

FORSCHUNGSBERICHT

W. A. Günthner · C. Keuntje

IntegRoute – Ganzheitliche Konzeptauswahl für Routenzugsysteme zur Produktionsversorgung

Integrierte Bewertung von Prozess und Technik

Forschungsbericht

zu dem IGF-Vorhaben

***IntegRoute – Ganzheitliche Konzeptauswahl für Routenzugsysteme
zur Produktionsversorgung
Integrierte Bewertung von Prozess und Technik***

der Forschungsstelle

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München

Das IGF-Vorhaben 18136 N der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik e.V. - BVL
wurde über die



im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Herausgegeben von:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © **fml** – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik,

Printed in Germany 2016

ISBN: 978-3-941702-68-4

fml – Lehrstuhl für

Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Boltzmannstr. 15

85748 Garching

Tel.: + 49.89.289.15921

Fax: + 49.89.289.15922

www.fml.mw.tum.de

Danksagung

Für die umfassende Unterstützung während des Projekts möchten wir neben dem Fördermittelgeber, der das Projekt ermöglicht hat, den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses des Forschungsprojekts IntegRoute danken:

- AQS Logistic Systems GmbH, Herdorf
- Draexlmaier Industrial Solutions GmbH, Vilsbiburg
- FEIL GmbH, Bestwig
- Helge Nyberg AB, Leipzig
- Jungheinrich Norderstedt AG & Co. KG, Lüneburg
- Karl Miller GmbH & Co. KG, Kirchberg
- Knorr-Bremse Systeme für Nutzfahrzeuge GmbH, München
- Logistikberatung Stefan Galka, München
- LR Intralogistik GmbH, Wörth an der Isar
- MAN Truck & Bus AG, München
- MEKRA Lang GmbH & Co. KG, Ergersheim
- Paul Müller Transport- und Verpackungsmittel GmbH, Balve
- Porsche AG, Zuffenhausen
- Toyota Material Handling Deutschland GmbH, Isernhagen
- triloglQa, München
- Weissenborn Logistik-Consulting, Garching
- Wicke GmbH & Co. KG, Sprockhövel

Über den projektbegleitenden Ausschuss hinaus wurde das Forschungsvorhaben freundlicher Weise durch die folgenden Unternehmen und Institutionen unterstützt:

- BeeWaTec GmbH, Pfullingen
- BMW Group, München
- FlexQube AB, Göteborg
- Gabriel Transportsysteme GmbH, Eslohe
- Jung Hebe- und Transporttechnik GmbH, Waiblingen
- Kistler Instrumente GmbH, Ostfildern
- Krones AG, Neutraubling
- Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München
- MDC Power GmbH, Köllda

- Michelin Reifenwerke AG & Co. KgaA, Hallstadt
- MK-Lietz Maschinen und Apparatebau, Bad Münde
- Schnellecke Logistics AG & Co. KG, Wolfsburg
- SEW-Eurodrive GmbH & Co KG, Graben-Neudorf
- Volkswagen AG, Wolfsburg

Darüber hinaus gilt der Dank den in das Forschungsprojekt involvierten Studierenden und Mitarbeitern des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München, ohne die die Detailtiefe der durchgeführten Arbeiten nicht hätte erreicht werden können:

- Antonio Castañeda Maldonado
- Patrick Gangkofner
- Jennifer Heiß
- Dominik Heitzer
- Andreas Holtz
- Eva Klenk
- Bernhard Kramer
- Menglin Li
- Werner Schmid
- Benedikt Schmucker
- Patrick Thomaser
- Benjamin Thron
- Philipp Wuddi
- Alexander Zwenig

Zusammenfassung

Trotz steigender Verbreitung von Routenzugsystemen haben sich noch keine technischen Standards etabliert, und auch die Planung der Systeme geschieht oftmals „intuitiv“ ohne den Einsatz routenzugspezifischer Planungsmethoden. Darüber hinaus haben Entscheidungen bei der Planung von Routenzugsystemen Einfluss auf diverse Themenfelder wie Wirtschaftlichkeit, Ergonomie und Flexibilität des Systems sowie auf vor- und nachgelagerte Prozessschritte.

Mit dem Ziel der Unterstützung bei dieser herausfordernden Planungsaufgabe wurde im Forschungsprojekt IntegRoute eine Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen entwickelt. Diese Methodik ermöglicht – im Gegensatz zu heute oft sequenziell ablaufenden Planungen – die gleichzeitige Betrachtung von Technik, Prozess und Steuerung eines Routenzugsystems. Weiterhin umfasst die Methodik die Dimensionierung von erstellten Planungsvarianten sowie eine ganzheitliche Bewertung, die neben wirtschaftlichen Aspekten beispielsweise die Flexibilität, Robustheit und Ergonomie berücksichtigt. Um eine aussagekräftige Bewertung der Ergonomie zu ermöglichen, wurden umfangreiche Probandenstudien zur Ermittlung der in Routenzugprozessen von Mitarbeitern aufzubringenden Handkräfte durchgeführt.

