

Bewegungsdaten als Planungsgrundlage – Analyse der Anwendungsmöglichkeiten zur Auslegung intralogistischer Systeme und Prozesse

Motion data as a basis for planning – Analysis of application possibilities in the design of intralogistics systems and processes

Luisa Elke¹
Christina Braun¹
Alexander Krooß¹
Linda Maria Wings¹
Friedrich Niemann²
Veronika Kretschmer¹

¹Intralogistik und -IT Planung
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML)
²Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen (FLW)
Technische Universität Dortmund

Intralogistische Planungsprojekte zeichnen sich durch eine Vielzahl planerischer Entscheidungen aus, die auf Grundlage einer zuvor erstellten Planungsdatenbasis getroffen werden. Die hierfür benötigten Rohdaten stammen in der Regel aus vorhandenen WMS oder ERP-Systemen und liegen in Form von Bestands-, Auftrags- oder Materialbewegungsdaten vor. Daten und Kennzahlen zu den manuellen Prozessen auf dem Shopfloor liegen nur in den seltensten Fällen vor, wodurch potenziell wichtige Informationen für Entscheidungsprozesse unzugänglich bleiben. Dieser Beitrag untersucht den Einsatz der Motion-Mining®-Technologie zur Erfassung und Analyse von Prozessdaten und diskutiert die Anwendungsmöglichkeiten dieser Technologie im Rahmen intralogistischer Planungsprojekte.

[Schlüsselwörter: Intralogistik, Lagerplanung, Prozesse, Datenanalyse, Bewegungsdaten]

The warehouse planning process is characterized by many planning decisions, which are made on the basis of a previously created planning data base. The raw data are typically derived from existing ERP systems or WMS and are presented in the form of inventory, order or material movement data. Data and metrics on manual shop floor processes are rarely available, leaving potentially important information out of reach for decision-making processes. This paper examines the use of Motion-Mining® to collect and analyze process data and discusses the applicability of this technology in the context of warehouse planning projects.

[Keywords: Intralogistics, warehouse planning, processes, data analysis, motion data]

1 EINLEITUNG

Die Auslegung von intralogistischen Systemen und Prozessen basiert auf einer Vielzahl von Daten, die für diesen Zweck aus IT-Systemen wie Enterprise Resource Planning (ERP) Systemen und Warehouse Management Systemen (WMS) bezogen oder durch Aufnahmen und Beobachtungen erhoben werden. Eine oft genannte Herausforderung im Kontext der Intralogistikplanung ist das zeitintensive Zusammentragen verlässlicher Daten bei gleichzeitiger Sicherstellung einer ausreichenden Qualität [1], [2], [3].

Die Analyse von manuellen Prozessen kann dabei durch die sensorgestützte Aufnahme von Bewegungen unterstützt werden, indem die Datengrundlage durch objektiv erhobene Daten ergänzt wird. Bisher werden diese Bewegungsdaten insbesondere zur Bewertung von Prozessen hinsichtlich ihrer Effizienz und Ergonomie genutzt, beispielsweise zur Analyse von körperlichen Belastungen der Mitarbeitenden oder der Auslastung bestimmter Lagerbereiche [4]. Ein Großteil der bisherigen Forschung zur Aufnahme menschlicher Bewegungen fokussiert sich auf die technischen Umsetzungsmöglichkeiten der Datenaufnahme [5], [6], wobei die Auswertung der Daten sowie die Ableitung von Optimierungspotenzialen daraus wenig Beachtung findet [7].

Dieser Beitrag betrachtet am Beispiel der Motion-Mining®-Technologie, inwieweit die Verwendung der sensorgestützten Aufnahmen von Bewegungsdaten die Auslegung von intralogistischen Systemen und Prozessen unterstützen kann. Dazu werden im Folgenden die intralogistische Planung, das Standardvorgehen bei dieser, die eingesetzte Planungsbasis sowie Methoden zur Erfassung manueller Tätigkeiten vorgestellt. Nachfolgend wird das

methodische Vorgehen der Bewertung des Einsatzes der Motion-Mining®-Technologie für die Intralogistikplanung inklusive des verwendeten Datensatzes beschrieben. Nachdem die Daten und Kennzahlen, die Motion-Mining® liefern kann, vorgestellt wurden, wird der Einsatz der Technologie in der Planung diskutiert. Um sich von der bisherigen Forschung abzugrenzen, wird der Fokus explizit nicht auf ergonomische Aspekte der Intralogistikplanung gelegt.

2 LITERATURÜBERSICHT

Um der hohen Komplexität des intralogistischen Planungsprozesses zu begegnen, werden im Folgenden eine Möglichkeit zur systematischen Klassifizierung von intralogistischen Planungsarten (Kapitel 2.1) sowie ein ausgewähltes Standardvorgehen (Kapitel 2.2) und die dafür notwendige Planungsdatenbasis (Kapitel 2.3) vorgestellt. Basierend auf dem Stand der Technik zur Erfassung manueller Tätigkeiten (Kapitel 2.4) wird die Motion-Mining®-Technologie als Methode zur objektiven Erfassung und Auswertung von Bewegungsdaten vorgestellt.

2.1 DIE INTRALOGISTISCHE PLANUNG

Unter Planung wird ein Prozess mit systematischer Vorgehensweise verstanden, um aus vielen Möglichkeiten, die passendste auszuwählen [3]. Im Planungsprozess finden die Ziele, die notwendige Handlungsschritte zur Zielerreichung und die Planungsgrundlagen Berücksichtigung [8]. Dabei haben die befristete Zeit und die vorgegebenen Kosten einen relevanten Einfluss. Die Planung kann als zielgerichtet, aktive Zukunftsgestaltung verstanden werden [9].

