuft sich auf 25,29 EUR, woraus sich eine tägliche Einsparung von EUR 480,52 für 19 Transporte. Auf einmal ergibt sich so ein Einsparpotenzial von insgesamt 166.741,88 Euro bei den Transportkosten. Tabelle 10 gibt einen Überblick über die Einsparungen beim SF-Verkehr. **Tabelle 10.** Übersicht über Einsparungen beim SF-Transport.

| SF Transportkosten                                      | Anzahl der Überweisungen | Gesamtkosten (EUR) |
|---|--------------------------|--------------------|
| IN-OUT-Überweisungen pro Tag (ursprünglicher Zustand)   | 19                       | 756.73             |
| IN-OUT-Überweisungen pro Jahr (ursprünglicher Zustand)  | 6593                     | 262,585.63         |
| IN-OUT-Überweisungen pro Tag (vorgeschlagener Zustand)  | 19                       | 276.21             |
| IN-OUT-Überweisungen pro Jahr (vorgeschlagener Zustand) | 6593                     | 95,843.75          |
| Tägliche Einsparungen                                   | 19                       | 480.52             |
| Jährliche Einsparungen                                  | 6593                     | 166,741.88         |

Anschließend ziehen wir diese Einsparungen vom SF-Transport ab und berechnen die gesamten Materialflusskosten neu. Die Kosten nach der Optimierung sind in Tabelle 11 dargestellt.

Nach einer Neukalkulation der Kosten konnten die Bearbeitungskosten reduziert werden. Beim Vergleich der Daten aus den Tabellen 8 und 12 hatte die Kostensenkung jedoch keinen Einfluss auf die Größe, Intensität oder Entfernungen des Materialflusses. So blieb trotz der geringeren Kosten das Gesamtdurchflussvolumen unverändert.

**Tabelle 11.** Kosten nach der Optimierung.

| Kosten                  | Pcs. | Kosten pro Einheit (EUR) | Monatliche         |                        |
|-------------------------|------|--------------------------|--------------------|------------------------|
|                         |      |                          | Gesamtkosten (EUR) | Jährliche Kosten (EUR) |
| Gabelstapler            | 8    | 742.87                   | 5942.97            | 71,315.60              |
| Hubwagen                | 3    | 269.04                   | 807.11             | 9685.36                |
| Umgang mit dem Personal | 22   | 1601.08                  | 35,223.83          | 422,686.00             |
| SF-Verkehr              | 6593 | 14.54                    | 7986.98            | 95,843.75              |
| FG Transport            | 2776 | 79.66                    | 18,427.06          | 221,124.74             |
| Obst gelesen            | 1    | 2987.10                  | 2987.10            | 35,845.15              |
| Gesamtkosten            |      |                          |                    | 856,500.60             |
| Gesamtkosten pro Meter  |      |                          |                    | 0.01                   |

**Tabelle 12.** Insgesamt flo / Übersicht für Variante 1.

| Von                                  | An                                | Tonnen/Jahr | Häufigkeit/Jahr | Entfernung (m) | Leistung (t × m) | m/Jahr      | Kosten für die Handhabung |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------|----------------|------------------|-------------|---------------------------|
| Eingang von Primärpackmitteln (PM)   | Lager für Primärpackmittel (PM)   | 504         | 2016            | 40             | 20,160           | 80,640      | 642.35                    |
| Eingang von Sekundärpackmitteln (PM) | Lager für Sekundärpackmittel (PM) | 4719        | 7080            | 20             | 94,380           | 141,600     | 1127.93                   |
| Eingang von Rohstoffen (RM)          | Rohstofflager (RM)                | 47,634      | 127,024         | 10             | 476,340          | 1,270,240   | 10,118.21                 |
| Rohstofflager (RM)                   | Abschnitt 1                       | 47,634      | 127,024         | 20             | 952,680          | 2,540,480   | 20,236.42                 |
| Abschnitt 1                          | Produktionslinien                 | 47,634      | 63,512          | 20             | 952,680          | 1,270,240   | 10,118.21                 |
| Lager für Primärpackmittel (PM)      | Produktionslinien                 | 476         | 1904            | 20             | 9520             | 38,080      | 303.33                    |
| Produktionslinien                    | Ausgabe aus Zeilen                | 48,110      | 347             | 100            | 4,811,000        | 34,700      | 276.41                    |
| Ausgabe aus Zeilen                   | Halbfabrikatslager (SF)           | 48,110      | 100,300         | 5              | 240,550          | 501,500     | 3994.74                   |
| Halbfabrikatslager (SF)              | Fruta                             | 48,110      | 3123            | 2000           | 96,220,000       | 6,246,000   | 49,753.07                 |
| Fruta                                | Verpackung                        | 48,110      | 3470            | 2000           | 96,220,000       | 6,940,000   | 55,281.19                 |
| Lager für Sekundärpackmittel (PM)    | Verpackung                        | 4461        | 2230            | 50             | 223,050          | 111,500     | 888.16                    |
| Verpackung                           | Fertigwarenlager (FG)             | 45,802      | 22,901          | 10             | 458,020          | 229,010     | 1824.20                   |
| Fertigwarenlager (FG)                | Ceské Budeřovice                  | 11,451      | 694             | 34,000         | 389,334,000      | 23,596,000  | 187,956.03                |
| Fertigwarenlager (FG)                | Tábor                             | 34,351      | 2082            | 31,000         | 1,064,881,000    | 64,542,000  | 514,115.02                |
| Verpackung                           | Abfall                            | 6769        | 347             | 50             | 338,450          | 17,350      | 138.20                    |
| Gesamt                               |                                   | 443,875     | 464,054         | 69,345         | 30,780,511,875   | 107,559,340 | 856,773.46                |

### Return-on-Investment-Berechnung für Variante 1

Um den ROI zu berechnen, ist es notwendig, den durch die Investition erzielten Betriebsgewinn zu ermitteln. In diesem Fall dienen die Gesamteinsparungen aus dem Transport von Halbfabrikaten (SF) als operativer Gewinn für die Investition.

