

Intralogistik

Johannes Fottner · Stefan Galka
Sebastian Habenicht · Eva Klenk
Ingolf Meinhardt · Thorsten Schmidt

Planung von innerbetrieblichen Transportsystemen

Fahrzeugsysteme

Intralogistik

Die Buchreihe Intralogistik umfasst alle unternehmenseigenen Abläufe zur optimierten Projektumsetzung und/oder Produktherstellung. Der Materialfluss steht in der Reihe ebenso im Fokus wie zum Beispiel die innerbetrieblichen Transportsysteme und die Lagerlogistik. Die Schnittstellen zu den vor- und nachgelagerten Anbietern der Wertschöpfungskette werden aufgezeigt. Die Reihe richtet sich sowohl an die Ausbildung von Fachkräften als auch an den Praktiker, der eine Unterstützung für firmeninterne Logistikkdienste sucht. So ist gesichert, dass auch neue Entwicklungen für effizienzsteigernde und konkurrenzfähige Lösungen berücksichtigt werden.

Weitere Bände in der Reihe <https://link.springer.com/bookseries/7498>

Johannes Fottner • Stefan Galka
Sebastian Habenicht • Eva Klenk
Ingolf Meinhardt • Thorsten Schmidt

Planung von innerbetrieblichen Transportsystemen

Fahrzeugsysteme

Johannes Fottner
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss
Logistik
Technische Universität München
Garching bei München, Deutschland

Stefan Galka
Fakultät Maschinenbau
Ostbayerische Technische Hochschule
Regensburg
Regensburg, Deutschland

Sebastian Habenicht
München, Deutschland

Eva Klenk
Accenture GmbH
Würzburg, Deutschland

Ingolf Meinhardt
Institut für Technische Logistik und
Arbeitssysteme
Technische Universität Dresden
Dresden, Deutschland

Thorsten Schmidt
Institut für Technische Logistik und
Arbeitssysteme
Technische Universität Dresden
Dresden, Deutschland

ISSN 2945-7963
Intralogistik

ISSN 2945-7971 (electronic)

ISBN 978-3-662-63972-6

ISBN 978-3-662-63973-3 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-63973-3>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Axel Garbers

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Die Logistik ist ein alles Physische und seine Bewegung durchdringendes Prinzip. Sie ist zugleich Ausdruck des Strebens der Menschen, Dinge in Bewegung zu versetzen. Es ist die Aufgabe von Logistikerinnen und Logistikern, diese Bewegung sicher, nachhaltig und effizient zu planen. Die innerbetriebliche logistische Abwicklung – in Betriebsstätten wie Lägern und Produktionsstandorten – ist dabei unverzichtbarer Bestandteil und entscheidet über Erfolg oder Misserfolg.

Die in diesem Werk im Fokus stehenden Transportsysteme (Unstetigförderer) zeichnen sich durch ein hohes Maß an Flexibilität und Skalierbarkeit aus. Technologische Entwicklungen, nicht zuletzt aus dem Bereich Robotik und Fahrerlose Transportfahrzeuge, führen kontinuierlich zu einer weiteren Zunahme der Vielfalt technischer Lösungen und zu einer deutlichen Erweiterung der Lösungsräume. Diese dringen dabei immer stärker in Anwendungsszenarien vor, die durch ihre hohen Leistungsanforderungen bisher Stetigfördersystemen vorbehalten waren. Der klugen und passgenauen Gestaltung von innerbetrieblichen Transportsystemen als bewegende und bewegte Instanzen kommt folglich eine besondere Bedeutung zu.

Diese Gestaltungsaufgabe ist alles andere als trivial. Sie zeichnet sich in der Praxis häufig durch eine Vielzahl, zum Teil gegenläufiger oder unklarer Zielstellungen und eine nahezu unendliche Anzahl an Lösungsvarianten aus. Um möglichst gute Lösungen zu finden, besteht eine entscheidende Aufgabe systematischer Planung darin, die Gestaltungsaufgabe in Teilprobleme zu zerlegen, diese zu abstrahieren und zu modellieren.

Das vorliegende Werk ist dieser systematischen Planung innerbetrieblicher Transportsysteme gewidmet und zeigt zugleich viele Beispiele realisierter Systeme. Durch die in dieser Zusammenstellung und Tiefe erstmalige Aufbereitung, erhalten Planerinnen und Betreiber von Betriebsstätten fundierte Hilfestellung für die praktische Umsetzung. Studierenden wird ein gutes Studien- und Nachschlagewerk geboten.

Ich wünsche Ihnen Spaß beim Lesen und viel Erfolg bei der Anwendung!

Dortmund, Deutschland
Sommer 2021

Michael ten Hompel

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Elemente der innerbetrieblichen Transportsysteme	5
2.1	Grundbestandteile und -strukturen innerbetrieblicher Fahrzeugsysteme	6
2.1.1	Transportmittel	8
2.1.2	Transporteinheit	8
2.1.3	Wegenetz	9
2.1.4	Prozess	11
2.1.5	Steuerung	15
2.2	Gabelstaplersysteme	17
2.2.1	Transportmittel	18
2.2.2	Wegenetz	22
2.2.3	Prozess	23
2.2.4	Steuerung	23
2.3	Routenzugsysteme	25
2.3.1	Transportmittel	27
2.3.2	Wegenetz	30
2.3.3	Prozess	35
2.3.4	Steuerung	37
2.4	Fahrerlose Transportsysteme	41
2.4.1	Transportmittel	42
2.4.2	Wegenetz	49
2.4.3	Prozess	51
2.4.4	Steuerung	51
2.5	Elektrohängebahnen und Elektrobodenbahnen	52
2.5.1	Transportmittel	54
2.5.2	Wegenetz	58
2.5.3	Prozess	61
2.5.4	Steuerung	63
2.6	Zusammenfassung und Vergleich der Systeme	64
	Literatur	65