Die Planung im Kontext der Intralogistik lässt sich in vier verschiedene Arten unterteilen. In der **Erweiterungsplanung** werden existierenden Kapazitäten innerhalb der vorhandenen Gegebenheiten vergrößert. Eine **Umplanung** ähnelt dieser Planungsart, jedoch werden hier, im Gegensatz zu vorherigen, Kapazitäten auf neue Rahmenbedingungen angepasst. Die **Neuplanung** basiert auf einer leeren Fläche. Die letzte Planungsart ist die **Rationalisierungsplanung**, bei der vorhandene Kapazitäten auf momentane

betriebliche Gegebenheiten angepasst werden, was in der Regel unter hohem Zeitdruck geschieht. [8]

Darüber hinaus kann die Art der Planung nach der hierarchischen Ebene, die sie anspricht, unterschieden werden. Bei der **strategischen Planung** werden die Strategien bestimmter Geschäftsbereiche für einen längeren Zeitraum, etwa fünf bis zehn Jahre, festgelegt. Ein Beispiel hierfür ist die Entwicklung eines neuen Lagerstandortes. Die **taktische Planung**, beispielsweise die Umplanung von Lagerplätzen (z. B. Einführung einer ABC-Strukturierung), hat einen Zeithorizont von ein bis zwei Jahren. Der zeitliche Horizont bei der **operativen Planung** liegt bei bis zu einem Jahr. Hierbei kann es sich um die Umplanung eines Kommissionierprozesses handeln. [8]

2.2 DAS STANDARDVORGEHEN IN DER INTRALOGISTIKPLANUNG

In der Literatur sind verschiedene Herangehensweisen an eine Planung im Bereich der Intralogistik zu finden [9]. Oft zitierte Vorgehensweisen wurden von Gudehus [3] und Baker und Canessa [10] entwickelt. Auch die VDI 2498 gibt Vorschläge zur Herangehensweise an ein Intralogistikplanungsprojekt [11]. Das Grundprinzip lässt sich in den folgenden aufeinanderfolgenden Schritten zusammenfassen: Bestimmen des Ziels, Analyse des Ist-Zustandes, Definition des Soll-Zustandes und Ausführen des Soll-Zustandes.

Die in Abbildung 1 dargestellte 7-Stufen-Systematik von ten Hompel, Schmidt und Dregger [8], welche in Anlehnung an Jünemann [12] weiterentwickelt wurde, ist ein Beispiel für das Vorgehen in der intralogistischen Planung. Zu Beginn der Planung gilt es, die **Aufgabenstellung** herauszuarbeiten. Dazu werden Ziele, Prioritäten, Restriktionen, Detailtiefe und zu inkludierende Teilbereiche innerhalb des Unternehmens definiert. Darauf folgt die **Planungsdatenanalyse**, in der die benötigten Daten beschafft, aufbereitet, analysiert und als Kennzahlen zusammengefasst werden. Diese Stufe beinhaltet nicht nur die Betrachtung des Ist-Zustandes, sondern auch die Hochrechnung auf den Soll-Zustand. Anschließend werden **erste Soll-Prozessvarianten** entwickelt, welche in der nächsten Stufe um **Arbeitsmittelvarianten** ergänzt

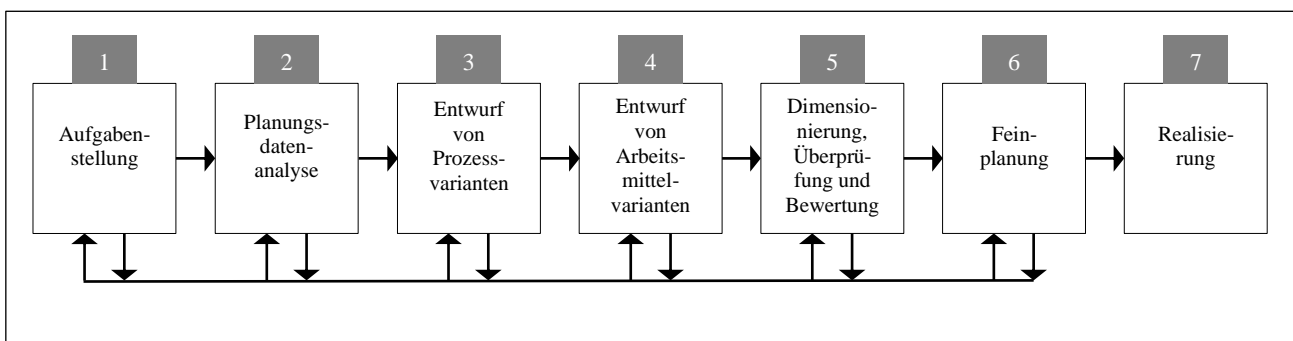


Abbildung 1. Materialfluss-Planungssystematik in Anlehnung an ten Hompel, Schmidt und Dregger [1]

werden. In Stufe 5 wird die beste Variante bestimmt. Für die zugrundeliegende **Bewertung** wird jede Variante dimensioniert, überprüft (z. B. durch eine Simulation) und die Anzahl der benötigten Arbeitsmittel festgelegt. Danach folgt die **Feinplanung**, in der die letzten Details geplant werden und schlussendlich die **Realisierung**. Zurückkehren und Wiederholen einzelner Stufen können zu jeder Zeit im Projekt sowohl sinnvoll als auch notwendig sein. [8]

2.3 DIE PLANUNGSDATENBASIS

Die Planungsgrundlage wird aus einer Vielzahl von Informationen über die Ist- und Soll-Situation gebildet. Dazu werden bereits vorliegende unternehmensinterne Dokumente (z. B. Gebäudepläne, Prozessbeschreibungen, Materialflussschaubilder und Schwachstellenberichte) und Kennzahlen zusammengetragen [3], [8], [12]. Sie haben ihren Ursprung in Elektronischen Datenverarbeitungssystemen (EDV), ERP-Systemen und WMS, Beobachtungen, Vermessungen sowie öffentlichen Datenbanken und beschreiben unter anderem die Funktion der Lagerbereiche, die Leistungsanforderung an die Systeme oder die Rahmenbedingungen der Planung [3], [12].

Die zugrundeliegenden Daten innerhalb der Planungsdatenbasis lassen sich in statische und dynamische Daten und Kennzahlen klassifizieren. **Statisch** bedeutet, dass die Werte über einen längeren Zeitrahmen hinweg konstant bleiben und unabhängig von Kundenaufträgen sind [8]. Ein Zusammenhang mit Aufträgen und/oder der Zeit weist auf **dynamische** Daten und Kennzahlen hin [2]. In Tabelle 1 und Tabelle 2 werden jeweils Beispiele – zusammengefasst in verschiedenen Kategorien – präsentiert. Bei den meisten der aufgeführten Daten und Kennzahlen ist eine Betrachtung der durchschnittlichen sowie maximalen Werte sinnvoll. Bei den dynamischen Werten sollte zusätzlich der zeitliche Verlauf einbezogen werden. Außerdem ist anzumerken, dass aus der Kombination zweier Kennzahlen weitere für die Planung relevante Kennzahlen gebildet werden können, zum Beispiel die Kennzahl „Aufträge/Funktionsbereich“ aus den Kategorien „Auftragsdaten“ und „Lager“.