Durch die Umsetzung in einem softwarebasierten Demonstrator wird eine zeiteffiziente Anwendung der entwickelten Vorgehensmethodik ermöglicht. Der Demonstrator erlaubt eine innerhalb von Sekunden ablaufende detaillierte Dimensionierung und Bewertung von Planungsvarianten. Somit können die Auswirkungen von Veränderungen einer Planungsvariante direkt aufgezeigt werden. In der Konsequenz kann die Systemgestaltung auf einer deutlich fundierteren Datenbasis getroffen und die Planungsqualität gesteigert werden.

Im Rahmen der Evaluation der Projektergebnisse wurden in Zusammenarbeit mit Industriepartnern umfangreiche Anwendertests durchgeführt. Die Teilnehmer der Tests attestieren dem Software-Demonstrator aufgrund der Detaillierung und Nachvollziehbarkeit der Bewertungsergebnisse eine hohe Praxistauglichkeit.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Abkürzungsverzeichnis	7
Formelzeichen- und Symbolverzeichnis	9
1 Einleitung	13
1.1 Wissenschaftlich-technische Problemstellung	13
1.2 Forschungsziel	18
1.2.1 Angestrebte Forschungsergebnisse	19
1.2.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	23
1.2.3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	24
2 Stand der Technik und der Wissenschaft	27
2.1 Einsatz von Routenzugsystemen	27
2.2 Planungsvorgehen für Routenzugprojekte	32
3 Vorgehen für die Planung von Routenzugsystemen	39
3.1 Feldstudie zur Analyse des Vorgehens in Routenzugplanungen	39
3.2 Ableitung eines Zielbilds für die Planung von Routenzugsystemen	42
3.3 Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen	43
3.4 Ergebnis	44
4 Ermittlung von Randbedingungen einer Planungsaufgabe	45
4.1 Materialflussanforderungen	45
4.2 Unternehmensvorgaben	46
4.3 Planungsziele	48
4.4 Layoutinformationen	49
4.5 Ladungsträger	50
4.6 Ergebnis	50
5 Methodik zur Bildung von Planungsvarianten	51
5.1 Prozessbaukasten zur Bildung von Planungsvarianten	51
5.1.1 Planungsdimension Technik	51
5.1.2 Planungsdimension Prozess	55

5.1.3	Planungsdimension Steuerung	56
5.2	Eingrenzung des Entscheidungsspielraums bei der Bildung von Planungsvarianten	57
5.3	Wechselwirkungen zwischen den Planungsdimensionen Technik, Prozess und Steuerung	58
5.4	Ergebnis	59
6	Dimensionierung von Planungsvarianten	61
6.1	Prüfung der technischen Realisierbarkeit	62
6.2	Berechnung der Zykluszeit	64
6.2.1	Grundkonzept eines Zeitbausteinsystems auf Basis von MTM-Analysen und experimentellen Untersuchungen	65
6.2.2	Datenkarten für das Ziehen und Schieben von Ladungsträgern	68
6.2.3	Zeitbausteine für die Beladung von Routenzügen an der Quelle	72
6.2.4	Berechnung der reinen Fahrzeit eines Routenzugs	78
6.2.5	Zeitbausteine für die Bereitstellung von Transportgut an den Senken	80
6.2.6	Exemplarische Detailbetrachtung eines Zeitbausteins	85
6.3	Berechnung der erforderlichen Anzahl von Systemelementen	88
6.4	Berechnung des Flächenbedarfs	91
6.4.1	Flächenbedarf an der Quelle	92
6.4.2	Fläche für Fahrwege abseits von Bereitstellflächen	94
6.4.3	Fläche für Fahrwege an Bereitstellflächen	95
6.4.4	Flächenbedarf für die Bereitstellung	98
6.5	Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsrechnung	99
6.5.1	Berechnung der Investitionen	99
6.5.2	Berechnung der jährlichen Kosten	101
6.5.3	Dynamische Investitionsrechnung zur Ermittlung der Projektkosten	102
6.6	Ergebnis	103
7	Experimentelle Untersuchungen zur Ergonomie in Routenzugsystemen	105
7.1	Motivation der Untersuchungen	105
7.2	Versuchsdesign	108
7.2.1	Grundkonzept	108
7.2.2	Messtechnik	108
7.2.3	Versuchsobjekte	109
7.2.4	Versuchsparcours	111
7.2.5	Probandenstudie mit acht Einflussfaktoren und 35 Faktorstufen	115