3	Gestaltungsprinzipien für innerbetriebliche Fahrzeugsysteme	67
3.1	Effektivität vor Effizienz	68
3.2	Durchgängige Prozess- und Flussorientierung	69
3.3	Technik, Prozess und Steuerung im Zusammenspiel	69
3.4	Langfristige Anpassbarkeit und Flexibilität	70
3.5	Robustheit im Umgang mit kurzfristigen Abweichungen, Fehlern und Störungen	71
3.6	Kontinuierliche Verbesserung, Standardisierung und Monitoring	72
3.7	Mitarbeiterorientierte Gestaltung	73
3.8	Nachhaltigkeit	74
3.9	Variantenprinzip und stufenweises Vorgehen	75
	Literatur	76
4	Allgemeine Grundlagen für die Planung von Transportsystemen	77
4.1	Materialflussdarstellung	78
4.2	Grundlagen der Datenanalyse	81
4.3	Bestimmung Arbeitsspiele und Spielzeiten	86
4.4	Bestimmung Wege	90
4.5	Bestimmung Fahrzeiten	100
4.6	Bestimmung Handhabungszeiten	106
4.7	Bestimmung Durchlaufzeiten und Puffergrößen	107
4.8	Verfügbarkeit	110
4.9	Bestimmung der Fahrzeuganzahl	115
	Literatur	119
5	Planung der innerbetrieblichen Transportsysteme	121
5.1	Planungsschritt 1: Festlegung der Ziele und Rahmenbedingungen der Planung	122
5.1.1	Allgemeine Grundlagen	122
5.1.2	Ziele festlegen	124
5.1.3	Randbedingungen der Planung ermitteln	126
5.2	Planungsschritt 2: Anforderungsanalyse	128
5.2.1	Allgemeine Grundlagen	128
5.2.2	Transportaufgabe definieren	130
5.2.3	Datenerhebung planen und durchführen	131
5.2.4	Ist-Daten-Analyse durchführen	132
5.2.5	Plandaten bestimmen	133
5.2.6	Fallbeispiel	135
5.3	Planungsschritt 3: Grobkonzepte und Planungsvarianten	140
5.3.1	Kriterien zur Transportsystemauswahl	141
5.3.2	Bildung von Planungsvarianten für geeignete Transportsysteme	142
5.3.3	Grobe Bewertung der Planungsvarianten und Auswahl	144

5.4	Planungsschritt 4: Systemauslegung – Spezifische Methoden für einzelne Transportsysteme	145
5.4.1	Auslegung Gabelstaplersysteme	146
5.4.2	Auslegung Routenzugsysteme	157
5.4.3	Auslegung Fahrerlose Transportsysteme	173
5.4.4	Auslegung Elektro-Hängebahn	180
5.5	Planungsschritt 5: Bewertung und Entscheidung.	185
5.5.1	Monetäre Bewertung	186
5.5.2	Qualitative Bewertung	190
5.5.3	Risikobewertung/Szenarien	193
5.5.4	Zusammenführung Bewertung und Gesamtentscheidung	194
5.5.5	Fallbeispiel.	195
5.6	Planungsschritt 6: Realisierung	202
5.6.1	Allgemeine Grundlagen.	202
5.6.2	Ausschreibung	203
5.6.3	Inbetriebnahme	206
5.6.4	Abnahme	208
5.6.5	Betrieb und KVP	210
	Literatur.	211
6	Weitere Hilfsmittel und Tools zur Planungsunterstützung	213
6.1	Datenerhebung und -analyse	213
6.2	Plan- und Vorgabezeiten.	214
6.3	Simulation, Emulation und Visualisierung	220
6.4	Richtlinien	225
	Literatur.	226
	Literatur	227
	Stichwortverzeichnis	229

Abkürzungsverzeichnis

E/A-Punkt	Ein- und Auslagerungspunkt
EHB	Elektro-Hängebahn
ERP	Enterprise-Resource-Planning
FIFO	First-In-First-Out
FTF	Fahrerloses Transportfahrzeug
FTS	Fahrerloses Transportsystem
GLT	Großladungsträger
GST	Gabelstapler
HRL	Hochregallager
KLT	Kleinladungsträger
LPG	Autogas (von engl.: Liquefied Petroleum Gas)
MTM	Methods-Time Measurement,
QR	von „Quick Response“: zweidimensionaler Code
RZ	Routenzug bzw. Routenzugsystem
TMU	Time Measurement Unit
WMS	Warehouse Management System



Innerbetriebliche Transportsysteme werden eingesetzt, um innerhalb von Unternehmen, insbesondere innerhalb von Betriebsstätten (Lager, Produktion, Hallen, Werksgelände) eine Ortsveränderung von Objekten (Rohstoffe, Halbzeuge, Fertigwaren, Leerbehältern usw.) vorzunehmen. Dies erfolgt oftmals in Verbindung mit Aufgaben wie Sammeln, Verteilen, Sortieren, Lagern oder Puffern.

Das gilt für Warenverteilzentren mit überwiegender Lager- und Kommissionierfunktion genauso wie für produzierende Unternehmen, bei denen Produktionseinrichtungen, Montagelinien, Rohstoff- und Fertigwarenlager sowie Warenein- und -ausgang durch Transportsysteme miteinander verbunden sind. Dabei findet häufig ein Wechsel zwischen verschiedenen Transportmitteln statt, um angepasst an unterschiedliche Anforderungen (Transportmengen, -strecken) und Restriktionen (Baukörper, zu überbrückender Transportweg, Prozessintegration) die Vorzüge der unterschiedlichen Transportsysteme zu nutzen.

Das Angebot an technischen Lösungen für den innerbetrieblichen Guttransport ist außerordentlich vielfältig und erfordert eine Fokussierung auf eine sinnvolle Auswahl an Lösungen, die aufgrund ihrer Verbreitung eine repräsentative Rolle besitzen. Die in diesem Buch betrachtete Auswahl innerbetrieblicher Transportsysteme gehört nach üblicher Klassifizierung zu den sogenannten Unstetigförderern. Der Transportvorgang vollzieht sich in einzelnen Arbeitsspielen und ist gekennzeichnet durch den Wechsel von Last- und Leerfahrten sowie Stillstandszeiten für das Aufnehmen und Absetzen der Transportgüter. Sie können mit geeigneten Lastaufnahmemitteln für unterschiedliche Aufgabenstellungen eingesetzt werden. Die resultierende Transportleistung ist über die Fahrzeuganzahl skalierbar. Aufgrund der Verfahrbarekeit können üblicherweise größere Arbeitsräume als bei Stetigförderern abgedeckt werden.