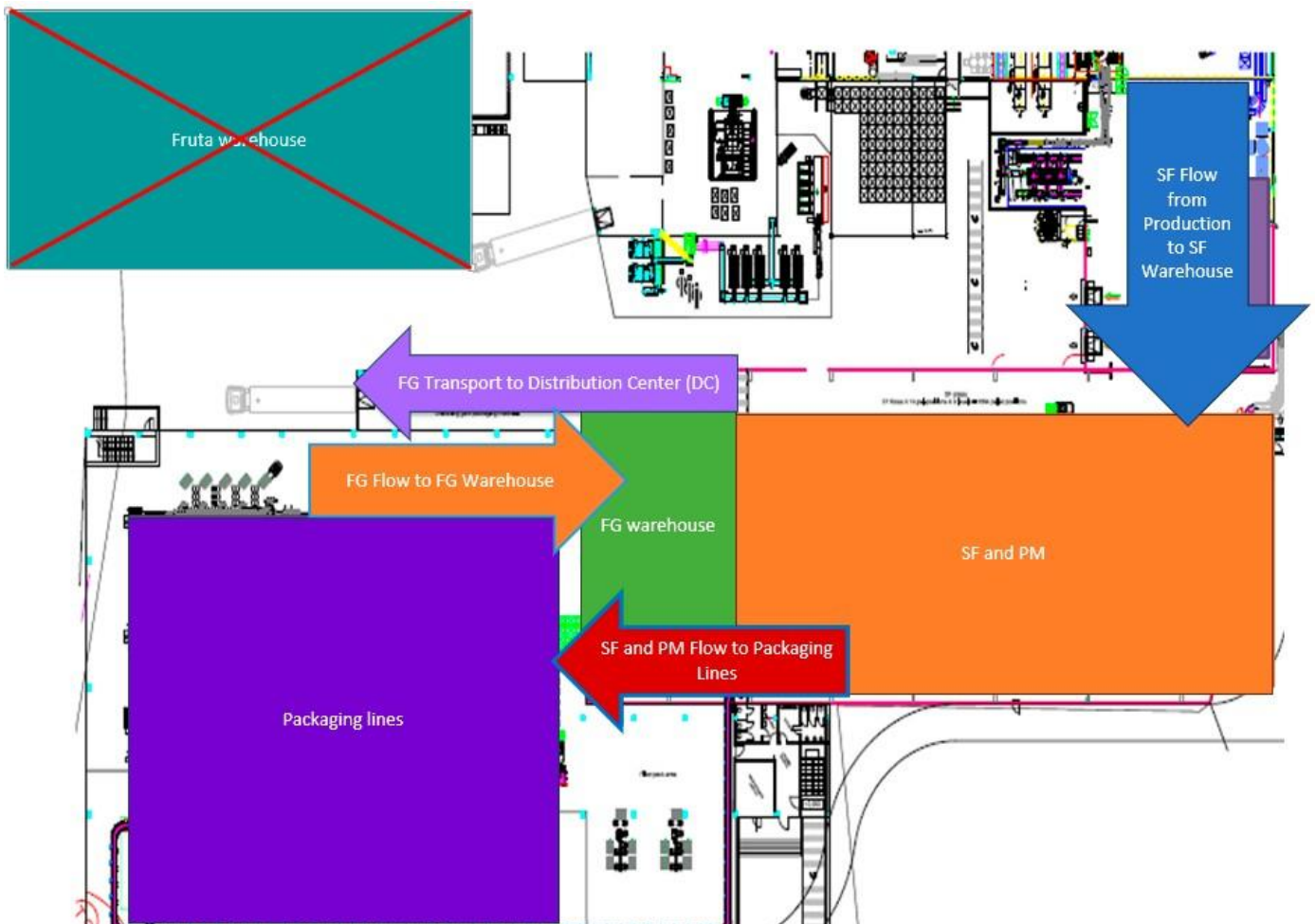
Der ROI wird anhand der Formel (6) berechnet, und nach Anwendung der relevanten Werte wird die Rendite der Investition auf 74 % ermittelt. Die Amortisationszeit der Investition wird nach der Formel (8) berechnet, und nach Eingabe der Werte beträgt die Amortisationszeit der Investition 0,57 Jahre, was bedeutet, dass das Unternehmen die Investition in 208 Tagen zurückerhält, was der erforderlichen Renditefrist von weniger als zwei Jahren entspricht.

**Optimiertes Layout des Materialflusses**

Abbildung 6 veranschaulicht den neuen Materialfluss nach der Optimierung. Die umgesetzten Änderungen haben die Prozesseffizienz verbessert und den Materialfluss rationalisiert, um einen optimaleren und kostengünstigeren Logistikbetrieb zu gewährleisten.

*5.2. Variante 2 — Ersatz externer Betreiber für FG-Transporte durch eigene Flotte*

Wie bei Variante 1 ist eine der kostensparenden Strategien zur Optimierung des Materialflusses die Reduzierung der Transportkosten. Dieser Vorschlag sieht das operative Leasing von zwei Sattelzugmaschinen und die Einstellung eines vierten Fahrers mit C + E-Führerschein vor. Die Fahrer drehen sich auf diesen beiden Einheiten, um die volle Auslastung der Fahrzeuge zu gewährleisten. Um den Kostenindikator zu ermitteln, berechnen wir die aktuellen Kosten für die Transporthäufigkeit pro Kilometer, die derzeit bei 1,24 EUR/km für den FG-Transport. Die Anschaffungskosten für zwei Truck-Trailer-Einheiten belaufen sich auf EUR 40.202,61 bei einem monatlichen Leasing von EUR 1675,11 pro Einheit. Die Berechnung der Betriebskosten erfolgt auf Basis der geschätzten jährlichen Fahrleistung von 176.276 km und des aktuellen Kraftstoffpreises von 1,43 EUR/L für Diesel [36] (abgerufen am 11. Februar 2025). Die Personalkosten für vier Fahrer werden auf 102.612,37 Euro geschätzt (siehe Tabelle 13).



**Abbildung 6.** Materialfluss nach der Optimierung.

**Tabelle 13.** Kosten für zwei Straßengütereinheiten.

| Leasing für 48 Monate | Kosten (EUR) |
|-----------------------|--------------|
|-----------------------|--------------|

---

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 2x Straßengüterwagen         | 40,202.61  |
| Betriebskosten               | 58,895.98  |
| Personalkosten für 4x Fahrer | 102,612.37 |
| Gesamt                       | 201,710.96 |

---

Um die Kosten pro Kilometer zu bestimmen, verwenden wir die Formel (4) wie folgt:

$$ckm = \frac{201,710.96}{176,276} = 1,14 \text{ €}$$

Auf der Grundlage der Berechnung der Kosten pro Kilometer können wir nun die Kosten für einen einzigen Transport zum Lager in Lašek und zum Lager in Tábor ermitteln. Die Hin- und Rückfahrt zwischen der Fabrik und Lašek beträgt 68 km, während die Hin- und Rückfahrt zwischen der Fabrik und Tábor 62 km beträgt. Die Kosten für einen einfachen Transport nach České Budeřovice (Lager Lašek)

beträgt EUR 78,65. Die Kosten für einen einfachen Transport nach Tábor betragen 71,71 EUR. Die Einsparungen pro Transport werden nach Formel (5) wie folgt berechnet:

$$\text{StranspLaek} = 79.77 - 78.65 = \text{Sonderpreis: } 1,12 \text{ €}$$

$$\text{StranspTbor} = 79.77 - 71.71 = 8,06 \text{ € inkl. MwSt.}$$

Ersparnis pro Transport nach Tábor: 8,06 EUR; Ersparnis pro Transport nach Lašek: 1,12 EUR. Auf Jahresbasis beläuft sich die Gesamtersparnis bei FG-Transporten auf 17.548,60 EUR (siehe Tabelle 14). **Tabelle 14.** Kosten für den FG-Transport.

| FG Transportkosten               | Entfernung (km) | Frequenz | Gesamt (km) | Preis pro km | Gesamtpreis (EUR) |
|----------------------------------|-----------------|----------|-------------|--------------|-------------------|
| Ceské Budeřovice (~ CB)~         | 68              | 694      | 47,192.00   | 1.14         | 54,583.34         |
| Tábor                            | 62              | 2082     | 129,084.00  | 1.14         | 149,301.48        |
| Gesamt (km)                      |                 |          | 176,276.00  | 1.14         | 203,884.82        |
| Jährliche Einsparungen (CB)~     |                 |          | 775.02      |              |                   |
| Jährliche Ersparnis (Tábor)      |                 |          | 16,773.58   |              |                   |
| Jährliche Einsparungen insgesamt |                 |          | 17,548.60   |              |                   |

Anschließend werden die Einsparungen durch den FG-Transport und die Kosten neu berechnet, wie in Tabelle 15 dargestellt.