7.2.6	Probandenstudie mit 40 Personen	116
7.3	Auswertung der Untersuchungen	118
7.3.1	Vorgehen bei der Analyse der Messdaten	118
7.3.2	Einfluss des Rollenmaterials	120
7.3.3	Einfluss des Rollendurchmessers	126
7.3.4	Einfluss des Lenkgehäuses	127
7.3.5	Einfluss der Rollenanordnung	128
7.3.6	Einfluss der Größe der Grundplatte	135
7.3.7	Vergleich unterschiedlicher Routenzugtechniken	137
7.4	Ergebnis	139
8	Ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten	141
8.1	Methodik zur ganzheitlichen Bewertung	141
8.2	Bewertung der Wirtschaftlichkeit	143
8.3	Bewertung nicht monetär quantifizierbarer Aspekte	143
8.3.1	Kriterien zur Bewertung der Ergonomie	146
8.3.2	Kriterien zur Bewertung der Fahreigenschaften der Routenzuganhänger	147
8.3.3	Kriterien zur Bewertung der Robustheit von Prozess und Technik	148
8.3.4	Kriterien zur Bewertung der Prozess-Flexibilität	150
8.3.5	Kriterien zur Bewertung der Flexibilität des transportierbaren Behälterspektrums	151
8.4	Ergebnis	152
9	Umsetzung der Vorgehensmethodik in einem Software-Demonstrator	153
9.1	Grundstruktur des Software-Demonstrators	154
9.2	Nutzer-Eingaben zur Definition der Planungsaufgabe	155
9.3	Pflege von Stammdaten	158
9.4	Umsetzung der Bildung von Planungsvarianten	158
9.5	Ergebnisdarstellung in unterschiedlichen Detail-Ebenen	160
9.6	Durchführung von Sensitivitätsanalysen	162
9.7	Marktüberblick Routenzugtechnik	162
9.8	Ergebnis	164
10	Evaluation und Verbesserung der Vorgehensmethodik	165
10.1	Anwendertests der Vorgehensmethodik	166
10.1.1	Grundkonzept	166

10.1.2 Durchführung	167
10.1.3 Auswertung	169
10.2 Expertenbewertung der Projektergebnisse	173
10.3 Durchführung von Parameterstudien	174
10.4 Ergebnis	175
11 Zusammenfassung der Forschungsergebnisse und Ausblick	177
11.1 Zusammenfassung	177
11.2 Nutzen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten	178
11.3 Veröffentlichungen im Rahmen des Forschungsprojekts	179
11.4 Ausblick	180
Literaturverzeichnis	181
Abbildungsverzeichnis	187
Tabellenverzeichnis	193
Anhang A Layouts der Beladungsprozesse	195

Abkürzungsverzeichnis

Die in dieser Arbeit verwendeten Abkürzungen sind in nachfolgender Tabelle in alphabetischer Reihenfolge zusammengestellt:

Abkürzung	Bedeutung
2L2B	Rollenanordnung mit zwei Lenkrollen und zwei Bockrollen
3L1B	Rollenanordnung mit drei Lenkrollen und einer Bockrolle
4L	Rollenanordnung mit vier Lenkrollen
4L2Ba	Rollenanordnung mit vier Lenkrollen und zwei außenliegende Bockrollen
AHP	Analytischer Hierarchieprozess
ASR	Technische Regeln für Arbeitsstätten
BTG	Behälterlose Transportgüter
FBS	Fest vorgegebener Bereitstellstreifen
fml	Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München
FTS	Fahrerloses Transportsystem
GLT	Großladungsträger
H ₀	Nullhypothese
IFA	Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
KLT	Kleinladungsträger
L / LG	Leergut
MLT	Multiples-Lasten-Tool
MTM	Methods Time Measurement
MW	Mittelwert
n	Anzahl Messungen
NFK	Niederflurkommissionierer
PA	Rollenmaterial Polyamid
PU75	Rollenmaterial Polyurethan mit Shore-Härte 75

Abkürzungsverzeichnis

PU96	Rollenmaterial Polyurethan mit Shore-Härte 96
PV	Planungsvariante
RPS	Referenzprozessschritt
RVS	Rollenverschiebesystem
RZ	Routenzug
SLT	Sonderladungsträger
SVL	Standardvorgänge Logistik (MTM-Bausteinsystem)
THM	Transporthilfsmittel
TMU	Time Measurement Unit (1 TMU = 0,036 Sekunden)
UAS	Universelles Analysiersystem (MTM-Bausteinsystem)
V / VG	Vollgut
VBA	Programmiersprache „Visual Basic for Applications“
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.