Dieses Buch richtet sich vor allem an Anwender von innerbetrieblichen Transportsystemen. Das können sowohl *Systemplaner* als auch *Betreiber* sein. Systemplaner müssen in der Lage sein, entsprechende Transportsysteme zu *gestalten* und ausreichend zu *dimensionieren*, sodass aus den betrieblichen Leistungsanforderungen für die Prozessgestaltung abgeleitete Kennzahlen wie Durchsatz, Durchlaufzeit und Liefertreue erfüllt werden können. Dabei ist es wichtig, dass Planer auch einen kritischen Blick auf ihre Lösungen einnehmen und damit befähigt sind, Varianten hinsichtlich sowohl technischer als auch nicht-technischer Größen miteinander zu vergleichen und zu bewerten.

Die zweite Gruppe der hier angesprochenen Leserinnen und Leser sind Betreiber von Transportsystemen. Betreiber kennen sich insbesondere in den betrieblichen Abläufen, deren Zusammenhängen und der Beherrschung des Tagesgeschäfts bestens aus. Im Unterschied zu Systemplanern stehen sie vor der Situation, dass das Transportsystem bereits existiert, sich die Aufgabe des *Gestaltens* mehr auf einzelne Details beschränkt und dafür das korrekte *Dimensionieren*, das Feintuning, im Mittelpunkt steht. Entweder sind Probleme während des Betriebs aufgetreten, die zu fehlerhaften, anscheinend nicht optimalen Funktionsabläufen führen, oder die betrieblichen Prozesse und Transportmengen haben sich geändert, sodass Anpassungen oder Erweiterungen des Transportsystems erforderlich sind. Auf jeden Fall Grund genug, sich mit den Möglichkeiten zur Verbesserung, Optimierung oder Erweiterung des Transportsystems zu befassen. Das vorliegende Buch kann Betreibern dabei helfen, weil es in kompakter Form einzelne Transportsysteme beschreibt, die systemspezifische und aufgabenbezogene Dimensionierung vorstellt und anhand von Fallbeispielen deren Anwendung erläutert. Dabei werden wesentliche Methoden zusammenfassend dargestellt, die auch bei der kontinuierlichen Überprüfung, Verbesserung und Anpassung unterstützen können.

Das *Gestalten* innerbetrieblicher Transportsysteme umfasst das Auswählen aus den vielfältigen Möglichkeiten von Transportmitteln, Transporthilfsmitteln, Transportprozessen und Steuerungslogiken für eine konkrete Aufgabenstellung. Dabei müssen neben einer prinzipiellen technischen Eignung vor allem diverse Randbedingungen (z. B. Guteigenschaften und -abmessungen, zeitliche Restriktionen für Abhol- und Lieferzeiten, physische Belastung von Transportmitteln und Transportwegen, Emissionen, Automatisierbarkeit, Ergonomie usw.) berücksichtigt werden. Nicht zu unterschätzen sind Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Systemen, damit die einzelnen Systeme miteinander zusammenarbeiten können und Übergaben zwischen den betrieblichen Prozessen (Produktion, Montage, Kommissionierung, Versand) und den Transportmitteln effizient gestaltet werden können.

Andererseits spielt die Frage der richtigen *Dimensionierung* aller Bestandteile eines Transportsystems eine entscheidende Rolle für die Effizienz der zukünftigen Transportprozesse. Die Dimensionierung beinhaltet die Festlegung von Transportwegen und der technischen Parameter von Transportmitteln sowie die Fixierung der zeitlichen Abläufe. Ganz wesentlich ist auch, dass Betriebsstrategien für verschiedene Bedarfe und Szenarien festgelegt werden, um beispielsweise im Tagesverlauf wechselnde Anforderungen erfolgreich zu meistern.

Schließlich richtet sich das Buch auch an Studierende einschlägiger Studiengänge, die sich mit Intralogistik und deren Wechselwirkungen zu Produktion, Montage, Konstruktion und Planung befassen. Die Beschreibungen in diesem Buch zu den technischen Konzepten, die hinter den einzelnen Transportsystemen stehen, sollen ebenso wie die Formeln zur Berechnung und die Anwendungsbeispiele das Verständnis fördern und Wirkzusammenhänge darstellen. Damit können sich Studierende auf eine spätere Tätigkeit in der Intralogistik-Praxis bestmöglich vorbereiten.

Aufbau des Buches

In Kap. 2 werden die betrachteten Transportsysteme – Gabelstapler, Routenzug, Fahrerloses Transportsystem und Elektrohängebahn – beschrieben. Dazu werden am Anfang des Kapitels allgemeingültige Begriffe und Zusammenhänge aufgezeigt, die für alle Transportsysteme relevant sind und später mit Bezug zu den einzelnen Transportsystemen wieder aufgegriffen werden. Die Beschreibung der einzelnen Transportsysteme berücksichtigt nicht nur technische Aspekte des Transportmittels, auch Besonderheiten des Wegenetzes, des Prozesses und der Steuerung werden erörtert. Zum Abschluss des Kapitels werden die vier Transportsysteme verglichen.

Kap. 3 behandelt darauf aufbauend Gestaltungsprinzipien für innerbetriebliche Transportsysteme. Diese Prinzipien sind qualitativer Art und bilden die Leitlinien für die Gestaltung der Transportsysteme. Sie sind technologie- und lösungsunabhängig, unterstützen die zielgerechte Gestaltung von Transportsystemen und liefern wichtige Aspekte für eine Bewertung und einen Vergleich von Lösungsalternativen.