Die für eine Planung zur Erreichung des Zielzustandes geeigneten und benötigten Datenbasis leiten sich aus der Aufgabenstellung, Stufe 1 der vorgestellten Systematik, ab. Selten sind alle aufgeführten Daten und Kennzahlen relevant oder benötigt. Darüber hinaus können noch weitere projektspezifische Anforderungen, wie z. B. solche an den Außenbereich, den Standort oder das Gebäude, benötigt werden [13]. Bei der Datenbeschaffung ist außerdem der Grundsatz zu beachten, dass „so wenig Planungsdaten wie möglich, [aber] [...] soviel wie unbedingt nötig“ verwendet werden [3, S. 84]

Tabelle 1. Statische Daten und Kennzahlen als Datenbasis für die Intralogistikplanung

Kategorie	Daten/Kennzahlen
Artikelstammdaten	Abmessungen, Gewicht, Artikelgruppen, Gefahrgutklassen, Verpackungsanforderungen, Saisonalität, Ladungsträger, Basismengeneinheit, Basismenge, etc.
Bestandsdaten	Mengen/Artikel, Bestand/Ladungsträgertyp, Lagerreichweite, Anzahl Ladungsträger/Artikel, ABC-Struktur, etc.
Lager	Art und Größe der Funktionsbereiche (Lagerbereiche, Verpackung, Retoure, Qualitätskontrolle, Ladebereiche, Büros, Sozialräume), Flächenrestriktionen, Ladungsträgertypen, Art und Anzahl Ladehilfsmittel, geforderte Prozesszeiten (z. B. aus Service-Level-Agreements), Anzahl Mitarbeitende, etc.
Kostendaten	Miete, Instandhaltung, Energie, Lohn, etc.

Eigene Darstellung, angelehnt an [3], [8], [13]

Tabelle 2. Dynamische Daten und Kennzahlen als Datenbasis für die Intralogistikplanung

Kategorie	Daten/Kennzahlen
Wareneingänge	Anzahl Ladungsträger, Maße Ladungsträger, Auslastung/Fahrzeugtyp, Beschaffenheit des Ladungsträgers, etc.
Warenausgänge	Anzahl Ladungsträger, Maße Ladungsträger, Volumen/Versandroute, Auslastung/Fahrzeugtyp, etc.
Auftragsdaten	Anzahl Kundenaufträge, bestellte Mengen, Anzahl Auftragspositionen, etc.
Lager	Ist-Prozesszeiten, Auslastung/Hilfsmittel, etc.

Eigene Darstellung, angelehnt an [3], [8], [13]

2.4 ERFASSUNG MANUELLER TÄTIGKEITEN

Die Erfassung der Dauer manuell durchgeführter Tätigkeiten bildet die Grundlage für die Planung, Steuerung und Analyse von Produktions- und Materialflusssystemen. Zeitdaten werden sowohl für die Terminplanung und -kontrolle, die Gestaltung von Arbeitsplätzen als auch die Erstellung von Simulationsmodellen für komplexe Systeme verwendet. Neben den reinen Zeit- und Mengendaten werden auch zeitbestimmende Einflussfaktoren in die Methoden der Zeitwirtschaft einbezogen. Diese Faktoren zeigen auf, unter welchen Bedingungen eine Tätigkeit durchgeführt wird oder werden soll und wie viel Zeit dafür erforderlich ist. [14], [15], [16]

Zu den etablierten Methoden zur Erfassung der Ist-Zeiten zählen unter anderem die Zeitstudie und die Multimomentaufnahme [17]. Die Zeitstudie, auch als Zeitaufnahme bekannt, gehört zur kontinuierlichen Beobachtung, während die Multimomentaufnahme zur Stichprobenbeobachtung zählt. Beide Methoden können entweder durch Fremd- oder Selbstaufschreibung durchgeführt werden [18]. In beiden Fällen werden die Daten durch den Menschen erfasst und ausgewertet. Aufgrund des hohen manuellen Aufwands werden in der Praxis kurze Zeiträume, von wenigen Mitarbeitenden erfasst. Anschließend werden diese Daten auf die gesamte Belegschaft angepasst und übertragen.

Um eine deutlich breitere Datenbasis zu erhalten sind automatisierte Lösungen für die Erfassung und Auswertung erforderlich. Sensorbasierte Ansätze in Verbindung mit KI-Methoden, wie der menschliche Aktivitätserkennung, aus dem Englischen Human Activity Recognition (HAR), ermöglicht die automatische Klassifikation manueller Tätigkeiten, um vordefinierte Aktivitäten in den Messwerten automatisch wiederzuerkennen und somit zeitlich zu ermitteln [19], [20], [21].

Motion-Mining[®] bietet eine derartige automatisierte Lösung. Mittels inertialer Messeinheiten, die Beschleunigungssensoren und Gyroskope enthalten, werden die Bewegungen von Menschen und Objekten, wie etwa Kommissionierwagen, automatisch erfasst. Die Auswertung der Bewegungsdaten zu Aktivitäten erfolgt durch KI-Methoden ebenso automatisiert. Um die erkannten Bewegungen bestimmten Bereichen im Lager zuordnen zu können, wird das System durch Bluetooth-Low-Energy-Geräte, sogenannte Beacons, erweitert. Anhand der erfassten Signalstärken der Beacons und mittels eines globalen Zeitstempels können Menschen sowie Objekten die erkannten Aktivitäten in vordefinierten Bereichen zugeordnet werden. [22]

Für die Datenaufnahme mit Motion-Mining[®] sowie die Datenauswertung sind einige vorbereitende Schritte erforderlich. Zuerst wird ein Layout des Bereiches, in dem die Datenaufnahme stattfindet, erstellt. Anschließend werden die für die Datenauswertung relevanten Bereiche innerhalb des Layouts definiert. Es folgt die Ausrüstung der definierten (Lager-)Bereiche und Hilfsmittel mit den Beacons sowie die Kalibrierung dieser. Vor Beginn der Aufnahme legen die Personen, dessen Bewegungen analysiert werden sollen, Sensoren an Handgelenken und Hüfte an. Die aufgenommenen Daten werden nach Ablegen der Sensoren zur Auswertung übermittelt. Dafür müssen in der Auswertungsplattform Prozesse definiert und den zuvor festgelegten Bereichen im Layout zugeordnet werden.

3 METHODE

Im Folgenden wird beschrieben, welche Herangehensweise und welcher Fokus bei der Analyse der Anwen-

dungsmöglichkeiten zur Auslegung intralogistischer Systeme und Prozesse gewählt wurde (Kapitel 3.1). Als Grundlage für diese Betrachtung wurde ein bereits existierender Datensatz genutzt, welcher in Kapitel 3.2 genauer beschrieben wird.