Formelzeichen- und Symbolverzeichnis

Die in dieser Arbeit verwendeten Formelzeichen und Symbole sind in nachfolgender Tabelle in alphabetischer Reihenfolge zusammengestellt:

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
a	m	Zusatzbreite an Routenzugstellplätzen
A_G	m	Abstand zur Gegenseite beim Halten von Transportwagen auf Fahrstraßen
a_i	-	Wirtschaftliche Kenngröße
A_{Quelle}	m ²	Fläche an der Quelle
b	m	Zusatzlänge an Routenzugstellplätzen
b_{Anh}	m	Breite eines Routenzuganhängers
$B_{PK,v}$	€	Barwert der Projektkosten der Planungsvariante v
C_i	-	Kritischer Faktor
d	m	Breite der Pufferfläche an Routenzugstellplätzen
e	m	Breite Rangierbereich des Gabelstaplers
e_s	kWh/h	Energieverbrauch des Systemelements s pro Stunde nach VDI-Zyklus
g	-	Anzahl der verwendeten Anhänger
h_a	h/a	Arbeitsstunden pro Jahr
i	%	Kalkulatorischer Zinssatz
$I_{Gesamt,v}$	€	Summe Investitionen für Planungsvariante v
i_s	€	Investition pro einzeltem Systemelement s
$I_{s,v}$	€	Investitionen für alle Einheiten des Systemelements s der Planungsvariante v
k	-	Index der Periode
k_e	€/kWh	Kalkulatorischer Stromkostensatz pro Stunde
$K_{Energie,v}$	€/a	Summe Energiekosten pro Jahr für die Planungsvariante v [€]
$k_{Personal}$	€/h	Kalkulatorischer Personalkostensatz pro Stunde

Formelzeichen- und Symbolverzeichnis

$K_{\text{Personal},v}$	€/a	Personalkosten pro Jahr für die Planungsvariante v
$K_{\text{Wartung},v}$	€/a	Summe Wartungskosten pro Jahr für die Planungsvariante v
l_{Anh}	m	Länge eines Routenzuganhängers
L_p	a	Projektlaufzeit
l_{Zfz}	m	Länge des Zugfahrzeugs
NB_{FBS}	m	Nutzbare Tiefe des fest vorgegebenen Bereitstellstreifens
$n_{\text{Personal},v}$	€/a	Personalbedarf (parallel erforderliche Mitarbeiter) der Planungsvariante v
$n_{s,v}$	-	Anzahl der Einheiten für Systemelement s für Planungsvariante v
$\bar{}$	-	Mittelwert
O_i	-	Objektiver Faktor
p	%	Wahrscheinlichkeitswert
RB	m	Rangierbreite des Routenzugs
s	-	Index des Systemelements
SB	m	Systembreite des Routenzugs
S_i	-	Subjektiver Faktor
S_{ik}	-	Punktwert der Planungsvariante i der Oberkategorie k
s_p	%	Prozentuale Personalkostensteigerung pro Jahr
t	-	Anzahl der unterschiedlichen betrachteten Systemelemente
$t(v_{\text{kurve}})$	s	Fahrzeit in Kurven
$t(v_{\text{max}})$	s	Fahrzeit in Maximalgeschwindigkeit
t_{Fahrt}	s	Summe der Fahrzeit pro Tour
T_{FBS}	m	Tiefe des fixen Bereitstellstreifens
T_{SP}	m	Tiefe des Stellplatzes
t_{Zusatz}	s	Zusatz-Zeitbedarf der Fahrzeit
v	-	Index der Planungsvariante
w_k	-	Gewichtungsfaktor der Oberkategorie k
w_s	%	Kalkulationsfaktor der jährlich für die Wartung des Systemelements s zu veranschlagenden Investitionen

X	kg	Gewichtsangabe
x	%	Gewichtungsfaktor der wirtschaftlichen Bewertung gegenüber der nicht-monetären Bewertung
x ₁	kg	Unterer Stützpunkt für Gewicht
x ₂	kg	Oberer Stützpunkt für Gewicht
Y	s	Interpolierter Zeitwert
y(n)	N	Gesamtkraft
y ₁	s	Unterer Stützpunkt für Zeitwert
y ₂	s	Oberer Stützpunkt für Zeitwert
$\Delta\emptyset$	-	Abweichung der Mittelwerte
σ	-	Standardabweichung

1 Einleitung

1.1 Wissenschaftlich-technische Problemstellung

In der Produktionsversorgung muss heute eine Vielzahl an Produktionsstationen mit zahlreichen unterschiedlichen Materialien Just-in-Time versorgt werden, insbesondere bei variantenreicher Fertigung wie sie heute in vielen Branchen gängig ist. Aufgrund der hohen Variantenzahlen bei in der Regel gleichzeitig begrenzten Flächen in der Produktion kann dies nur durch die Bereitstellung kleiner Losgrößen realisiert werden. Dabei müssen einerseits Bestände niedrig gehalten, andererseits eine ständige Verfügbarkeit der benötigten Materialien in der Produktion sichergestellt werden. Dementsprechend ist ein zuverlässiger, auf die Anforderungen der Produktion abgestimmter und hochfrequenter Versorgungsprozess notwendig.