Für die Planung von innerbetrieblichen Transportsystemen ist ein umfangreiches methodisches Wissen von Nöten. Kap. 4 liefert allgemeine Grundlagen für die Planung von Transportsystemen, die bei allen der vorgestellten Transportsysteme eingesetzt werden können. Dies umfasst die Möglichkeiten für die Darstellung von Materialflüssen, statistische Methoden für die Datenanalyse, Methoden für die Bestimmung von Transportwegen, Fahr-, Handhabungs- und Durchlaufzeiten sowie die Berechnung der notwendigen Fahrzeuganzahl für eine vorgegebene Transportaufgabe. Auch das Thema der technischen Verfügbarkeit wird im Kap. 4 eingeführt, da dieser Aspekt bereits bei der Auslegung von Transportsystemen beachtet werden sollte.

Das Vorgehen bei der Planung eines Transportsystems spiegelt sich in den Abschnitten des Kap. 5 wider. Beginnend mit der Festlegung der Ziele greifen die Abschnitte dieses Kapitels die typischen Planungsschritte auf und beschreiben das Vorgehen in den einzelnen Schritten. Dazu werden zuerst Methoden vorgestellt und abschließend die Anwendung ausgewählter Methoden anhand von Fallbeispielen erläutert. Im Kern des Kapitels werden Methoden für die Auslegung der vier betrachteten Fahrzeugsysteme vorgestellt.

Abschließend werden im Kap. 6 Hilfsmittel und Software-Werkzeuge vorgestellt, welche die Planung von innerbetrieblichen Transportmitteln unterstützen. In diesem Kontext wird auch eine Übersicht wichtiger Richtlinien gegeben, die zur Vertiefung von einzelnen Fragestellungen herangezogen werden können.

Insgesamt werden den Leserinnen und Lesern damit Methoden, Werkzeuge und konkrete Beispiele an die Hand gegeben, um eine Gesamtplanung – von der Zieldefinition bis zur Umsetzung und kontinuierlichen Verbesserung im Betrieb – zu realisieren.



Elemente der innerbetrieblichen Transportsysteme

2

Dieses Buch widmet sich Fahrzeugsystemen für den innerbetrieblichen Transport. Dies sind neben den klassischen Gabelstaplern Routenzugsysteme, Fahrerlose Transportsysteme und Elektrohängebahnen. Die genannten Transportsysteme haben verschiedene Einsatzbereiche und unterschiedliche Vor- und Nachteile. Im Rahmen der Planung obliegt es dem Planer, das geeignete System für eine konkrete Transportaufgabe zu identifizieren. Nicht selten werden unterschiedliche Transportsysteme in einer Fabrik oder einem Logistikzentrum eingesetzt. Damit bilden die einzelnen Fahrzeugsysteme Elemente für das innerbetriebliche Transportsystem, welches allerdings nicht ausschließlich aus Fahrzeugsystemen bestehen muss. So können neben den in diesem Buch adressierten Systemen auch Steigförderer wie Rollenförderer oder Gurtförderer zum Einsatz kommen, die ebenfalls Aufgaben für den innerbetrieblichen Transport übernehmen.

In diesem Kapitel werden zu Beginn im Abschn. 2.1 grundlegende Begriffe eingeführt und Elemente innerbetrieblicher Transportsysteme definiert. Diese Beschreibungen sind zunächst unabhängig von einem konkreten Fahrzeugsystem. In den darauffolgenden Abschnitten werden diese universellen Beschreibungen für die einzelnen Systeme spezifiziert und die Besonderheiten der Systeme herausgestellt. Zum Abschluss des Kapitels wird in Abschn. 2.6 ein Vergleich zwischen den Fahrzeugsystemen durchgeführt. Dieser soll eine erste Vorauswahl von geeigneten Fahrzeugsystemen für eine konkrete Transportaufgabe ermöglichen.

2.1 Grundbestandteile und -strukturen innerbetrieblicher Fahrzeugsysteme

Der innerbetriebliche Materialfluss wird in vielen Fällen mit Hilfe von Transportsystemen ausgeführt. Ein Transportsystem setzt sich aus fünf Elementen zusammen, die im Kern die Charakteristik des Systems beschreiben. Abb. 2.1 zeigt die fünf Elemente.

Die Aufgabe eines Transportsystems ist die räumliche Bewegung der *Transporteinheiten* (auch Fördereinheit, Ladeinheit, Transportgut). Um den Transport sowie die Aufnahme und Abgabe der Transporteinheiten zu erleichtern, werden oft Ladehilfsmittel eingesetzt. Ladehilfsmittel und das eigentliche Transportgut bilden gemeinsam die Transporteinheit. Das *Transportmittel* ist ein Arbeitsmittel, welches für die Ausführung des Transportes der Transporteinheit verantwortlich ist. In diesem Buch werden die Transportmittel Gabelstapler, Routenzug, Fahrerloses Transportsystem und Elektrohängebahn behandelt. Andere Transportmittel außerhalb der Betrachtung dieses Buches sind Stetigförderer wie Rollenbahnen oder Verkehrsmittel wie LKW oder Bahnen. Damit Fahrzeugsysteme, wie sie in diesem Buch behandelt werden, ihre Transportaufgabe ausführen können, muss ein *Wegenetz* existieren, auf dem sich die Fahrzeuge bewegen können. Im Fall von Gabelstaplern, Routenzügen und Fahrerlosen Transportsystemen handelt es sich