**Tabelle 15.** Kosten nach der FG-Optimierung.

| Kosten                  | Pcs. | Kosten pro Einheit (EUR) | Monatliche Gesamtkosten (EUR) | Jährliche Kosten (EUR) |
|-------------------------|------|--------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Gabelstapler            | 8    | 743.91                   | 5951.26                       | 71,415.15              |
| Paletten-Ruck           | 3    | 269.41                   | 808.24                        | 9698.88                |
| Umgang mit dem Personal | 22   | 1603.32                  | 35,273                        | 423,276.03             |
| SF-Verkehr              | 6593 | 14.56                    | 7998.13                       | 262,952.18             |
| FG Transport            | 2776 | 1.24                     | 16,990.40                     | 203,884.82             |
| Obst gelesen            | 1    | 2991.27                  | 2991.27                       | 35,895.19              |
|                         |      | Gesamtkosten             |                               | 1,007,122.24           |
|                         |      | Gesamtkosten pro Tonne   |                               | 2.27                   |
|                         |      | Gesamtkosten pro Meter   |                               | 0.01                   |

Nach einer Neukalkulation der Kosten konnten die Kosten für das Materialhandling gesenkt werden. Die Optimierung führte zu Kosteneinsparungen, aber die Größe, Intensität und Entfernungen blieben unverändert. Trotz der Reduzierung der Handlingkosten veränderte sich das Materialflussvolumen nicht, obwohl eine Gesamteinsparung von 150.916,84 EUR erzielt wurde. Tabelle 16 zeigt das Materialflussvolumen nach Optimierung für Variante 2.

### Return-on-Investment-Berechnung für Variante 2

Um den ROI zu bestimmen, ist es notwendig, den durch die Investition erzielten Betriebsgewinn zu berechnen. Die für diese Berechnung verwendeten Eingabedaten beinhalten die Gesamtkosteneinsparungen durch den FG-Verkehr, die als operatives Ergebnis dienen, in Höhe von 17.548,60 EUR und die Investitionskosten in Höhe von 201.710,96 EUR.

Der ROI wird anhand der Formel (6) berechnet. Nach dem Einsetzen der Werte in die Formel ergibt sich eine Kapitalrendite von -91 %. Die Amortisationszeit wird nach der Formel (8) bestimmt. Nach Anwendung der Werte wird die Amortisationszeit mit 11,5 Jahren berechnet, was die erforderliche Anlagerenditebedingung von zwei Jahren nicht erfüllt.

**Tabelle 16.** Materialflussvolumen nach der Optimierung – Variante 2.

| Von                                  | An                                | Tonnen/Jahr | Häufigkeit/Jahr | Entfernung (m) | Leistung (t × m) | m/Jahr      | Kosten für die Handhabung |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------|----------------|------------------|-------------|---------------------------|
| Eingang von Primärpackmitteln (PM)   | Lager für Primärpackmittel (PM)   | 504         | 2016            | 40             | 20,160           | 80,640      | 755.19                    |
| Eingang von Sekundärpackmitteln (PM) | Lager für Sekundärpackmittel (PM) | 4719        | 7080            | 20             | 94,380           | 141,600     | 1326.13                   |
| Eingang von Rohstoffen (RM)          | Rohstofflager (RM)                | 47,634      | 127,024         | 10             | 476,340          | 1,270,240   | 11,896.02                 |
| Rohstofflager (RM)                   | Abschnitt 1                       | 47,634      | 127,024         | 20             | 952,680          | 2,540,480   | 23,792.09                 |
| Abschnitt 1                          | Produktionslinien                 | 47,634      | 63,512          | 20             | 952,680          | 1,270,240   | 11,896.02                 |
| Lager für Primärpackmittel (PM)      | Produktionslinien                 | 476         | 1904            | 20             | 9520             | 38,080      | 356.64                    |
| Produktionslinien                    | Ausgabe aus Zeilen                | 48,110      | 347             | 100            | 4,811,000        | 24,700      | 324.97                    |
| Ausgabe aus Zeilen                   | Halbfabrikatslager (SF)           | 48,110      | 962,220         | 5              | 240,550          | 481,100     | 4505.60                   |
| Halbfabrikatslager (SF)              | Fruta                             | 48,110      | 3123            | 2000           | 96,220,000       | 6,246,000   | 58,494.95                 |
| Fruta                                | Verpackung                        | 48,110      | 3470            | 2000           | 96,220,000       | 6,940,000   | 64,994.38                 |
| Lager für Sekundärpackmittel (PM)    | Verpackung                        | 4461        | 2230            | 50             | 223,050          | 111,500     | 1044.23                   |
| Verpackung                           | Fertigwarenlager (FG)             | 45,802      | 22,901          | 10             | 458,020          | 229,010     | 2144.74                   |
| Fertigwarenlager (FG)                | Ceské Budeřovice                  | 11,451      | 694             | 34,000         | 389,334,000      | 23,596,000  | 220,980.94                |
| Fertigwarenlager (FG)                | Tábor                             | 34,351      | 2082            | 31,000         | 1,064,881,000    | 64,542,000  | 604,447.89                |
| Verpackung                           | Abfall                            | 6769        | 347             | 50             | 338,450          | 17,350      | 162.49                    |
| Gesamt                               |                                   | 443,875     | 459,974         | 69,345         | 30,780,511,875   | 107,538,940 | 1,007,122.24              |

## 6. Diskussion

Auf der Grundlage der Analyse des aktuellen Zustands des Materialflusses in der Produktionsstätte des Unternehmens in Veselí nad Lužnicí wurden Maßnahmen zur Optimierung der Effizienz vorgeschlagen. Ziel dieser Diskussion ist es, zwei Lösungsvorschläge zu vergleichen und ihre Vorteile in Bezug auf Effektivität, Kostensenkung und Implementierungskomplexität zu bewerten.

Variante 1 konzentriert sich auf die Analyse der Transportkosten, die mit der Verlagerung von SF in das Fruta-Lager verbunden sind, das zwei Kilometer vom Produktionsunternehmen entfernt liegt. Ein erheblicher Teil der Kosten entfällt auf den SF-Transport nach Fruta, wo der Reifeprozess stattfindet, bevor die Ware zur Endverpackung in FG ins Werk zurückgeschickt wird.

Eine alternative Lösung zur Senkung der Transportkosten besteht darin, eine eigene Flotte von Transporteinheiten zu erwerben und so die Abhängigkeit von einem externen Betreiber zu verringern. Dieser Ansatz optimiert nicht direkt den Materialfluss, sondern reduziert die Transportkosten, die bei der Aufteilung auf die einzelnen Transporte einen erheblichen Teil der Gesamtkosten ausmachen. Die Umsetzung dieser Strategie würde zu Kosteneinsparungen in Höhe von EUR führen.

166.974,63 auf SF-Transport. Abbildung 7 veranschaulicht die Transportkosten, die mit SF verbunden sind.