Für derartige Transportaufgaben kommen in den letzten Jahren immer häufiger sogenannte Routenzugsysteme zum Einsatz. In einigen Produktionssystemen sind diese mittlerweile als Standard-Transportsystem zur Produktionsversorgung verankert. In der Regel handelt es sich bei Routenzügen um eine Kombination aus Zugmaschine und Anhängerverband, welche durch einen Fahrer bedient werden (vgl. Abbildung 1-1).



Abbildung 1-1: Routenzug im Produktionsumfeld [Gün-12]

Hinsichtlich ihrer Organisation sind Routenzugsysteme dadurch gekennzeichnet, dass auf einer Fahrt mehrere Bereitstellorte mit unterschiedlichen Teilen versorgt werden. In der Regel verkehren Routenzüge auf vorgegebenen Routen und in einer definierten hohen Frequenz [Bau-04]. Dadurch wird einerseits eine regelmäßige

Materialversorgung gewährleistet, andererseits kann durch die Bündelung mehrerer Transportaufgaben auf einer Fahrt eine hohe Auslastung und damit hohe Effizienz der Transporte erzielt werden. Dieser Vorteil, sowie das Erreichen weiterer mit der Einführung von Routenzügen verbundener Ziele, konnte bereits in vielen Praxisprojekten nachgewiesen werden (vgl. Abbildung 1-2).

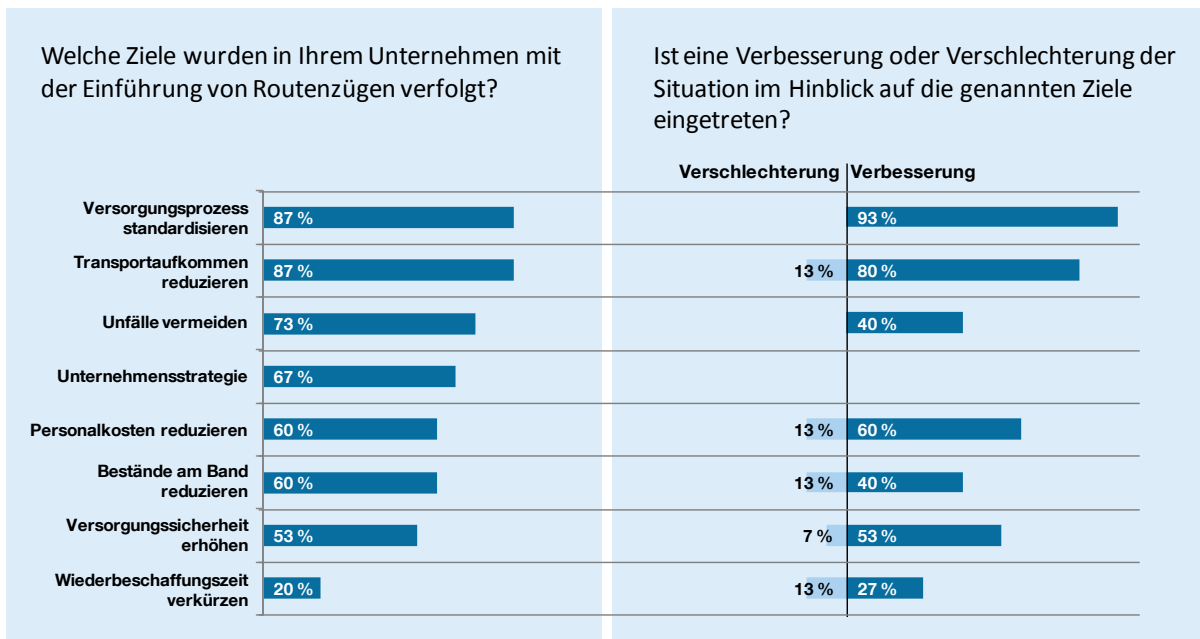


Abbildung 1-2: Ziele bei der Einführung von Routenzügen sowie deren Zielerfüllung [Gün-12]

Durch ein Routenzugsystem wird innerhalb der Fabrik die „letzte Meile“ zwischen einem Lager, Supermarkt oder Puffer und der Produktion überbrückt. Dadurch bestehen neben den oben bereits genannten produktionsseitigen Anforderungen zusätzlich Schnittstellen zum vorgelagerten Logistiksystem sowie weitere Randbedingungen, beispielsweise im Fabriklayout vorhandene Fahrwege, welche bei der Umsetzung eines Routenzugsystems beachtet werden müssen. Das Logistiksystem Routenzug darf daher nicht isoliert gestaltet werden. Vielmehr sollten der gesamte Material- und Informationsfluss mit den Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Prozessschritten, deren technische Ausprägungen sowie deren Steuerung im Fokus der Gestaltung stehen, um durch eine integrierte Betrachtung Teil-Lösungen zu vermeiden (vgl. [Wu-94], [Joh-07]).