3.1 VORGEHEN DER BEWERTUNG DER ANWENDUNG VON MOTION-MINING[®] IN DER INTRALOGISTIKPLANUNG

Die Bewertung wurde auf Basis von Expertenwissen in Bezug auf die Intralogistikplanung, die zugehörige Datenaufbereitung und Motion-Mining[®] durchgeführt. Dafür wurden Datenaufnahme und -auswertung mit Motion-Mining[®] beobachtet und durchgeführt. Die Bewertung hat einen starken Praxisbezug und analysiert welchen Mehrwert die Technologie in den einzelnen Phasen der 7-Stufen-Planungssystematik hat. Dabei werden alle drei Planungshierarchieebenen betrachtet. Als Benchmark wurde sowohl eine optimale Datengrundlage für eine intralogistische Planung als auch die optimale Durchführung der einzelnen Planungsstufen angesetzt. Die durch Motion-Mining[®] aufgenommenen Daten und gewonnenen Erkenntnisse wurden in Relation zu diesem Optimum bewertet, unter Einbezug von Erfahrungswissen. Damit kann die hier angewendete Methode als eine Anlehnung an und Kombination aus Benchmarking und Nutzwertanalyse betrachtet werden.

3.2 BESCHREIBUNG DES VERWENDETEN MOTION-MINING[®]-DATENSATZES

Zur Überprüfung der Einsatzmöglichkeiten der Motion-Mining[®]-Technologie für die Intralogistikplanung, wurde eine praxisnahe Kommissionierinfrastruktur gewählt. Hierzu dient das am Fraunhofer IML installierte Picking Lab, welches ein manuelles Fachbodenregal mit breitem Artikelspektrum und implementiertem WMS zur systemgestützten Kommissionierdurchführung umfasst. Die Forschungsinfrastruktur ist im Rahmen der Initiative Leistungszentrum Logistik & IT entstanden [23]. Abbildung 2 zeigt das Lagerlayout des Pickings Labs sowie die platzierten Beacons der Motion-Mining[®]-Technologie und definierten Zonen für die Datenauswertung.

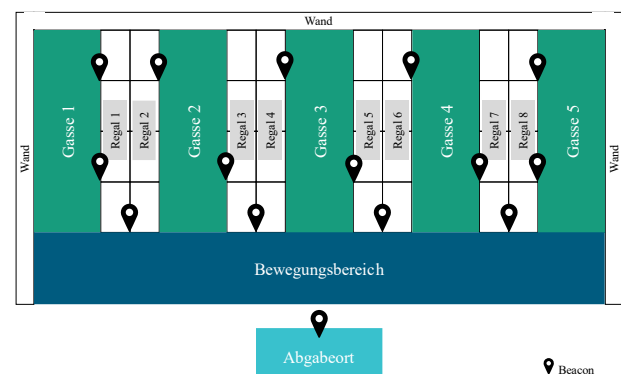


Abbildung 2. Lagerlayout des Picking Labs mit definierten Zonen und platzierten Beacons

Für die Analyse wurden Bewegungs- und Lokalisierungsdaten von Personen und Kommissionierwagen mit der Motion-Mining®-Technologie aufgenommen. Die Datenaufnahme konzentrierte sich auf die Simulation eines Kommissionierprozesses, der nach dem Person-zur-Ware Prinzip organisiert ist [4]. Der Prozessablauf ist durch die Kommissionieraufträge definiert, welche diverse Artikelpositionen beinhalten und Lagerplätze in unterschiedlichen Regalen ansteuern. Personen erhalten die Auftragsinformationen über ein Mobiles Datenerfassungsgerät aus dem WMS und werden im Prozess schrittweise angeleitet. Eine Variation der Artikel mit unterschiedlichen Artikelmerkmalen (z. B. Größe, Gewicht und Anzahl) und Lagerplatzmerkmalen (z. B. Lagerplatzhöhe und Regalreihe) hat Änderungen in der Handhabung und Prozessabwicklung zur Folge und trägt zu einer umfangreichen Datenbasis bei. Es wurden mehrere Aufträge kommissioniert, was ein Datenmaterial von 18 Minuten umfasst.

4 AUSWERTUNG DER MOTION-MINING®-DATEN FÜR DIE INTRALOGISTIKPLANUNG

In dem folgenden Kapitel wird zunächst vorgestellt, welche der für die in Kapitel 2.3 beschriebenen Planungsdatenbasis geeigneten Daten und Kennzahlen mit der Motion-Mining®-Technologie erhoben und ausgewertet werden können (Kapitel 4.1). Anschließend wird darauf eingegangen, welche zusätzlichen Daten und Kennzahlen Motion-Mining® liefern kann (Kapitel 4.2).

4.1 VERGLEICH DER MOTION-MINING®-DATEN MIT DER STANDARDPLANUNGSDATENBASIS

Wie bereits in Kapitel 2.4 beschrieben, werden durch die Motion-Mining®-Technologie zum einen Bewegungsdaten aufgenommen und zum anderen Daten zur Lokalisierung. Die aufgenommenen Rohdaten der Sensoren finden Einsatz für die Klassifizierung von Bewegungen. Die klassifizierten Bewegungen werden anschließend einer Aktivität zugeordnet und in den logistischen Zusammenhang gebracht [4]. Da es sich um Bewegungsdaten handelt, können nur dynamische Daten und Kennzahlen (siehe Tabelle 2) für die Intralogistik abgeleitet werden – für die Erhebung und Auswertung statischer Daten und Kennzahlen ist die Technologie nicht vorgesehen. Die Voraussetzung für die Ermittlung der Kennzahlen ist ein im Layout festgelegter Start- und Endpunkt eines jeden Prozesses, aus dem die Kennzahlen abgeleitet werden sollen.

Die in Tabelle 2 aufgeführten beispielhaften Daten und Kennzahlen für eine intralogistische Planung, die durch Motion-Mining® abgeleitet werden können, sind in Tabelle 3 kursiv markiert. Dabei sind einige Kennzahlen direkt aus den Daten herzuleiten, bei anderen müssen verschiedene Anforderungen erfüllt und Annahmen getroffen werden. Im Fortfolgenden sind die durch Motion-Mining® ermittelbaren Kennzahlen je Kategorie genauer beschrieben. In den Bereichen der Warenein- und -ausgänge sind

durch Motion-Mining® die Anzahl der Ladungsträger ermittelbar. Dafür wird die Annahme getroffen, dass innerhalb eines Prozessdurchlaufes eine bekannte und konstant gleiche Anzahl an Ladungsträger gehandhabt wird.