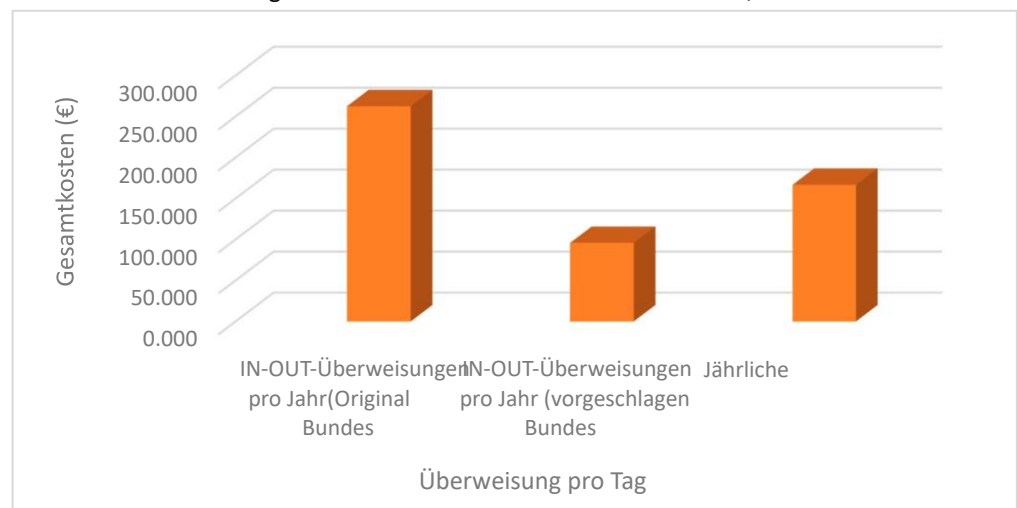
Diese Transportoptimierung spiegelt sich in den Gesamtkosten des Materialflusses wider, wodurch die Kosten pro transportiertem Zähler gesenkt und Einsparungen von 0,03 EUR pro Meter erzielt werden. Infolgedessen verringerten sich die variablen Gesamtkosten von ursprünglich EUR 1.158.039,09 auf EUR 857.806,72, was zu Einsparungen von EUR 300.232,36 führte. Aus Sicht der Anlagerendite erweist sich diese Investition mit einer Rendite von 74 % als

kosteneffizient. In Bezug auf die Amortisationszeit amortisiert sich die Investition innerhalb von 208 Tagen nach der Umsetzung und erfüllt damit die Investitionsbedingung des Unternehmens, innerhalb von zwei Jahren eine Rendite zu erzielen.

Variante 2 konzentriert sich auf die Ersetzung externer Bediener für den FG-Transport durch den innerbetrieblichen Transport und die Analyse der Kosten im Zusammenhang mit dem FG-Transport zu den Distributionslagern, die 31 und 34 km vom Produktionsunternehmen entfernt sind. Ein erheblicher Teil der gesamten Materialflusskosten entfällt auf den FG-Transport von der Fabrik zu den Distributionslagern, von wo aus die Produkte an die Kunden versendet werden.

Eine der Möglichkeiten, die Transportkosten zu senken, besteht darin, einen eigenen Fuhrpark aufzubauen, wodurch externe Betreiber überflüssig werden. Wie Variante 1 optimiert auch dieser Ansatz den Materialfluss nicht direkt, sondern konzentriert sich auf die Reduzierung der Kosten im Zusammenhang mit Materialbewegungen.

die, wenn sie den einzelnen Transporten zugeordnet werden, einen erheblichen Teil der Gesamtkosten ausmachen. Die Kosten für den Erwerb der Flotte durch langfristiges Leasing, den Betrieb und die Besetzung von vier Fahrern belaufen sich auf 201.710,96 Euro.



**Abbildung 7.** Kosten des SF-Transports.

Die Ersparnis pro Transport nach Tábor beträgt 8,06 EUR, während sie für Lašek 1,12 EUR beträgt. Daraus ergibt sich ein jährliches Einsparpotenzial von 17.547,40 Euro. Trotz der relativ geringen jährlichen Einsparungen konnten die variablen Materialflusskosten um 150.916,84 EUR gesenkt werden. Aufgrund der hohen Investitionskosten und des geringen operativen Gewinns wurde jedoch ein ROI von -91 % bei einer Amortisationszeit von 11,5 Jahren berechnet. Aus dieser Perspektive gilt diese Variante als nicht realisierbar, da sie die geforderten Renditebedingungen nicht erfüllt.

Während beide Optimierungsvarianten potenzielle Kosteneinsparungen bieten, steht ihre Umsetzung vor einigen praktischen Herausforderungen. Eines der Haupthindernisse in Variante 2 sind die hohen Anfangsinvestitionen für die Anschaffung einer internen Flotte sowie die laufenden Betriebs- und Wartungskosten. Darüber hinaus bleibt das Risiko der Anlagerendite ein zentrales Problem, da die Berechnungen darauf hindeuten, dass Variante 1 zwar die erwartete Amortisationszeit einhält, Variante 2 diese jedoch deutlich übertrifft, was sie finanziell unrentabel macht.

Eine kritische Herausforderung ist der organisatorische Übergang von einem extern verwalteten Transportsystem zu einem internen Modell. Diese Umstellung würde erhebliche logistische Anpassungen erfordern, einschließlich Personalschulung, Wartungsplanung und Flottenmanagement. Darüber hinaus führt die Abhängigkeit vom internen Transport zu neuen

operationellen Risiken, wie z. B. Ausfallzeiten von Fahrzeugen oder Terminkonflikten, die durch effiziente Flottenauslastungsstrategien gemindert werden müssen. Um diese Probleme zu lösen, könnte ein schrittweiser Implementierungsansatz die Investitionskosten über die Zeit verteilen und gleichzeitig eine Leistungsbewertung vor der vollständigen Einführung ermöglichen. Alternativ kann ein hybrides Transportmodell, das sowohl interne als auch externe Logistikdienstleistungen kombiniert, eine ausgewogene Lösung zwischen Kostenkontrolle und betrieblicher Flexibilität bieten. Die Implementierung von Echtzeit-Überwachungstechnologien, wie z. B. IoT-basierte Flottenverfolgungs- und Routenoptimierungsalgorithmen, könnte die Transporteffizienz weiter steigern und unnötige Kosten senken.

Unter dem Gesichtspunkt der ökologischen Nachhaltigkeit trägt die Optimierung von Materialflüssen zu geringeren Emissionen und einem geringeren Energieverbrauch bei. Durch die Minimierung von Transportwegen und die Einführung kraftstoffsparender Transportmethoden passt Variante 1 besser zu den Prinzipien der nachhaltigen Logistik. Wenn innerbetriebliche Transporteinheiten mit alternativen Energiequellen wie Elektro- oder Hybridfahrzeugen betrieben würden, könnte der gesamte CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Logistikabläufe weiter minimiert werden. Diese Verbesserungen unterstützen umfassendere Nachhaltigkeitsziele im Lieferkettenmanagement und tragen zum grünen Wandel in der Industrielogistik bei.

Die vorgeschlagene Methodik führt eine einzigartige Kombination aus Theorie und Praxis ein und bereichert den akademischen Diskurs zur Materialflussoptimierung. Durch die Reduzierung von Material-, Energie- und Zeitverschwendung trägt die Materialflussoptimierung indirekt zur ökologischen Nachhaltigkeit bei. Im Gegensatz zu Methoden, die sich ausschließlich auf die Logistik oder Finanzanalyse konzentrieren, integriert dieser Ansatz eine mehrdimensionale Perspektive auf Materialfluss, Kosteneffizienz und wirtschaftliche Rendite. Die Methodik bietet sowohl Fachleuten als auch Wissenschaftlern ein neues Werkzeug für eine effektive Materialflussanalyse und -optimierung. Sein Mehrwert liegt in der unverwechselbaren Kombination von visuellen und quantitativen Instrumenten, die einfach zu implementieren sind und gleichzeitig durch eine robuste wirtschaftliche Analyse unterstützt werden. Diese Kombination macht es sowohl praxisrelevant als auch wissenschaftlich bedeutsam und bietet einen Wettbewerbsvorteil gegenüber bestehenden Ansätzen.