Zur organisatorischen Gestaltung der Routenzugprozesse und -steuerung bestehen zahlreiche Alternativen. Beispielsweise können Routenzüge vom jeweiligen Fahrer selbst im Supermarkt beladen oder durch einen weiteren Logistikmitarbeiter vorbeladen und für den Fahrer bereitgestellt werden. Daneben sind auf dem Markt zahlreiche Anhängersysteme verfügbar, die oftmals für individuelle Anwendungen entwickelt wurden und jeweils spezifische konstruktive Eigenschaften haben. Dabei ist

nicht jede technische Lösung für jede denkbare Kombination aus Prozess und Steuerung einsetzbar.

Aus den Anforderungen, Schnittstellen und Gestaltungsmöglichkeiten resultieren zudem zahlreiche Wechselwirkungen zwischen den Systembestandteilen. Beispielsweise wird durch Vorgabe einer bestimmten Wiederbeschaffungszeit durch die Produktion festgelegt, nach welcher Zeit verbrauchtes Material wieder neu bereitgestellt werden muss. Dadurch ist definiert, wie lange der Gesamtprozess von der Materialbestellung bis zur Bereitstellung in der Produktion dauern darf. Abhängig davon, welche Prozessschritte durchgeführt werden sollen und welche Technik dafür zum Einsatz kommt, ergeben sich unterschiedliche Zeiten für die Prozessschritte, wodurch wiederum unterschiedlich viele Mitarbeiter benötigt werden und unterschiedliche Personalkosten entstehen (vgl. auch Abbildung 1-3).

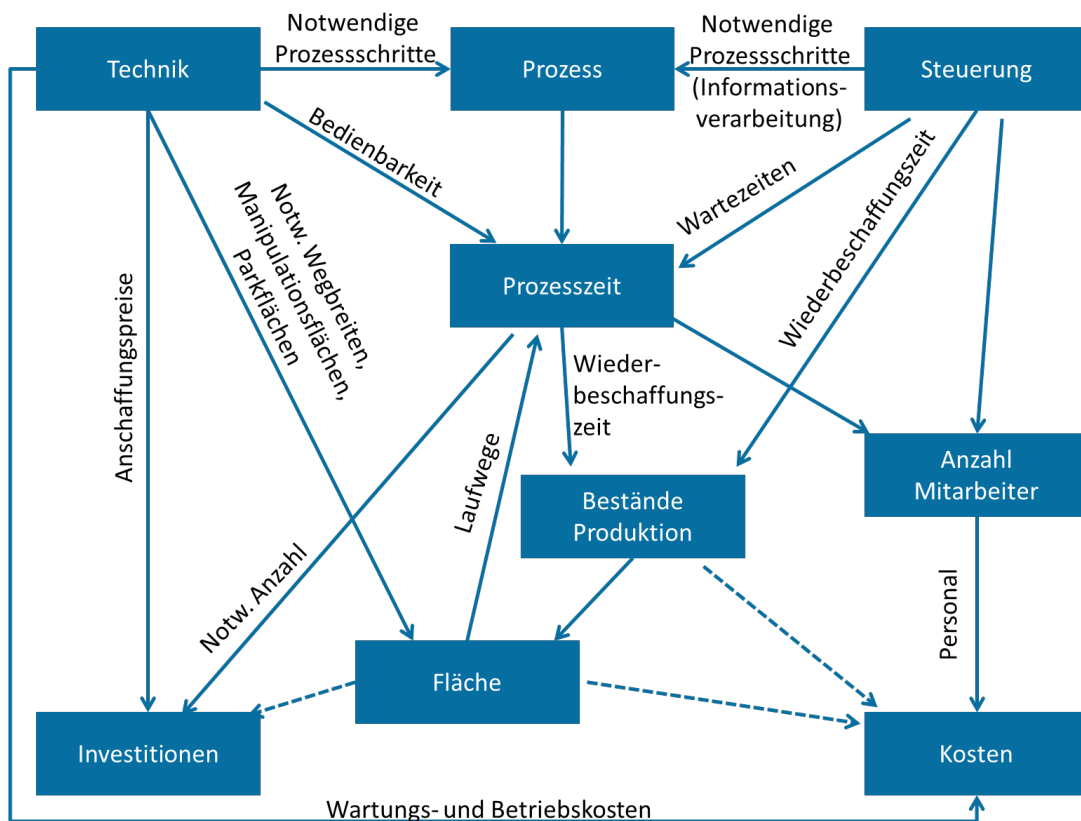


Abbildung 1-3: Ausgewählte Wechselwirkungen in Routenzugsystemen und Auswirkungen auf die Zielgrößen