Eine mit Motion-Mining® ermittelbare Kennzahl im Zusammenhang der Auftragsdaten ist die Anzahl der abgearbeiteten Kundenaufträge. Diese lässt sich durch die Anzahl der Kommissionierprozesse herausfinden. Dafür ist es notwendig, dass die kommissionierende Person eine bekannte und gleichbleibende Anzahl an Aufträgen pro Prozess bearbeitet. Eine weitere Kennzahl ist die Anzahl der Auftragspositionen. Dafür müssen die Anzahl der Handhabungen gezählt und folgende Annahmen getroffen werden: Die Mindestdauer der Aktivitätsausführungen muss festgelegt sein und nur die Regionen, die den Lagerbereich abdecken, betrachtet werden. Zwischen den einzelnen Handhabungen muss eine andere Aktivität stattfinden. Unter der weiteren Annahme, dass die Mitarbeitenden die Hände nur zum Kommissionieren nutzt und die Handhabung die eingestellte Aktivitätsdauer beträgt, lässt sich die Anzahl der Handhabungen ermitteln.

Auch im Lagerbereich gibt es Kennzahlen, die durch Motion-Mining® herausgefunden werden können. Durch die an den Ladehilfsmitteln angebrachte Sensoren kann gemessen werden, wann sich die Mitarbeitenden in unmittelbarer Nähe von Ladehilfsmitteln befinden. Dadurch ist die durchschnittliche Auslastung der Ladehilfsmittel berechenbar. Eine weitere Kennzahl ist die Dauer von verschiedenen Prozessen. Da jeder Vorgang, der mit der Technologie aufgenommen werden soll, einen definierten Start- und Endpunkt im Layout haben muss, lassen sich nur Prozesszeiten, die diese Anforderungen erfüllen, durch Motion-Mining® errechnen.

Tabelle 3. *Dynamische Daten und Kennzahlen mit Kennzeichnung der für Motion-Mining® aufnehmbare Daten und Kennzahlen*

Kategorie	Daten/Kennzahlen
Wareneingänge	<i>Anzahl Ladungsträger, Maße Ladungsträger, Auslastung/Fahrzeugtyp, Beschaffenheit des Ladungsträgers, etc.</i>
Warenausgänge	<i>Anzahl Ladungsträger, Maße Ladungsträger, Volumen/Versandroute, Auslastung/Fahrzeugtyp, etc.</i>
Auftragsdaten	<i>Anzahl Kundenaufträgen, bestellte Mengen, Anzahl Auftragspositionen, etc.</i>
Lager	<i>Ist-Prozesszeiten, Auslastung/Hilfsmittel, etc.</i>

Eigene Darstellung, angelehnt an [3], [8], [13]

4.2 ERWEITERUNG DER STANDARDPLANUNGS-DATENBASIS DURCH MOTION-MINING®-DATEN

Mit der Motion-Mining®-Technologie lassen sich über die in Kapitel 2.3 genannte Standardplanungsbasis hinaus noch weitere Kennzahlen berechnen. Die mit Motion-Mining® erhobenen Daten stellen einen Zusammenhang zwischen Ort bzw. Region, Zeit und Bewegungsart her, der für verschiedene Analysen genutzt werden kann und standardmäßig nicht für die intralogistische Planung zur Verfügung steht. Diese Zusammenhänge können als absolute oder relative Werte dargestellt werden. Beispiele hierfür sind die Geschwindigkeiten von Ladehilfsmitteln oder Personen in verschiedenen Regionen, in welchen Bereichen anteilmäßig häufiger gegangen oder gehandhabt wird oder welche Regionen mit welcher Häufigkeit betreten werden. Außerdem lässt sich die durchschnittliche zurückgelegte Distanz von kommissionierenden Personen herausfinden. Die Auswertungen der Plattform können in verschiedenen anschaulichen Grafiken wie beispielsweise Heatmaps dargestellt werden.

5 DISKUSSION

In diesem Kapitel wird die Anwendbarkeit der Motion-Mining®-Technologie in der intralogistischen Planung diskutiert und bezogen auf die 7-Stufen-Systematik (siehe Abbildung 1) bewertet.

5.1 MOTION-MINING® IN DER INTRALOGISTIKPLANUNG

Im Folgenden wird der Einsatz der Motion-Mining®-Technologie für die in Kapitel 2.2 beschriebenen sieben Stufen der Intralogistikplanung beschrieben. Generell ist der Einsatz von Motion-Mining® in allen Stufen der Systematik denkbar. Allerdings ist die Einsetzbarkeit in den Stufen nicht über alle Planungshierarchieebenen konsistent.

5.1.1 STUFE 1: AUFGABENSTELLUNG

Besonders in der operativen Planung kann Motion-Mining® bei der Definition der Aufgabenstellung unterstützen. Mit Hilfe der Auswertungen und Visualisierungen kann die logistische Problemstellung identifiziert bzw. spezifiziert werden. Somit lässt sich besonders das Ziel und die Detailtiefe, beides wichtige Bestandteile der ersten Stufe, genauer beschreiben. Ein Beispiel für ein Szenario, in dem die Technologie eingesetzt werden kann, ist die Beobachtung der Mitarbeitenden, dass es innerhalb eines Kommissionierprozesses immer wieder zu Wartezeiten kommt. Mit Hilfe von Motion-Mining® kann, neben der Dauer der Wartezeiten, auch aufgezeigt werden, bei welcher Aktivität oder in welchem Bereich die Wartezeiten anfallen. So kann die Aufgabenstellung zum Beispiel von „Wartezeiten reduzieren“ zu „Wartezeiten im Bereich der ersten Gasse reduzieren“ präzisiert werden. Außerdem lassen sich die Auswertungen aus den Motion-Mining®-Daten einsetzen, um

zum Beispiel externen Planern und Vorgesetzten, die Problemstellung effizient zu kommunizieren.

5.1.2 STUFE 2: PLANUNGSDATENANALYSE

Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, besteht die Planungsdatenbasis in allen drei Planungshierarchieebenen aus einer Vielzahl verschiedener Dokumente und Daten. Die Motion-Mining®-Technologie kann hier durch die aufgenommenen Daten neue Einsichten liefern. Von den insgesamt sieben Kategorien, die in Kapitel 2.3 vorgestellt werden, sind in vier Kategorien ausgewählte Kennzahlen und Daten wiederzufinden, die durch Motion-Mining® aufgenommen werden können. Dabei werden dynamische, aber keine statischen Daten und Kennzahlen abgebildet. Beispiele für diese wurden in Kapitel 4.1 gegeben und sind: die Anzahl der bewegten Ladungsträger im Warenein- und -ausgang und die Anzahl der abgearbeiteten Kundenaufträge und Auftragspositionen. Außerdem lassen sich Prozesszeiten und die Auslastung der Hilfsmittel auswerten.