Neben direkten wirtschaftlichen Vorteilen führen optimierte Materialflüsse auch zu kürzeren Transportwegen und einer verbesserten Kraftstoffeffizienz, was wiederum zu geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionen und einer geringeren Umweltbelastung beiträgt. Zukünftige Forschung sollte Umweltverträglichkeitsprüfungen einbeziehen, wie z. B. die Messung von Emissionseinsparungen durch reduzierte Transportwege und Kraftstoffverbrauch, um die Nachhaltigkeitsvorteile der Materialflussoptimierung weiter zu quantifizieren. Die Optimierung des Materialflusses ist ein sich ständig weiterentwickelnder Bereich, der von technologischen Fortschritten, Veränderungen im Geschäftsumfeld und steigenden Anforderungen an Effizienz und Nachhaltigkeit profitieren kann. Dieser umfassende Ansatz stellt sicher, dass die Optimierung des Materialflusses nicht nur wirtschaftlich, sondern auch umweltverträglich ist und breitere Nachhaltigkeitsziele in der Logistik und im Lieferkettenmanagement unterstützt.

Obwohl diese Studie wertvolle Einblicke in die Optimierung des Materialflusses und Kostensenkungsstrategien in der Fertigungsindustrie bietet, müssen einige Einschränkungen anerkannt werden. Die Analyse basiert auf Daten aus einer einzigen Produktionsstätte in Veselí nad Lužnicí, was die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse einschränken kann. Obwohl die Methoden in ähnlichen industriellen Umgebungen angewendet werden können, könnten Unterschiede in den Produktionsprozessen, Anlagenlayouts und Lieferkettenstrukturen die Wirksamkeit der vorgeschlagenen Lösungen beeinflussen. Darüber hinaus stützen sich einige Berechnungen auf geschätzte Werte, insbesondere bei der Kostenmodellierung und der Bewertung des Return on Investment (ROI), was zu einer gewissen Unsicherheit führt. Annahmen in Bezug auf Kraftstoffpreise, Transporteffizienz und Arbeitskosten können sich unter

verschiedenen wirtschaftlichen Bedingungen ändern, was sich möglicherweise auf die langfristige Machbarkeit der Optimierungsstrategien auswirkt.

Eine weitere Einschränkung ist der Umfang der Studie in Bezug auf externe Marktschwankungen. Faktoren wie volatile Kraftstoffpreise, Änderungen der Transportvorschriften und unerwartete Unterbrechungen der Lieferkette (z. B. Rohstoffknappheit, Streiks oder geopolitische Instabilität) könnten die Machbarkeit der vorgeschlagenen Lösungen erheblich beeinträchtigen. Zukünftige Forschung sollte untersuchen, wie adaptive Logistikstrategien und Risikomanagement-Frameworks dazu beitragen können, diese Unsicherheiten zu mindern. Darüber hinaus hebt die Studie zwar die Umweltvorteile im Zusammenhang mit reduzierten Transportwegen und Emissionen hervor, eine detailliertere Analyse der ökologischen Auswirkungen, wie z. B. die Ökobilanz (LCA), könnte tiefere Einblicke in Nachhaltigkeitsverbesserungen liefern.

Schließlich konzentriert sich die Studie in erster Linie auf die finanzielle und betriebliche Effizienz, ohne die organisatorischen und menschlichen Faktoren, die bei der Umsetzung dieser Veränderungen eine Rolle spielen, vollständig zu berücksichtigen. Der Übergang zu einem internen Transportmodell kann eine Umstrukturierung der Belegschaft, Schulungsprogramme und neue Managementstrategien erfordern, um eine reibungslose Integration zu gewährleisten. Zukünftige Forschung sollte die Management- und Verhaltensherausforderungen untersuchen, die mit der Optimierung des Materialflusses verbunden sind, insbesondere bei der Anpassung der Mitarbeiter und der Prozessautomatisierung. Die Berücksichtigung dieser Faktoren wird dazu beitragen, die Methodik zu verfeinern und ihre breitere Anwendbarkeit in verschiedenen industriellen Kontexten zu unterstützen.

Zukünftige Forschung sollte die vielversprechendsten Richtungen priorisieren, die auf den Ergebnissen dieser Studie aufbauen. Ein wesentlicher Fokus sollte dabei sein, fortschrittliche digitale Technologien wie Künstliche Intelligenz (KI) und Automatisierung in die Materialflussoptimierung zu integrieren.

KI-gesteuerte prädiktive Analysen könnten die Entscheidungsfindung verbessern, indem sie Ineffizienzen identifizieren, Nachfrageschwankungen prognostizieren und Logistikstrategien in Echtzeit anpassen. Automatisierungstechnologien, einschließlich autonomer Transportsysteme und Roboterhandhabung, könnten die Betriebskosten erheblich senken und die Effizienz steigern. Darüber hinaus könnten weitere Studien die Auswirkungen von Echtzeit-Überwachungssystemen und digitalen Zwillingen auf die Simulation und Optimierung von Materialflüssen vor der Implementierung untersuchen. Digitale Zwillinge können wertvolle Erkenntnisse liefern, indem sie logistische Abläufe in einer virtuellen Umgebung replizieren und es Unternehmen ermöglichen, verschiedene Szenarien zu testen und optimale Konfigurationen zu identifizieren. Diese Fortschritte haben das Potenzial, das Materialflussmanagement erheblich zu verbessern und Logistikprozesse anpassungsfähiger, kostengünstiger und umweltfreundlicher zu gestalten. Ein weiterer wichtiger Forschungsbereich ist die Rolle von Industrie-4.0-Technologien, wie z. B. IoT-basiertes Tracking und Blockchain-Anwendungen, bei der Verbesserung der Transparenz und Rückverfolgbarkeit der Lieferkette. Der Einsatz von Sensoren und IoT-Geräten zur Echtzeitüberwachung des Materialflusses würde eine genauere Analyse und eine schnellere Entscheidungsfindung ermöglichen. Die Blockchain-Technologie könnte die Sicherheit und Effizienz von Transaktionen in der Lieferkette weiter verbessern, indem sie einen genauen und manipulationssicheren Datenaustausch zwischen den Beteiligten gewährleistet. Zukünftige Forschung könnte auch die Umweltauswirkungen der Materialflussoptimierung genauer untersuchen. Die Einbeziehung von Methoden der Lebenszyklusanalyse (LCA) zur Messung der Emissionsreduzierung und der Einsparungen beim Energieverbrauch würde einen umfassenderen Überblick über Nachhaltigkeitsverbesserungen bieten. Vergleichende Studien, in denen die Umweltleistung verschiedener Verkehrsträger, einschließlich der Logistik auf der Schiene und der Straße, bewertet wird, könnten dazu beitragen, Nachhaltigkeitsstrategien zu verfeinern und umweltfreundlichere Lieferkettenpraktiken zu fördern. Die Studien sollen die breiteren

Auswirkungen der Materialflussoptimierung auf die Gesamtleistung des Unternehmens untersuchen, z. B. ihre Auswirkungen auf den Kundenservice, die Liefergeschwindigkeit und die Widerstandsfähigkeit der Lieferkette. Durch die Ausweitung der Forschung in diese Richtungen werden zukünftige Studien nicht nur den praktischen Wert von Methoden zur Optimierung des Materialflusses erhöhen, sondern auch ihre Anpassungsfähigkeit an sich entwickelnde technologische, wirtschaftliche und ökologische Herausforderungen sicherstellen.