Die Planung von Routenzugsystemen ist aufgrund der vielfältigen Gestaltungsvarianten sowie der Wechselwirkungen der Systembestandteile untereinander komplex, bestimmt aber ganz wesentlich den Erfolg der Umsetzung. Dennoch sind (in der Literatur) kaum Hilfestellungen zur Planung verfügbar bzw. zugänglich (vgl. Abschnitt 2.2).

Empfehlungen zur eigentlichen Systemgestaltung, zur Auswahl des für einen spezifischen Anwendungsfall geeigneten Routenzugsystems sind derzeit nicht zu finden. Der Planer muss sich demzufolge selbst einen Überblick über die Gestaltungsmöglichkeiten eines Routenzugsystems verschaffen und Planungsvarianten bilden. Im Verständnis der vorliegenden Arbeit beinhaltet eine Planungsvariante die Festlegung der in den Planungsdimensionen Technik, Prozess und Steuerung zu treffenden Auswahlentscheidungen, um eine mögliche Lösung einer spezifischen Planungsaufgabe zu definieren. Dies ist mit hohem Aufwand verbunden, die Planungsergebnisse sind zudem von den individuellen Vorgehensweisen, Kenntnissen und Erfahrungen des Planers abhängig.

Auch werden in den bestehenden Ansätzen die Routenzugsysteme jeweils nur im Hinblick auf einzelne Zielgrößen (in der Regel Wirtschaftlichkeit) ausgelegt bzw. verbessert (vgl. Abschnitt 2.2). Eine ganzheitliche Sichtweise, wie sie viele Produktionssysteme inzwischen zum Ziel haben, erfordert jedoch neben der Berücksichtigung von monetären Größen die Betrachtung weiterer Aspekte. Sugimori et al. nennen in diesem Zusammenhang in der Beschreibung des ersten dokumentierten Produktionssystems von Toyota die beiden wesentlichen Aspekte „Just-in-Time“ und „Respect-for-human-systems“ [Sug-77].

Routenzugsysteme sollen Just-in-Time durch eine hochfrequente, kurzzyklische Belieferung unterstützen und damit einen schnellen und an den Takt der Produktion angepassten „Fluss“ von Materialien ermöglichen. Dieser Aspekt kann beispielsweise durch Kenngrößen wie die Materialdurchlaufzeit bewertet werden (vgl. [Wom-03]).

Da Routenzugsysteme manuell bedient werden, ist auch der zweite von Sugimori et al. genannte Aspekt der Wertschätzung des Menschens im System relevant. Aufgrund der hohen Frequenzen werden durch den Fahrer viele Ladungsträger pro Tag bereitgestellt und dabei viele manuelle Handhabungsvorgänge (vor allem Umsetzen/Schieben von Ladungsträgern bei der Bereitstellung) durchgeführt; dabei müssen teils erhebliche Gewichte von 500 kg und mehr bewegt werden. Sind Routenzugsysteme ungünstig gestaltet, resultiert dies in einer hohen körperlichen Belastung des Mitarbeiters, was langfristig zu Einschränkungen und gesundheitlichen Schäden beim Mitarbeiter sowie zu erheblichen zusätzlichen Kosten für das Unternehmen führen kann [Wal-11].

Eine ganzheitliche Bewertung unterschiedlicher Routenzugsysteme in der Planung im Hinblick auf alle genannten Aspekte ist demzufolge sinnvoll, aber aufwendig und schwierig, da zu diesem Zweck diverse Informationen und Kenngrößen benötigt werden. Diese sind jedoch klassischer Weise erst nach einer Systemgestaltung

und -dimensionierung bekannt (z. B. Zykluszeit des Routenzugs) [Arn-07] oder können aufgrund fehlender Routenzug-spezifischer Voruntersuchungen derzeit nur am bereits realisierten System gemessen werden (z. B. Schiebekräfte beim Bereitstellen eines Ladungsträgers auf einem rollbaren Transporthilfsmittel).