Die Motion-Mining®-Technologie erweitert die Planungsbasis um Daten und Kennzahlen, die in der der Literatur nicht als üblicherweise gefordert erwähnt werden, aber dennoch in der intralogistischen Planung Einsatz finden können. Darunter fallen z. B. relative Häufigkeit von Tätigkeiten in bestimmten Regionen und zurückgelegte Distanzen von Personen, siehe Kapitel 4.2.

Der empfohlene Zeithorizont für eine Daten Aufnahme mit Motion-Mining® liegt bei zehn Arbeitstagen. In der operativen Planung, bei welcher der Analysefokus auf einigen ausgewählten Tagen liegen kann, liefert Motion-Mining® eine Datengrundlage, die unter anderem eine sekundengenaue Betrachtung ermöglicht. Darüber hinaus sind in dieser hierarchischen Planungsebene auch die Dauer von Prozessen von Bedeutung. Diese lassen sich mit Motion-Mining® objektiv, anonymisiert, für mehrere Mitarbeitende gleichzeitig und mit einer großen räumlichen Spannweite aufnehmen [7]. Die Motion-Mining®-Daten haben hier gegenüber anderen Datenquellen einen Vorteil.

Als Vorbereitung für die Datenaufnahme müssen neben dem Erstellen der Layouts und dem Festlegen logistisch relevanter Bereiche, die aufzunehmenden Prozesse grob definiert werden, um eine spätere prozessbezogene Interpretation der Daten zu ermöglichen. So sind die Anwender dazu angehalten schon in einer frühen Phase des Projekts sich mit ihren Prozessen im Detail auseinander zu setzen, um so ein klareres Verständnis der Ist-Situation zu erhalten, welches eine fundamentale Voraussetzung für die Definition der Soll-Situation darstellt. Somit kann ein fundiertes Ist-Prozessverständnis zu einer höheren Planungsqualität beitragen.

5.1.3 STUFE 3, 4 UND 5: ENTWURF VON PROZESSVARIANTEN; ENTWURF VON ARBEITSMITTELVARIANTEN UND DIMENSIONIERUNG, ÜBERPRÜFUNG UND BEWERTUNG

Die Stufen 3, 4 und 5 werden nachfolgend zusammengefasst betrachtet, da sie alle im Kern das Ableiten konzeptioneller Prozess- und Technikvarianten umfassen. In der strategischen Planung werden diese Planungsphasen häufig auch als Konzeptplanung bezeichnet.

In allen drei Planungshierarchien werden Entscheidungen in Bezug auf die Prozessgestaltung und die eingesetzten Hilfsmittel regelmäßig auf Basis qualitativer bzw. subjektiver Kriterien getroffen. Bei der Erhöhung des Grades an Objektivität können die Kennzahlen und Daten, die sich aus der Motion-Mining[®]-Technologie ableiten lassen, unterstützen. Die Technologie hat das Potenzial, bisherige Messungen subjektiver Beobachtungen zu z. B. täglichen Laufwegen und der Häufigkeit der Betretung definierter Bereiche digitalisiert werden. Diese objektiv erhobenen Daten und Kennzahlen ergänzen den Entscheidungsprozess zur Auswahl einer der entwickelten Varianten um wertvolle Informationen. Ein Beispiel aus der taktischen oder strategischen Planung ist die Automatisierung eines Transportprozesses. Mit Hilfe von Motion-Mining[®] kann erhoben werden welche Strecke die Mitarbeitenden für den manuellen Ist-Transportprozess zurücklegen. Außerdem kann ermittelt werden welchen Anteil ihrer Arbeitszeit auf diesen fällt. So kann für die Entscheidung über die Gestaltung des zukünftigen Transportprozesses eine objektive Datenbasis geschaffen werden. Weitere entscheidungsrelevante Kriterien können z. B. der personelle sowie ökonomische Aufwand, der Umsetzungszeitraum und die IT-Anforderungen der einzelnen Varianten sein.

Außerdem kann die Motion-Mining[®]-Technologie genutzt werden, um die geplanten Soll-Prozesse abzubilden und zu analysieren. Der Einsatz kann vor allem sinnvoll sein, wenn es sich um eine operative Planung – wie die Optimierung eines bestimmten Prozesses – handelt. Beispielsweise könnte hier ein Prozess mit zwei verschiedenen Kommissionierfahrzeugen durchgeführt werden. Die Auswertung der Motion-Mining[®]-Daten kann Einsicht geben, in welcher Prozessvariante es zu kürzeren Prozesszeiten, weniger Wartezeiten und eine gleichmäßigere Auslastung der Funktionsbereiche kommt [8].

5.1.4 STUFE 6: FEINPLANUNG

In der strategischen Planung ist ein Einsatz der Motion-Mining[®]-Technologie, in einem ähnlichen Szenario wie im vorherigen Unterkapitel beschrieben, denkbar. Hier steht die Ermittlung der einzusetzenden Hilfsmittel im Fokus. Da das Arbeitsumfeld regelmäßig noch nicht existiert, muss dieses erst so weit wie möglich nachgestellt werden. Die Nachbildung des Arbeitsumfeldes zur Feinplanung der

Prozesse und eingesetzten Hilfsmittel mit Hilfe der Motion-Mining[®]-Technologie sollte zuvor unter ökonomischen Gesichtspunkten abgewogen werden.

5.1.5 STUFE 7: REALISIERUNG

Motion-Mining[®] kann einen entscheidenden Mehrwert in der Realisierung einer operativen Planung liefern. Ein Vergleich der durch den Einsatz der Technologie ermittelten Daten und Kennzahlen, die vor und nach der Projektumsetzung erhoben werden, ermöglicht eine datenbasierte, objektive und anschauliche Evaluierung des Projekterfolges. An dieser Stelle wird das Beispiel aus der ersten Stufe, die Reduzierung der Wartezeiten innerhalb einer Kommissionierprozesses, wieder aufgegriffen. Wurde in Stufe 1 beispielsweise der Anteil von Wartezeiten im Bereich der ersten Gasse als Tortendiagramm dargestellt, so kann diese Auswertung nach der Realisierung wiederholt werden. Ein Vergleich der Auswertung zu Planungsbeginn und – ende visualisiert den Projekterfolg.