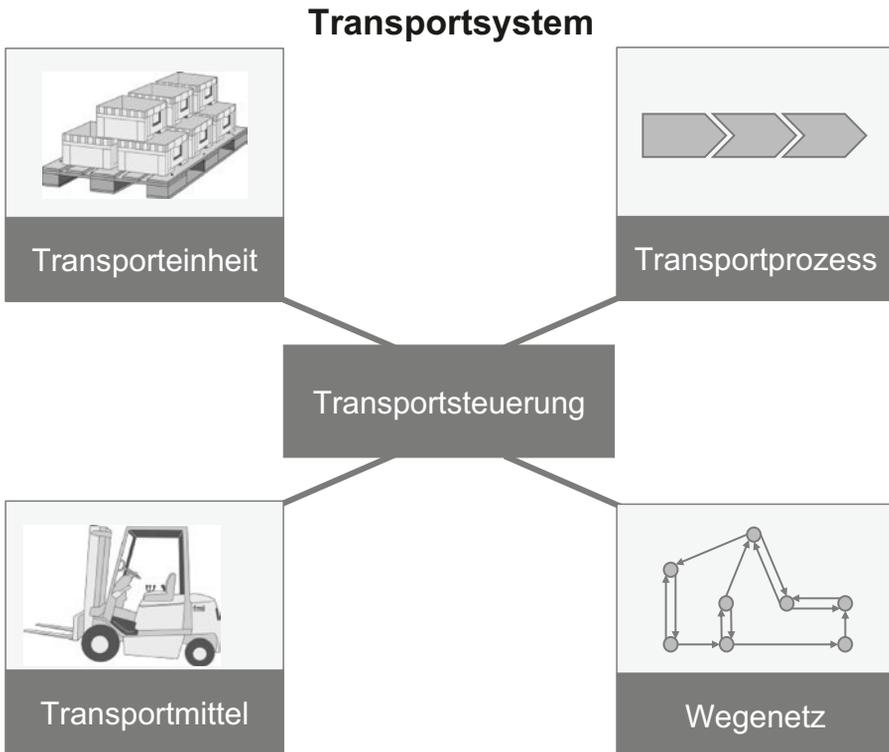


Abb. 2.1 Elemente eines Transportsystems

Neue Lösungen für
neue Herausforderungen



Die SAFELOG AGV Generation 21

Weitere
Informationen auf
www.safelog.de



Die fortschreitende Automatisierung von intralogistischen Abläufen und Produktionsprozessen erfordert die stetige Weiterentwicklung unserer Hard- und Software. Dank einer gesteigerten Leistungsfähigkeit und Einsatzflexibilität ermöglicht unsere neue Generation 21 sowohl die Bewältigung völlig neuer Transportaufgaben als auch eine Optimierung in altbekannten Einsatzbereichen.

Induktivladesystem, eine skalierbare Batteriekapazität mit LiFePO₄-Batterien sowie leistungsstarke DC-Motoren – das sind nur einige Highlights der SAFELOG AGV-Generation 21.

SAFELLOG
NO CHANCE FOR ERRORS

dabei um Fahrwege (Straßen). Für Elektrohängebahnen muss ein Schienennetz vorhanden sein, in dem sich die Fahrzeuge fortbewegen können. Die Art und Weise wie eine Transportaufgabe ausgeführt wird, beschreibt der *Transportprozess*. Der Transportprozess legt die notwendigen Schritte für die Erfüllung der Transportaufgabe (z. B. Aufnehmen, Identifizieren, Fahren) fest und muss im Einklang mit der *Steuerung* und *Organisation* der Transportaufgaben im Transportsystem stehen. Die fünf dargestellten Elemente eines Transportsystems werden in den folgenden Absätzen universell und unabhängig von einem konkreten Transportmittel erörtert. In den Abschn. 2.2, 2.3, 2.4 und 2.5 werden die vier Aspekte spezifisch für die einzelnen Transportsysteme diskutiert.

2.1.1 Transportmittel

Die Transportmittel sind Arbeitsmittel oder -geräte, die für die Ausführung der Transportaufgabe verantwortlich sind. Im innerbetrieblichen Bereich werden Transportmittel auch als Fördermittel bezeichnet und damit von Verkehrsmitteln abgegrenzt, die für den Transport außerhalb der Betriebsstätten eingesetzt werden. Die originäre Aufgabe von Transportmitteln im innerbetrieblichen Bereich ist das Fördern der Transporteinheiten von einem Ausgangspunkt (Quelle) zu einem Zielpunkt (Senke).

Fördermittel werden unterteilt in Stetigförderer und Unstetigförderer. Wie aus dem Namen zu schlussfolgern ist, arbeiten Stetigförderer über einen längeren Zeitraum ununterbrochen und können so einen kontinuierlichen Fördergutstrom erzeugen. Für die Auf- und Abgabe des Fördergutes muss das Fördermittel (z. B. ein Rollenförderer) nicht anhalten. Wie eingangs aufgezeigt, können die in diesem Buch adressierten Fahrzeugsysteme der Gruppe der Unstetigförderer zugeordnet werden. Bei diesen Fahrzeugsystemen besitzt das Transportmittel einen eigenen Antrieb und nutzt ein passives Wegenetz. Im Gegensatz zu den Stetigförderern wird der Fördervorgang bei der Auf- und Abgabe des Fördergutes, ggf. auch an anderen Stellen des Fördervorganges, unterbrochen. Bedeutende Vertreter dieser innerbetrieblichen Fahrzeugsysteme sind Gabelstapler (GST), Routenzüge (RZ), Fahrerlose Transportsysteme (FTS) und Elektrohängebahnen (EHB). Diese werden in den Abschn. 2.2, 2.3, 2.4 und 2.5 vorgestellt.

2.1.2 Transporteinheit

Im innerbetrieblichen Bereich werden Transportsysteme primär für Stückgüter mit unterschiedlichen Abmessungen und Gewichten eingesetzt. In Abhängigkeit der konkreten Transportaufgabe müssen die Bestandteile des Transportsystems so ausgewählt und gestaltet werden, dass die Transportaufgabe umsetzbar ist. Wie bereits Abschn. 2.1 beschrieben, besteht die Transporteinheit aus dem eigentlichen Transportgut (TG, z. B. Schrauben, Sand, technische Gase) und dem Transporthilfsmittel (THM, z. B. Paletten, Mulden, Tanks). In Abb. 2.2 ist zu erkennen, dass auch Schüttgüter durch den Einsatz geeigneter Transporthilfsmittel als Stückgut gehandhabt werden können.



Abb. 2.2 Beispiele für Transporteinheiten, bestehend aus einem Transportgut (TG) und einem Ladehilfsmittel (LHM)

Für die Systemgestaltung müssen die Eigenschaften der Transporteinheiten bekannt sein. Folgende Eigenschaften sind dabei von Bedeutung:

- Abmessungen inkl. Überstände; Form und Formabweichungen
- Gewicht inkl. Gewicht des Transporthilfsmittels
- Art des Transporthilfsmittels und Aufnahmemöglichkeiten des Transporthilfsmittels
- Lastverteilung (Position des Schwerpunktes)
- Zustand und Qualität des Transporthilfsmittels
- Sicherung des Transportgutes auf dem Transporthilfsmittel (Stabilität)
- Kennzeichnungspunkte, z. B. für Label und deren Sichtbarkeit im Prozess.