Obwohl IoT-Technologien und maschinelles Lernen im aktuellen Betrieb des analysierten Werks in Veselí nad Lužnicí noch nicht eingesetzt werden, könnte ihre Implementierung den Prozess der Optimierung des Materialflusses weiter verbessern. Im Rahmen künftiger Modernisierungsbemühungen könnten IoT-Sensoren eingeführt werden, um Materialbewegungen in Echtzeit zu überwachen und genauere Daten über die Effizienz der Logistikflüsse zu liefern. Maschinelles Lernen könnte diese Daten dann analysieren und automatisch Muster und potenzielle Engpässe im Prozess identifizieren, was die Entwicklung besserer Strategien zur Kostensenkung und Verbesserung der Zeiteffizienz ermöglicht. Dieser Ansatz könnte als wertvolle Ergänzung zu den bereits vorgeschlagenen Maßnahmen dienen und stellt eine vielversprechende Richtung für die zukünftige Entwicklung des Werks im Kontext von Industrie 4.0 dar.

## 7. Schlussfolgerungen

Basierend auf der Analyse des Ist-Zustands des Materialflusses im ausgewählten Unternehmen bestand das Ziel darin, Maßnahmen zur Optimierung des Materialflusses vorzuschlagen und deren Wirksamkeit zu bewerten. Die Analyse wurde in der Produktionsstätte in Veselí nad Lužnicí in der Tschechischen Republik durchgeführt. Ein integraler Bestandteil des Materialflusses ist der Informationsfluss, dessen Eigenschaften und Funktionen beschrieben wurden. Der Grundriss gab einen Überblick über die räumliche Anordnung und die Funktionen der verschiedenen Bereiche und Arbeitsplätze innerhalb der Einrichtung. Der letzte Teil der Ist-Analyse befasste sich mit der Lagerung und dem Materialumschlag, einschließlich Bestandsverwaltungsmethoden wie FIFO und FEFO. Die Materialflussanalyse gliederte sich in die Quantifizierung der Handhabungskosten, einschließlich Personalkosten, Transportkosten, Kosten für Handhabungsgeräte und Lagermiete für den Alterungsprozess.

Nach Summe dieser Kosten ergab sich ein Gesamtaufwand in Höhe von EUR 1.024.670,84. Der zweite Teil der Materialflussanalyse konzentrierte sich auf die Berechnung der tatsächlichen Materialflüsse. Auf der Grundlage dieser Berechnungen wurde festgestellt, dass das geplante jährliche Volumen der Fertigwarenproduktion 45.802 Tonnen beträgt, während der kumulierte Materialfluss durch die verschiedenen Arbeitsplätze 4.433.875 Tonnen pro Jahr erreicht. Die Beziehungen zwischen den einzelnen Arbeitsplätzen wurden in eine Schachbretttabelle überführt und Materialflusskennzahlen berechnet, darunter das Gesamtmaterialvolumen (Tonnen pro Jahr), die jährliche Häufigkeit der Materialbewegungen und die jährliche Transportleistung. Die Analyse ergab, dass Produkte eine lange Strecke zurücklegen müssen, bevor sie in das Endprodukt verpackt werden, und diese Entfernung wird durch den Transport von FG vom Produktionsunternehmen zu den Distributionslagern noch verlängert. Zu den festgestellten Mängeln zählten die langen Transportwege und die hohen Kosten für den FG-Transport, die sich auf EUR 262.952,18 pro Jahr beliefen. Darüber hinaus waren erhebliche Kosten für den Transport der Fertigwaren zu den Distributionszentren in Ceské Budečjovice und Tábor verbunden. Basierend auf den identifizierten Mängeln wurden zwei Optimierungsszenarien für den Materialfluss vorgeschlagen: Variante 1 – Ablösung des externen Transports für SF durch innerbetrieblichen Transport und Variante 2 – Ablösung des externen Transports für FG durch innerbetrieblichen Transport. Variante 1 konzentrierte sich auf die Ablösung des externen Transports für SF durch den innerbetrieblichen Transport. Entscheidet sich das Unternehmen für diese Variante, belaufen sich die Investitionskosten auf 95.935,87 Euro, während die jährliche Einsparung 166.974,63 Euro erreicht. Der ROI liegt bei 74 % und es wird erwartet, dass sich die Investition innerhalb von 208 Tagen

amortisiert. Variante 2 fokussiert sich auf die Ablösung des Fremdtransports durch FG durch den innerbetrieblichen Transport. Entscheidet sich das Unternehmen für diese Option, belaufen sich die Investitionskosten auf 201.710,96 Euro, bei jährlichen Einsparungen von 17.548,60 Euro. Es dauerte 11,5 Jahre, bis sich die Investition amortisierte, was diese Variante undurchführbar machte und zu ihrer Ablehnung führte.

Basierend auf den durchgeführten Analysen und Lösungsvorschlägen ist es offensichtlich, dass die Optimierung des Materialflusses ein entscheidendes Instrument zur Steigerung der Effizienz, zur Kostensenkung und zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens ist. Darüber hinaus trägt die systematische Überwachung und Bewertung des Materialflusses nicht nur zur betrieblichen Effizienz, sondern auch zur wirtschaftlichen Nachhaltigkeit bei. Diese Studie bietet einen Rahmen und praktische Empfehlungen, die nicht nur für die Wissenschaft, sondern auch für Fachleute aus der Industrie wertvoll sein können.

**Beiträge der Autoren:** Konzeptualisierung, Z.B. und J.G.; Methodik, Z.B. und J.C.; Validierung, J.G. und Z.B.; Formale Analyse, Z.B.; Ermittlungen, J.G. und J.C.; Ressourcen, Z.B.; Datenkuration, Z.B. und J.C.; Schreiben—Erstellung des ursprünglichen Entwurfs, Z.B. und J.C.; Schreiben – Rezension und Bearbeitung, Z.B. und J.G.; Visualisierung, Z.B.; Aufsicht, J.G. und J.C.; Projektverwaltung, J.G.; Finanzierungsakquise, J.G. und Z.B. Alle Autorinnen und Autoren haben die veröffentlichte Fassung des Manuskripts gelesen und sind damit einverstanden.

**Finanzierung:** Diese Forschung erhielt keine Drittmittel.

**Erklärung des Institutional Review Board:** Nicht zutreffend.

**Einwilligungserklärung:** Nicht zutreffend.

**Erklärung zur Datenverfügbarkeit:** Die in der Studie vorgestellten Originalbeiträge sind im Artikel enthalten, Rückfragen können an den korrespondierenden Autor gerichtet werden.

**Danksagung:** Die Arbeit wird von der Agentur VEGA durch das Projekt 1/0485/24 "Steigerung der Effizienz und Nachhaltigkeit des Schienen- und Wasserverkehrs im Kontext der Umweltauswirkungen" unterstützt, das an der Fakultät für Betrieb und Wirtschaft des Verkehrs und der Kommunikation der Universität Žilina gelöst wird.