5.2 GRENZEN VON MOTION-MINING[®] IN DER INTRALOGISTIKPLANUNG

Die Einsatzbarkeit der Motion-Mining[®]-Technologie in der intralogistischen Planung wird durch einige Faktoren limitiert. Zum einen müssen für die Auswertung und Verwendung der Daten Bedingungen erfüllt sein, die in ausgewählten Praxiskontexten nicht haltbar sind. Diese sind, wie in Kapitel 4.1 erläutert, ein räumlich fest definierter Start- und Endpunkt eines Prozesses sowie eine konstante Anzahl gehandhabter Ladungsträger und Aufträge je Prozessdurchlauf. Letzteres ist notwendig, da standardmäßig weder Auftragsdaten noch Stammdaten in der Motion-Mining[®]-Datenbank hinterlegt sind. Darüber hinaus müssen für bestimmte Auswertungen Annahmen getroffen werden, die von der Praxis abweichen und somit Ungenauigkeiten in den Auswertungen begünstigen können. Beispielsweise ist die Annahme, dass die Hände keine anderen Bewegungen als Kommissioniervorgänge durchführen, notwendig um die Picks pro Lagerbereich zu ermitteln. Kennzahlen und Daten, die auf solchen Annahmen beruhen, können zu Ungenauigkeiten führen. Innerhalb des Planungsprozesses ist abzuwägen, in welcher Planungsstufe eine solche Ungenauigkeit vernachlässigbar ist oder negative Auswirkung auf das Planungsergebnis hat.

Eine weitere Limitierung ergibt sich dadurch, dass der kleinste einzuteilende Bereich im Layout, und damit der Datenaufnahme, 2 m x 2 m ist. Generell gilt: Je größer die Fläche des Bereiches, der durch Motion-Mining[®] aufgezeichnet werden soll, desto besser eignet sich die Technologie [7]. Sind mehrere Regionen für die Auswertung definierbar, eignet sich der Prozess zur Aufnahme mit Motion-Mining[®]. Im Regelfall trifft dies auf Prozesse im Warenein- und -ausgang sowie bei der Person-zur-Ware (PzW) Kommissionierung zu. Bei der PzW Kommissionierung geht die kommissionierende Person zu dem Artikel, pickt ihn und legt ihn auf das Transportmittel. Bei diesem Vorgang kann

mit Motion-Mining[®] sowohl die Zeiten menschlicher Aktivitäten, wie beispielsweise Handhabung oder Gehen, also auch die des Einsatzes von Hilfsmitteln aufgenommen werden. Schlussfolgernd zeigt sich vor dem Hintergrund der technischen Voraussetzungen, dass Motion-Mining[®] weniger geeignet ist, für Prozesse wie die Waren-zur-Person Kommissionierung, die Qualitätssicherung oder Packprozesse.

Das in Kapitel 5.1.2 beschriebene Potenzial, dass der Prozess der Datenaufnahme mit Motion-Mining[®] für ein besseres Prozessverständnis sorgen kann, birgt auch gleichzeitig eine Herausforderung. Die Qualität der ausgewerteten Daten maßgeblich abhängig von einer guten Vorbereitung und damit verbunden einem tiefen Prozessverständnis. Ein falsches Verständnis über die tatsächlichen logistischen Abläufe können zu fehlerhaften Auswertungen führen, die im Nachgang nur schwer zu identifizieren sind.

Mit besonderem Fokus auf die Datenbasis einer strategischen und taktischen Planung ist festzuhalten, dass durch die Motion-Mining[®] aufgenommene Daten als digitale Ergänzung, aber selten als Ersatz zu den Standarddatenquellen zu sehen sind. Zu beachten ist hier der Grundsatz, dass nur so viele Daten wie notwendig in der Planung einzusetzen sind [3].

Besonders in den zuvor genannten Planungshierarchien kann der zeitliche Verlauf einiger Kennzahlen von Relevanz sein. Der dabei empfohlene Zeitrahmen beträgt mehrere Monate bis wenige Jahre. Durch Motion-Mining[®] aufgenommene Daten werden in der Regel nicht über einen vergleichbaren Zeitraum erhoben und finden daher für diese Anwendung einen limitierten Einsatz.

In allen drei Planungshierarchieebenen, besonders aber in der strategischen und taktischen Planung, kann die Verwendung von Motion-Mining[®]-Daten in Anbetracht der Ressourceneffizienz nur dann sinnvoll sein, wenn diese Daten für andere Fragestellungen schon erhoben wurden. Es existieren regelmäßig andere Quellen und Methoden, die genauer auf das Planungsziel zugeschnitten sind, und somit weniger personellen und ökonomischem Aufwand erzeugen.

6 FAZIT

Mit der Motion-Mining[®]-Technologie lassen sich eine Vielzahl prozessbezogener Daten und Kennzahlen aufnehmen. In diesem Paper wurden die Einsatzmöglichkeiten der Motion-Mining[®]-Technologie in den drei Planungshierarchieebenen am Beispiel der 7-Stufen-Planungssystematik von ten Hompel, Schmidt und Dregger betrachtet [8]. Die Ergebnisse zeigen, dass die mit Motion-Mining[®] aufgenommenen Daten die Planungsdatenbasis (Stufe 2) um dynamische Daten und Kennwerte anreichern. Sie haben das Potenzial, bisher subjektive Beobachtungen um objektive

Daten zu ergänzen. Darüber hinaus kann die Technologie Daten liefern, die in den Standarddatenquellen eines Unternehmens, wie ERP-Systemen und WMS, nicht erfasst werden können. Der Einsatz der mit Motion-Mining[®] aufgenommenen Daten in der zweiten Stufe, kann sich auch auf die nachgelagerten Planungsstufen auswirken. Die durch Motion-Mining[®] angereicherte Datenbasis kann dynamische Daten und Kennzahlen zur Verfügung stellen, die spätere Betrachtungen und Entscheidungen vereinfachen, objektivieren oder überhaupt erst ermöglichen. Im Kontext der Intralogistikplanung ist hierbei zu berücksichtigen, dass die Technologie zwar in allen der drei betrachteten Planungshierarchieebenen eine sinnvolle Ergänzung darstellt, aber nur in wenigen ausgewählten Praxisbeispielen ganze Planungsstufen erfüllt und somit aktuell keine allumfassende Lösung für die Planung bietet. Dies ist vor allem darin begründet, dass die erhobenen Daten sich auf dynamische Daten beschränken. Regelmäßig sind für den Planungsprozess auch statische Daten in Betracht zu ziehen. Konkret kann für die einzelnen Planungshierarchien festgehalten werden, dass in der operativen Intralogistikplanung die Technologie in allen Stufen Einsatz finden kann. Der Einsatz in der strategischen Planung beschränkt sich auf Stufe 2 (Planungsdatenanalyse) und Stufe 6 (Feinplanung). In der taktischen Planung kann die Technologie vor allem in der zweiten Stufe Einsatz finden.