Neben dem Gewicht und den Abmessungen ist die Art des eingesetzten Transporthilfsmittels für die Gestaltung von Transportsystemen sehr wichtig. In Tab. 2.1 werden typische Transporthilfsmittel aufgeführt und deren Eignung für die vier im Buch thematisierten Fahrzeugsysteme bewertet.

Tab. 2.1 hilft bei einer ersten Auswahl von geeigneten Transportmitteln in Abhängigkeit der Transporteinheit. Allerdings ist es wichtig, dass auch die anderen Eigenschaften (z. B. das Gewicht) bei der Auswahl Berücksichtigung finden.

2.1.3 Wegenetz

Ein weiteres Element des Transportsystems ist das Wegenetz, in dem sich die Transportmittel fortbewegen. Das Wegenetz, welches auch als Transportnetz bezeichnet wird, muss für das Transportmittel geeignet sein. Mit Ausnahme der schienengeführten Elektrohängebahn sind für die drei anderen Transportmittel, die in diesem Buch besprochen werden, Fahrwege notwendig. Wesentliche Eigenschaften dieser Fahrwege sind:

Tab. 2.1 Ladungsträger und deren Eignung für verschiedene Transportsysteme (Beispiele)

	Abmessungen der Ladungsträger Grundfläche in mm	Geignet für			
		GST	RZ	FTS	EHB
Großladungsträger (GLT)					
Europalette	1200 × 800	x	x	x	x
Industriepalette	1200 × 1000	x	x	x	x
Halbpalette („Düsseldorfer“)	600 × 800	x	○	x	x
Einwegpalette	diverse Größen	x	x	x	x
Euro-Gitterbox	1240 × 835	x	x	x	x
Sonderladungsträger	diverse Größen	x	○	○	○
Rungenpalette (Langgut)	abh. von Transportgut	x	–	–	–
Rahmen	diverse	x	○	○	○
Kleinladungsträger (KLT)					
Schachteln	diverse	–	x	x	–
VDA-KLTs	diverse (s. VDA 4500)	–	x	x	–
Lagersichtkasten	diverse	–	x	x	–
Weitere					
Maschinenelemente (große Komponenten)	diverse	x	○	–	–
Werkstückträger	diverse	x	○	x	○

s. Verband der Automobilindustrie; www.vda.de/de/services

x = geeignet ○ = bedingt geeignet – = in der Regel nicht geeignet

1. Lage im Außen- oder Innenbereich
2. Breite der Wege
3. Zulässige Fahrtrichtungen (Einbahnwege/unidirektional, Gegenverkehr/bidirektional)
4. Durchfahrbarkeit (Durchgangswege, Sackgassen mit und ohne Wendehammer)
5. Wegkreuzungen
6. Wegkreuzungen anderer Systeme (z. B. Schienenüberquerung)
7. Tordurchfahrten
8. Fahrbahnbelag (z. B. Reibwerte, Bodenfugen)
9. Begleitender Verkehr auf den Wegen (Personen, andere Transportsysteme, Nutzung als Pufferfläche)
10. Sauberkeit der Fahrbahn (Nässe, Feuchtigkeit, Staub, Öl, ...)

Das Wegenetz muss so gestaltet werden, dass alle Quellen und Senken des Transportsystems durch die Transportmittel erreicht werden können. Dabei sind die Abmessungen des Transportmittels im beladenen Zustand zu beachten. Weiterhin muss geprüft werden, ob die geforderten Mindestabstände zwischen den Transportmitteln, den Transportmitteln und den Arbeitskräften sowie zwischen den Transportmitteln und den Infrastrukturen (Maschinen, Gebäudebestandteile) eingehalten werden können. Wenn Sackgassen¹ befah-

¹ Bei schienengeführten Systemen wie der EHB wird dies auch Stichbahn genannt.

ren werden müssen, ist sicherzustellen, dass das Transportmittel wenden oder bei Einhaltung der sicherheitsrelevanten Vorgaben die Sackgasse rückwärtsfahrend verlassen kann.

Die Statistik zum Arbeitsunfallgeschehen [DGU-19] für das Jahr 2018 hat 19.251 meldepflichtige Arbeitsunfälle mit Flurförderzeugen erfasst. Damit stellen Flurförderzeuge wie Stapler einen innerbetrieblichen Unfallschwerpunkt dar. Es sei aus diesem Grund darauf hingewiesen, dass bereits bei der Systemgestaltung alle sinnvollen Maßnahmen zur Reduzierung der Unfallgefahr durch Transportmittel ergriffen werden sollten. Im Kontext des Wegenetzes sind gemeinsame Wege oder Wegkreuzungen mit Personen zu vermeiden. Lässt sich dies nicht bewerkstelligen, sind ausreichende Abstände vorzusehen und Trennvorrichtungen einzuplanen. Vor allem in schlecht einsehbaren Bereichen sollten Spiegel und Warnvorrichtungen angebracht werden, um Kollisionen zu vermeiden. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin legt Wegbreiten in Abhängigkeit der Wegnutzung fest [BAA-18]. Abb. 2.3 definiert wesentliche Sicherheitszuschläge für Wegbreiten. Tab. 2.2 führt Werte-Vorgaben für die Sicherheitszuschläge auf.

Im Bereich der Fahrerlosen Transportsysteme kommen vermehrt Systeme zum Einsatz, die autonom operieren. In diesem Kontext verliert sich das klassische Bild von Wegenetzen mit genau festgelegten Pfaden zwischen den Quellen und Senken. Allerdings sind auch für diese Fahrzeuge Infrastrukturen notwendig und jede Quelle und Senke muss erreichbar sein. Die Freiheitsgrade in der Navigation führen dazu, dass Wege eher als befahrbare Flächen interpretiert werden können. Für die Planung lässt sich auch bei autonom operierenden Fahrerlosen Transportsystemen ein klassisches Wegenetz, wie oben beschrieben, unterstellen, auch wenn die Fahrzeuge später im erlaubten Rahmen von diesen Wegen abweichen.