**Interessenkonflikte:** Die Autoren erklären, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

## Referenzen

1. Bartuška, L.; Hanzl, J.; Kampf, R.; Brlek, P. Indikatoren als Instrument zur Bewertung des Niveaus einer nachhaltigen städtischen Güterlogistik. *Promet – Verkehrsverkehr*. **2023**, *35*, 485–499. [\[Querverweis\]](#)
2. Záhumenská, Z.; Gašparík, J. Unterstützung bei der Anbindung der Logistikzentren an das Schienennetz. *Procedia Eng.* **2017**, *192*, 976–981. [\[Querverweis\]](#)
3. Longo, F.; Mirabelli, G.; Papoff, E. Materialflussanalyse und Optimierung des Anlagenlayouts eines Fertigungssystems. *Int. J. Comput.* **2014**, *5*, 107–116. [\[Querverweis\]](#)
4. Kubasakova, I.; Kubanova, J.; Kampf, R. Die Lagerfläche von Logistikobjekten im Jahr 2020 und ihre Betreiber, Infrastruktur und Dienstleistungen. *Transp. Res. Procedia* **2021**, *53*, 305–313. [\[Querverweis\]](#)
5. Pekarcíková, M. Charakteristika und Analyse der Materialflüsse im Unternehmen. In Tagungsband der 13. Internationalen Wissenschaftlichen Konferenz Trends and Innovative Approaches in Business Processes, Košice, Slowakei, 8. Dezember 2010.
6. Peč'ený, L.; Meško, P.; Kampf, R.; Gašparík, J. Optimierung der Transport- und Logistikprozesse. *Transp. Res. Procedia* **2020**, *44*, 15–22. [\[Querverweis\]](#)
7. Mašek, J.; Pálková, A.; Bulková, Z. Anwendung der Clark-Wright-Methode zur Verbesserung der Nachhaltigkeit der Logistikkette. *Appl. Sci.* **2024**, *14*, 9908. [\[Querverweis\]](#)
8. Hlatká, M.; Kampf, R.; Fedorko, G.; Molnár, V. Optimierung der Logistikprozesse bei der Produktion von Hackschnitzeln. *TEM J.* **2020**, *9*, 889–898. [\[Querverweis\]](#)
9. Nieoczym, A.; Caban, J.; Stopka, O.; Krajka, T.; Stopková, M. Der Planungsprozess von Transportaufgaben für autonome Transporter. *Offene Eng.* **2021**, *11*, 871–879. [\[Querverweis\]](#)

10. Jenkins, A. Just-in-Time-Inventar (JIT): Eine Definition und ein umfassender Leitfaden. Netsuite. 2024. Online verfügbar: <https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/inventory-management/just-in-time-inventory.shtml> (abgerufen am 5. März 2025).
11. Lynch, R. Wie die Automatisierung die Widerstandsfähigkeit von Lieferketten für Hersteller im Jahr 2025 neu gestaltet. Softco. 2025. Online verfügbar: <https://softco.com/blog/how-automation-is-reshaping-supply-chain-resilience-for-manufacturers/> (abgerufen am 5. März 2025).
12. Naumow, V.; Taran, I.; Litvinova, Y.; Bauer, M. Optimierung der Ressourcen eines multimodalen Transportterminals für den Materialflussservice. *Nachhaltigkeit* **2020**, *12*, 6545. [Querverweis]
13. Weiss, K. Materialfluss in Produktion und Logistik – Definition & Alles, was Sie wissen müssen. Beewatec. 2023. Online verfügbar: <https://www.beewatec.com/en/blog/material-flow-in-production-and-logistics-how-to-optimize-your-internal-processes> (abgerufen am 5. März 2025).
14. Bandara, L.V.; Buics, L. Digitale Zwillinge in nachhaltigen Lieferketten: Ein umfassender Überblick über aktuelle Anwendungen und Voraussetzungen für eine erfolgreiche Einführung. *Eng. Proc.* **2024**, *79*, 64. [Querverweis]
15. Derpich, I.; Duran, C.; Carrasco, R.; Moreno, F.; Fernandez-Campusano, C.; Espinosa-Leal, L. Streben nach Optimierung mit Multimodales Transportsystem: Ein strategischer Ansatz zur Minimierung von Kosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen. *J. Mar. Sci. Eng.* **2024**, *12*, 976. [Querverweis]
16. Zhu, P.; Lv, X.; Shao, Q.; Kuang, C.; Chen, W. Optimierung grüner multimodaler Transportschemata unter Berücksichtigung der Auftragskonsolidierung unter Unsicherheitsbedingungen. *Nachhaltigkeit* **2024**, *16*, 6704. [Querverweis]
17. Kramarz, M.; Przybylska, E. Multimodaler Verkehr im Kontext der nachhaltigen Entwicklung der Stadt. *Nachhaltigkeit* **2021**, *13*, 2239. [Querverweis]
18. Okyere, S.; Yang, J.; Adams, C.A. Optimierung des nachhaltigen multimodalen Güterverkehrs- und Logistiksystems auf Basis des genetischen Algorithmus. *Nachhaltigkeit* **2022**, *14*, 11577. [Querverweis]
19. Howell, A. Energiewende, nachhaltige Finanzen. Geschäft. 2023. Online verfügbar: <https://business.edf.org/insights/ridingthe-rails-can-intermodal-transport-help-decarbonize-freight/> (abgerufen am 5. März 2025).
20. Pooley, M. Schiene oder Straße? Die Multimodalität übernimmt die Führung bei der Emissionsreduzierung. IFCO Magazin. 2020. Online verfügbar: <https://www.ifco.com/ceo-insights-multimodal-transport/> (abgerufen am 5. März 2025).
21. Vollet, M. Wie und warum erstellen und implementieren wir einen multimodalen Transportplan? Geodis. 2023. Online verfügbar: <https://geodis.com/blog/how-and-why-do-we-establish-and-implement-multimodal-transport-plan> (abgerufen am 5. März 2025).
22. Caban, J.; Nieoczym, A.; Dudziak, A.; Krajka, T.; Stopková, M. Der Planungsprozess von Transportaufgaben für autonome Transporter – Fallstudie. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 2993. [Querverweis]
23. Chopra, V.S.; Meindl, P. Supply Chain Management: Strategie, Planung und Betrieb. In *Das Summa Summarum des Management*, 1. Auflage; Boersch, C., Elschen, R., Hrsg.; Gabler Verlag Wiesbaden; Springer Nature: Wiesbaden, Deutschland, 2019; S. 265–275. [Querverweis]
24. Christopher, M. *Logistik und Supply Chain Management*, 5. Aufl.; Pearson: London, Großbritannien, 2016; 310 Seiten.
25. Larson, P.D. Entwerfen und Verwalten der Lieferkette: Konzepte, Strategien und Fallstudien, David Simchi-Levi Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. *J. Bus. Logist.* **2011**, *22*, 259–261. [Querverweis]
26. García-Alcatraz, J.L.; Díaz-Reza, J.R.; Sánchez-Ramírez, C.; Limón, J.; Jiménez, E.; Javierre, C.; Rodriguez Medina, M.A. Lean Fertigungswerkzeuge, die auf den Materialfluss angewendet werden, und ihre Auswirkungen auf die wirtschaftliche Nachhaltigkeit. *Nachhaltigkeit* **2021**, *13*, 10599. [Querverweis]
27. Weiss, K. Optimieren Sie Ihren Materialfluss in 5 Schritten – Materialflussplanung. Beewatec. 2023. Online verfügbar: <https://www.beewatec.com/en/blog/optimize-your-material-flow-in-5-steps> (abgerufen am 16. Januar 2025).
28. Proenca, A.; Gaspar, P.D.; Lima, T.M. Lean-Optimierungstechniken zur Verbesserung der Produktionsflüsse und des Logistikmanagements: Die Fallstudie eines Obstdistributionszentrums. *Prozesse* **2022**, *10*, 1384. [Querverweis]
29. Malega, P.; Cabalová, N. Möglichkeiten der Optimierung des Lagerraums und Steigerung der Effizienz des Materialflusses im Unternehmen." **2016**, *33*, 159–165.
30. Valenčík, Š. Entwicklung und Anwendung neuer Konzeptionen des Stils des Materialflusses. *Transf. Innov.* **2005**, *8*, 9–13.
31. Centobelli, P.; Cerhion, R.; Murino, T.; Gallo, M. Layout- und Materialflussoptimierung in der digitalen Fabrik. *Int. J. Simultan. Modell.* **2016**, *15*, 223–235. [CrossRef] [PubMed]
32. Banerjee, P.; Zhou, Y. Optimierung des Layouts von Einrichtungen mit der Konfiguration des Materialflusspfads in einer Schleife. *Int. J. Prod. Res.* **2007**, *33*, 183–203. [Querverweis]
33. Karagoz, S.; Karagoz, Y. Optimierung des Materialflusses und der Produktallokation in Inter-Unit-Operationen: Eine Fallstudie einer Kühlschrankproduktionsanlage. *Logistik* **2025**, *9*, 13. [Querverweis]