Weiteres Potenzial für den Einsatz der Motion-Mining[®]-Technologie in der Intralogistikplanung, dass hier nicht bewertet wurde, liegt in einer tiefergehenden Betrachtung der durch die Sensoren aufgenommenen Rohdaten. Darüber hinaus können die Daten, die durch Motion-Mining[®] geliefert werden, durch die Anbindung eines WMS an die Technologie zu einer erweiterten Datenbasis führen. Damit könnten die Motion-Mining[®] Auswertung z. B. auf statische oder Auftragsdaten zugreifen. Auch dieser Mehrwert für die Intralogistikplanung sollte in einer weiteren Betrachtung analysiert werden.

LITERATUR

- [1] S. Schieweck, G. Kern-Isberner und M. ten Hompel, „Planung von Intralogistiksystemen mit Hilfe von Antwortmengenprogrammierung“, *Logistics Journal : Proceedings*, Jg. 2017, Nr. 10, 2017, doi: 10.2195/lj_Proc_schieweck_de_201710_01.
- [2] A. Glanzer, A. Krooß und S. Schlund, „Data-Driven Warehouse Planning - Stakeholder Requirements for Planning Automation“, 2024.
- [3] T. Gudehus, *Logistik: Grundlagen - Strategien - Anwendungen*, 4. Aufl. Berlin: Springer, 2010. [Online]. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-89389-9>
- [4] S. Feldhorst und M. ten Hompel, „Bewegungsklassifikation mithilfe mobiler Sensoren“, *Logistics Journal : Proceedings*, Jg. 2016, Nr. 05, 2016, doi: 10.2195/lj_Proc_feldhorst_de_201605_01.
- [5] S. Q. D. Al-Zubaidi, E. Coli und G. Fantoni, „Automating Production Process Data Acquisition Towards Spaghetti Chart 4.0“, *International Journal of Industrial*, Jg. 13, Nr. 3, S. 145–158, doi: 10.24867/IJIEEM-2022-3-308.
- [6] M. Uddin, A. Gupta, K. Maly, T. Nadeem, S. Goudambe und A. Zaritsky, „SmartSpaghetti: Use of smart devices to solve health care problems“ in *2013 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine*, S. 40–45, doi: 10.1109/BIBM.2013.6732598.
- [7] H. Appelhans, C. Feldmann und C. Borgmann, „Sensor-Based Analysis of Manual Processes in Production and Logistics: Motion-Mining versus Lean Tools“ in *Dynamics in Logistics: Proceedings of the 9th International Conference LDIC 2024, Bremen, Germany*, M. Freitag, A. Kinra, H. Kotzab und N. Megow, Hg., 1. Aufl., Cham: Springer, 2024, S. 235–248, doi: 10.1007/978-3-031-56826-8_18.
- [8] M. ten Hompel, T. Schmidt und J. Dregger, *Materialflusssysteme: Förder- und Lagertechnik*, 4. Aufl. Berlin: Springer Vieweg, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-56181-2>
- [9] M. Schmidt, *Distribution Center Design Process - Ein systemtechnikorientiertes Vorgehensmodell zur Konzeptplanung von Logistikzentren*, 1. Aufl. Dortmund: Praxiswissen, 2018.
- [10] P. Baker und M. Canessa, „Warehouse design: A structured approach“, *European Journal of Operational Research*, Jg. 193, Nr. 2, S. 425–436, 2009, doi: 10.1016/j.ejor.2007.11.045.
- [11] VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., *Vorgehen bei einer Materialflussplanung*. Berlin: Beuth, 2015.
- [12] H. Martin, *Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik*, 6. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2006.
- [13] A. Rushton, P. Baker und P. Croucher, *The Handbook of Logistics and Distribution Management: Understanding the Supply Chain*, 5. Aufl. London: Kogan Page, 2014.
- [14] O. Erohin, *Wissensgewinnung durch Datenanalyse zur prospektiven Zeitermittlung*. Aachen: Shaker, 2017. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.shaker.de/de/site/content/shop/index.asp?lang=de&ID=8&ISBN=978-3-8440-5060-8>
- [15] B. Lotter, J. Deuse und E. Lotter, *Die Primäre Produktion: Ein praktischer Leitfaden zur verlustfreien Wertschöpfung*, 1. Aufl. Berlin: Springer Vieweg, 2016. [Online]. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-53212-6>
- [16] C. Schlick, R. Bruder und H. Luczak, Hg., *Arbeitswissenschaft*, 4. Aufl. Berlin: Springer Vieweg, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-56037-2>
- [17] REFA Fachverband e.V., *Datenermittlung: Methodenlehre der Betriebsorganisation*, 1. Aufl. Carl Hanser, 1997.
- [18] REFA Fachverband e.V., *REFA-Grundausbildung 4.0 - Begriffe und Formeln*. Carl Hanser, 2021.
- [19] M. Rimbeck, J. Wähling und J. Stumpf-Wollersheim, „Anwendung von Human Activity Recognition im Unternehmenskontext – Ein Konzept für die Zukunft?“ in *Forum Dienstleistungsmanagement, Smart Services*, M. Bruhn und K. Hadwich, Hg., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2022, S. 459–478, doi: 10.1007/978-3-658-37344-3_15.
- [20] M. A. R. Ahad, A. D. Antar und M. Ahmed, *IoT Sensor-Based Activity Recognition: Human Activity Recognition*, 1. Aufl. Cham: Springer, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-51379-5>

- [21] C. Chen, R. Jafari und N. Kehtarnavaz, „A survey of depth and inertial sensor fusion for human action recognition“, *Multimed Tools Appl*, Jg. 76, Nr. 3, S. 4405–4425, 2017, doi: 10.1007/s11042-015-3177-1.
- [22] S. Feldhorst und M. ten Hompel, *Automatische Aktivitäts- und Kontexterkenkung zur Analyse des Kommissionierprozesses*. Dortmund: Praxiswissen Service, 2018.
- [23] V. Kretschmer, L. M. Wings und S. Kinne, „Das Picking Lab – Technologie, Transfer und Training für die Kommissionierung“, *69. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (GfA) 2022 – Nachhaltig Arbeiten und Lernen - Analyse und Gestaltung lernförderlicher und nachhaltiger Arbeitssysteme und Arbeits- und Lernprozesse*, S. 1, 2022.

Luisa Elke, M.Sc., Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) in der Abteilung Intralogistik und -IT Planung

Christina Braun, M.Sc., Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) in der Abteilung Intralogistik und -IT Planung

Alexander Krooß, M.Sc., Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) in der Abteilung Intralogistik und -IT Planung

Linda Maria Wings, M.Sc., Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) in der Abteilung Intralogistik und -IT Planung

Friedrich Niemann, M.Sc., wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen (FLW) der Technischen Universität Dortmund

Dr. Veronika Kretschmer, Senior Scientist and Scientific Board Member am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) in der Abteilung Intralogistik und -IT Planung