Wird als Transportsystem eine Elektrohängebahn bzw. das bodengestützte Pendant Elektropalettenbahn verwendet, besteht das Wegenetz aus Schienen. Weitere Informationen zum Schienennetz finden sich in Abschn. 2.5.2.

2.1.4 Prozess

Innerbetriebliche Transporte haben in der Regel das Ziel, wertschöpfende Prozesse in Unternehmen zu unterstützen. Dabei werden unterschiedliche Anforderungen an die Ausführung der Transportaufgabe gestellt. Diese sollen beispielsweise pünktlich, effizient, preiswert, sicher und/oder transparent sein.

Innerbetriebliche Transportprozesse können anhand der Handhabungsstufen unterschieden werden, die notwendig sind, um die originäre Transportaufgabe zu erfüllen. Es ist sinnvoll, möglichst wenige Handhabungsstufen vorzusehen, da in der Regel jede Handhabungsstufe zusätzlichen Aufwand verursacht. Allerdings lässt sich dies aufgrund von unterschiedlichen Randbedingungen oft nicht realisieren. Beispielhaft sei der Transport von Rohstoffen in der Lebensmittelproduktion genannt. Ein Transportmittel übernimmt die Auslagerung und transportiert die Rohstoffe zu einer Schleuse. Aus hygienischen Gründen muss der weitere Transport der Rohstoffe dann von einem anderen Transportmit-

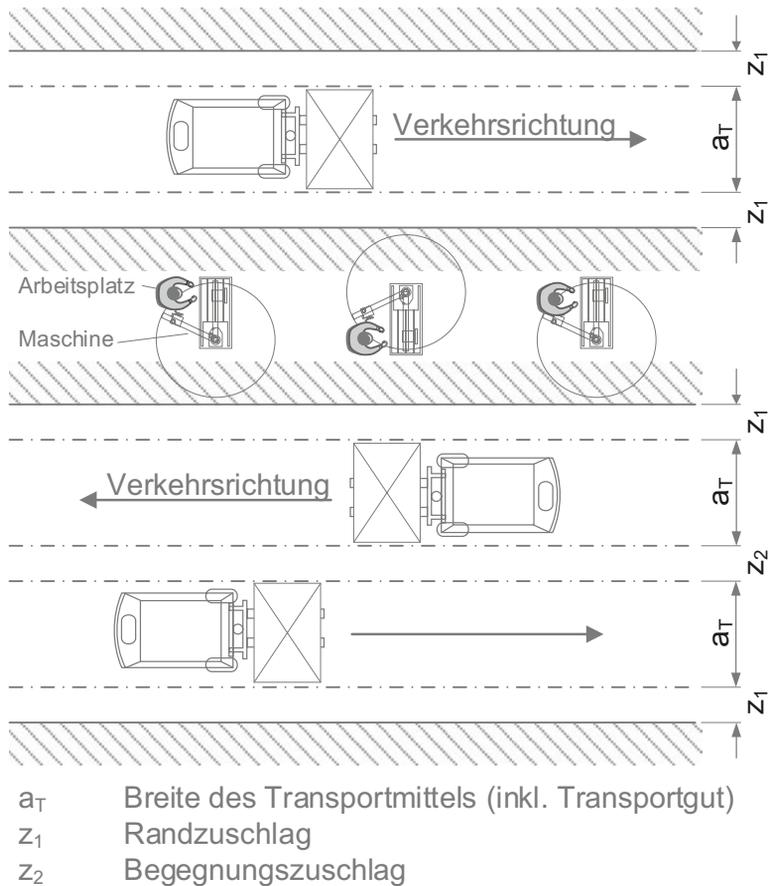


Abb. 2.3 Verkehrswegbreiten, Sicherheitszuschläge

Tab. 2.2 Mindestmaße von Sicherheitszuschlägen für die Verkehrswegbreiten für Geschwindigkeiten <20 km/h

Betriebsart	Randzuschlag	Begegnungszuschlag
Fahrzeugverkehr	$2z_1 = 2 \times 0,50 \text{ m} = 1,00 \text{ m}$	$z_2 = 0,40 \text{ m}$
Gemeinsamer Fußgänger- und Fahrzeugverkehr	$2z_1 = 2 \times 0,75 \text{ m} = 1,50 \text{ m}$	$z_2 = 0,40 \text{ m}$

tel übernommen werden, das exklusiv im Produktionsbereich bewegt wird. Abb. 2.4 stellt Transportprozesse mit einer unterschiedlichen Anzahl an Handhabungsstufen dar. Wie in der Abbildung auch zu erkennen ist, müssen die aufeinanderfolgenden Handhabungsstufen nicht von ein und demselben Transportmittel ausgeführt werden.

Bei der Planung von Transportsystemen ist auch die Zuständigkeit für die Veranlassung und Ausführung der Transporte zu beachten. Beispielsweise kann eine Abteilung „Logistik“ für den Transport von Material aus dem Lager bis zu einer Übergabefläche (Puffer) im Produktionsbereich zuständig sein. Den Transport von dieser Übergabefläche an einzelne Ma-

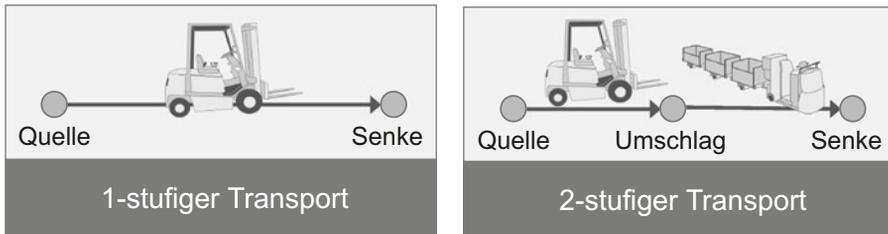


Abb. 2.4 Handhabungsstufen in Transportprozessen (Beispiele: links – Transport durch einen Gabelstapler; rechts – Transport durch einen Gabelstapler und einen Routenzug)

schinen kann der Bereich „Produktion“ selbstständig organisieren und dafür eigene Mitarbeiter und Transportmittel einsetzen. Die Information über den Materialbedarf erhält in diesem Beispiel die Logistik von der Produktion. Die Produktion ist also für den Materialabruf verantwortlich. Die Logistik muss sicherstellen, dass das benötigte Material fristgerecht zur Übergabefläche in der Produktion transportiert wird. Die Verantwortung für die Organisation dieses Transportes obliegt demnach der Logistik. Die Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten sollten zu Beginn der Planung abgestimmt und festgeschrieben werden. Das ist insbesondere dann relevant, wenn Logistikaufgaben durch externe Dienstleister erbracht werden.