34. Alvarado-Iniesta, A.; Garcia-Alcatraz, J.L.; Rodriguez-Borbon, M.I.; Maldonado, A. Optimierung des Materialflusses in einer Produktionsanlage durch den Einsatz eines künstlichen Bienenvölker-Algorithmus. *Sachverständiger Syst. Appl.* **2013**, *40*, 4785–4790. [Querverweis]
35. Cimren, E.; Fiksel, J.; Posner, M.E.; Sikdar, K. Optimierung des Materialflusses in Synergienetzwerken für Nebenprodukte. *J. Ind. Ecol.* **2011**, *15*, 165–335. [Querverweis]
36. Delgado Sobrino, D.R.; Rychtárik, V.; Caganová, D. Design von digitalen Zwillingen auf der Ebene des Materialflusses. *J. Phys. Conf. Ser.* **2022**, *2212*, 012012. [Querverweis]
37. Müller, M.; Mielke, J.; Pawlowskij, J.; Pape, A.; Masik, S.; Reggelin, T.; Häberer, S. Echtzeit-Kombination aus Materialflusssimulation, digitalen Zwillingen von Fertigungszellen, einem FTS und einer Mixed-Reality-Anwendung. *Procedia CIRP* **2021**, *104*, 1607–1612. [Querverweis]
38. Pekarcíková, M.; Trebuna, P.; Kliment, M.; Rosocha, L. Optimierung des Materialflusses durch Simulation des E-Kanban-Systems. *Int. J. Simultan. Modell.* **2020**, *19*, 243–254. [Querverweis]
39. Schmidt, M.; Nakajima, M. Materialflusskostenrechnung als Ansatz zur Verbesserung der Ressourceneffizienz in produzierenden Unternehmen. *Ressourcen* **2013**, *2*, 358–369. [Querverweis]
40. Sallam, K.; Mohamed, M.; Wagdy, M.A. Internet der Dinge (IoT) im Supply Chain Management: Herausforderungen, Chancen und Best Practices. *Sustain. Mach. Intell. J.* **2023**, *2*, 1–32. [Querverweis]
41. Unnu, K.; Pazour, J.A.; Megahed, A.; Narayanaswami, C. Blockchain-fähige Lieferketten: Klassifizierung, Entscheidungsrahmen und Forschungsmöglichkeiten. Arbeitspapier. 2019. Online verfügbar: [https://www.researchgate.net/publication/339128835\\_Blockchain\\_Enabled\\_Supply\\_Chains\\_Classification\\_Decision\\_Framework\\_and\\_Research\\_Opportunities](https://www.researchgate.net/publication/339128835_Blockchain_Enabled_Supply_Chains_Classification_Decision_Framework_and_Research_Opportunities) (abgerufen am 5. März 2025).
42. Mashayekhy, Y.; Babaei, A.; Yuan, X.M.; Xue, A. Auswirkungen des Internets der Dinge (IoT) auf die Bestandsverwaltung: Eine Literaturübersicht. *Logistik* **2022**, *6*, 33. [Querverweis]
43. Huang, Y.; Ghadge, A.; Yates, N. Implementierung von digitalen Zwillingen in der Lebensmittelversorgungskette: Ein Überblick und konzeptioneller Rahmen. *Int. J. Prod. Res.* **2024**, *62*, 6400–6426. [Querverweis]
44. Zhang, S.; Yu, Q.; Wan, S.; Cao, H.; Huang, Y. Digitale Lieferkette: Literaturrecherche zu sieben verwandten Technologien. *Manuf. Rev.* **2024**, *11*, 1–17. [Querverweis]
45. Dutta, P.; Choi, T.M.; Somani, S.; Butala, R. Blockchain-Technologie in der Lieferkette: Anwendungen, Herausforderungen und Forschungsmöglichkeiten. *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.* **2020**, *142*, 102067. [Querverweis]
46. Hyršlová, J.; Palásek, J.; Vágner, M. Materialflusskostenrechnung (MFCA) – Werkzeug zur Optimierung von Produktionsprozessen in Unternehmen. *Bus. Manag. Educ.* **2011**, *9*, 5–18. Online verfügbar: <https://www.cceol.com/search/article-detail?id=264406> (abgerufen am 20. Januar 2025). [Querverweis]
47. Krolczyk, J.B.; Krolczyk, G.; Legutko, S.; Napiorkowski, J.; Hloch, S.; Foltys, J.; Tama, E. Materialflussoptimierung – Eine Fallstudie aus der Automobilindustrie. *Tech. Vjestn.* **2015**, *22*, 1447–1456. [Querverweis]
48. Vergara, F.E.; Khouja, M.; Michalewicz, Z. Ein evolutionärer Algorithmus zur Optimierung des Materialflusses in Lieferketten. *Comput. Ind. Eng.* **2002**, *43*, 407–421. [Querverweis]
49. Hudec, J.; Šarkan, B.; Czodřová, R.; Caban, J.; Drozdziel, P. Die Auswirkungen der technischen Unterwegskontrollen auf die Transport- und Logistiksysteme in der Slowakischen Republik. *Verkehrsprobleme* **2022**, *17*, 61–73. [Querverweis]
50. CIE Pilsen. Wirtschaftsingenieurwesen Pilsen. CIE BERATUNG. 2019. Online verfügbar: [https://cie-group.cz/?page\\_id=234](https://cie-group.cz/?page_id=234) (abgerufen am 2. Februar 2025).
51. Ružičková, P. *Finanzanalyse*, 7. Aufl.; GRADA Verlag: Prag, Tschechische Republik, 2011; 172 Seiten.
52. Kubasakova, I.; Kampf, R.; Stopka, O. Logistik Informations- und Kommunikationstechnologie. *Univ. Žilina* **2014**, *16*, 9–13. [Querverweis]
53. Kurzy.cz. Aktueller Benzinpreis, Dieselpreis. 2025. Online verfügbar: <https://www.kurzy.cz/komodity/benzin-nafta-cena/> (abgerufen am 11. Februar 2025).

**Haftungsausschluss/Anmerkung des Herausgebers:** Die in allen Publikationen enthaltenen Aussagen, Meinungen und Daten sind ausschließlich die des jeweiligen Autors und Mitwirkenden und nicht die von MDPI und/oder dem/den Herausgeber. MDPI und/oder der/die Redakteur(e) lehnen die Verantwortung für Verletzungen von Personen oder Eigentum ab, die sich aus Ideen, Methoden, Anweisungen oder Produkten ergeben, auf die in den Inhalten Bezug genommen wird.

Dies war eine Übersetzung ins Deutsche des frei verfügbaren Fachartikels:

Original:

**„Material Flow Optimization as a Tool for Improving Logistics Processes in the Company“.**

Juraj Camaj, Zdenka Bulková \* and Jozef Gašparík.

**Verfügbar unter** (Stand 23.6.2025):

<https://www.mdpi.com/2076-3417/15/6/3116>

Dies ist eine nicht offizielle deutsche Übersetzung des Originals durch:

Markus Bans

ATS Prozessoptimierung Markus Bans

Web: <https://simio-simulation.de>

**Lizenz:**

Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)

S. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>