In der Regel können mehrstufige Transportprozesse für die Planung in einstufige Transportprozesse untergliedert werden. Durchführungszeiten können dann z. B. für jede Transportstufe separat bestimmt werden. Allerdings sind die einzelnen Transportprozesse eines mehrstufigen Transportsystems aufeinander abzustimmen. Besonders die Gestaltung der Schnittstelle zwischen den Transportstufen und die Steuerung stehen hier im Mittelpunkt. Zur Illustration dient folgendes Beispiel: Großladungsträger (Paletten) sollen mittels eines Routenzugs in der Produktion bereitgestellt werden. Dazu müssen die Paletten aus einem Regallager mit einem Gabelstapler ausgelagert werden. Dieser transportiert die Paletten zu einer Übergabefläche. Bei der Prozessgestaltung ergibt sich nun die Frage, wie die Paletten am besten an den Routenzug übergeben werden können. Bei diesem Beispiel sind folgende Varianten denkbar:

- (1) Der Gabelstapler (Lager) stellt die Paletten auf dem Boden ab und der Routenzugfahrer nutzt einen anderen Gabelstapler, um den Routenzug direkt mit den Paletten zu beladen.
- (2) Auf der Übergabefläche steht bereits ein leerer Routenzug bereit, der direkt vom Gabelstapler (Lager) beladen wird. Der Routenzugfahrer tauscht am Ende einer Tour dann den Routenzug, indem er einen leeren Routenzug (ggf. mit Leergut beladen) abstellt und auf den vollen Routenzug umsteigt.
- (3) Der Gabelstapler (Lager) stellt die Paletten auf leere Rollwagen (Trolleys) ab, die (arretiert) auf der Übergabefläche bereitstehen. Der Routenzugfahrer muss seinen Routenzug selbst beladen und wechselt dazu die Trolleys zwischen Routenzug und Übergabefläche aus.

Beim Vergleich der vorgestellten Varianten ist erkennbar, dass oft eine Erleichterung in einem Prozessabschnitt zusätzliche Aufwendungen im anderen Prozessabschnitt verursacht. Deshalb ist eine ganzheitliche Betrachtung des Prozesses und der Schnittstellen wichtig, damit für das Unternehmen die in Summe beste Lösung gefunden wird.

Ein einstufiger Transportprozess setzt sich im Kern aus fünf Schritten zusammen, welche in Abb. 2.5 dargestellt sind und in Summe ein sogenanntes Arbeitsspiel ergeben. Zu Beginn müssen der Fahrer oder das Fahrzeug (FTF, EHB) über den nächsten Fahrauftrag informiert werden (*Informationsverarbeitung*). Dies erfolgt durch ein Steuerungs-/Rufsystem (z. B. Transportsystem), eine Person (z. B. Vorgesetzte oder Produktionsmitarbeiter).

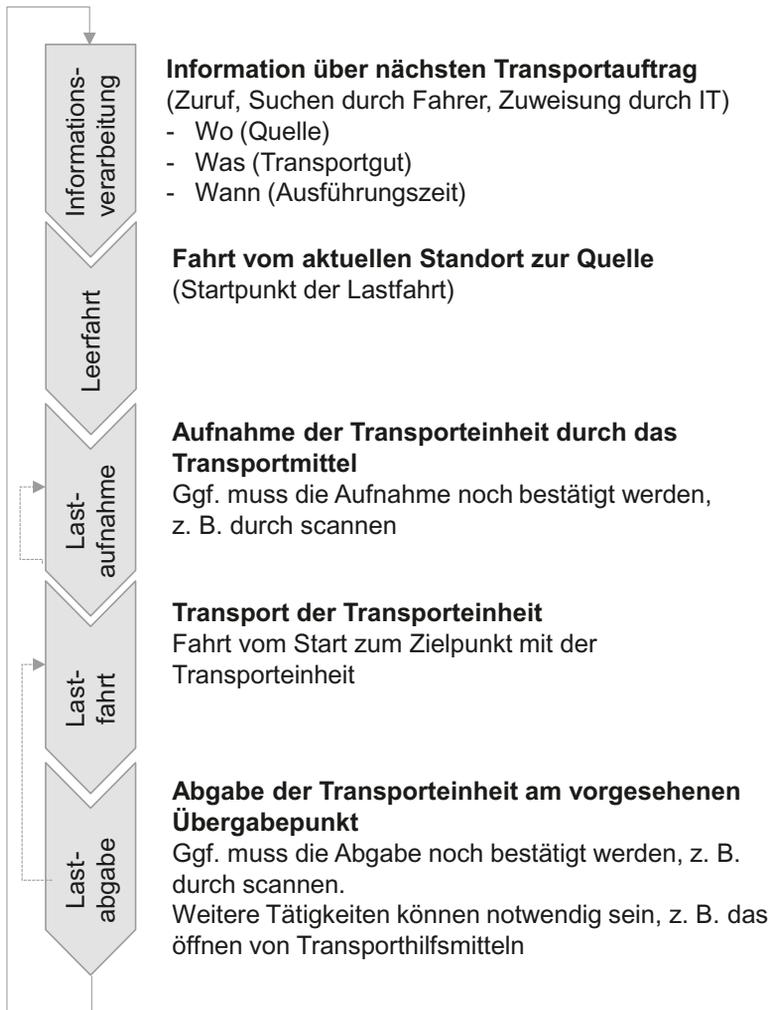


Abb. 2.5 Beispielhafter Transportprozess