Insgesamt besteht die wirtschaftliche Problemstellung der Planung von Routenzugsystemen also darin, dass

- sehr viele Realisierungsmöglichkeiten für Routenzugsysteme bestehen und eine Untersuchung aller Varianten dadurch sehr zeitaufwendig ist,
- zahlreiche Wechselwirkungen zwischen Elementen im System und an den Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Systemen eine transparente Bewertung erschweren,
- der Planungsprozess individuell durchgeführt wird und dadurch Planungsergebnisse von den Kenntnissen und Erfahrungen der Planer abhängig sind,
- durch die Systemgestaltung nicht nur unmittelbare Investitionen und Betriebskosten sondern auch schwer monetär messbare Zielgrößen (z. B. Wiederbeschaffungszeit) und langfristige Effekte (z. B. gesundheitliche Einschränkungen beim Mitarbeiter) verursacht werden,
- Fehlplanungen hohen Anpassungsaufwand und/oder hohe Kosten im Betrieb der geplanten Systeme nach sich ziehen können.

Aus dieser Problemstellung lässt sich das Potenzial einer strukturierten, modellgestützten Methodik zur Systemgestaltung und integrierten Bewertung für Routenzugsysteme ableiten. In einer solchen Methodik können alle gängigen Routenzugprozesse, -techniken und -steuerungsmöglichkeiten hinterlegt, eine angeleitete und schnelle Bildung von Planungsvarianten unterstützt und für jede Variante eine einheitliche, transparente und ganzheitliche Bewertung unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen der Systembestandteile ermöglicht werden. Der Nutzen der Methodik für Routenzuganwender besteht folglich darin, einen vollständigen Überblick über alle realisierbaren Systeme zu erhalten, schnell für einen spezifischen Anwendungsfall geeignete Planungsvarianten bilden zu können und eine abgesicherte, präzise, ganzheitliche und vergleichbare Systembewertung in der Grobplanung durchführen zu können. Auch Routenzughersteller können von der Methodik profitieren, indem Ansätze zur Verbesserung ihrer Systeme abgeleitet und Systemleistungen angeboten werden können. Ebenso können Beratungsfirmen die Methodik nutzen, um wissenschaftlich abgesicherte Planungsdienstleistungen zu erbringen.

Bei der Erarbeitung einer derartigen Planungsmethodik stellen sich die folgenden wissenschaftlichen Herausforderungen:

- Es müssen alle wesentlichen Bestandteile von Routenzugsystemen sowie deren Gestaltungsalternativen erfasst, abstrahiert und formal beschrieben werden.
- Das Gesamtsystem Routenzug inklusive aller Wechselwirkungen zwischen den Bestandteilen muss auf einem angemessenen Abstraktionsniveau modelliert werden, sodass es möglich ist, eine hinreichend genaue Bewertung aller Zielaspekte durchzuführen, aber gleichzeitig der Modellierungsaufwand überschaubar bleibt.
- Es muss ein Vorgehen zur Bildung von Planungsvarianten erstellt werden. Hierin müssen Regeln hinterlegt sein, in welcher Reihenfolge welche Planungsentscheidungen zu treffen sind, um mit möglichst geringem Aufwand möglichst gute Planungsvarianten für einen spezifischen Anwendungsfall zu entwerfen.
- Berechnungsfunktionen zur Ermittlung der Kenngrößen zur ganzheitlichen Bewertung müssen aufgestellt werden. Dazu müssen die richtigen Daten im Modell für das Gesamtsystem Routenzug hinterlegt, auf diesen Daten basierend die Systembestandteile durch das Modell dimensioniert und die Ergebnisse der Dimensionierung zu Kenngrößen geeignet verdichtet werden.
- Unterschiedliche Bewertungsaspekte (monetäre Größen, Ergonomiegrößen, Flussgrößen) müssen in geeigneter Form zusammengeführt werden, um die Entscheidung für eine Planungsvariante zu ermöglichen.
- Aus dem Modell für das Gesamtsystem Routenzug sind Gestaltungsempfehlungen abzuleiten, welche wiederum in die Entscheidungsregeln in der Planungsmethodik einfließen können.

1.2 Forschungsziel

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer Planungsmethodik zur Auswahl eines geeigneten Routenzugsystems in der Grobplanungsphase. Damit sollen Planer, Betreiber und Hersteller von Routenzugsystemen in die Lage versetzt werden, unterschiedliche Planungsvarianten für ihren spezifischen Anwendungsfall zu bilden und sowohl ganzheitlich als auch aufwandsarm zu bewerten. Die Variantenbildung und ganzheitliche Bewertung des Systems „Routenzug“ wird durch das im Forschungsprojekt zu entwickelnde rechnergestützte Modell unterstützt, welches die

Wechselwirkungen zwischen den Bestandteilen des Systems abbildet, notwendige Berechnungen für die Dimensionierung durchführt und Kenngrößen für die Bewertung ermittelt. Das Modell soll in die Planungsmethodik integriert werden. Die Planungsmethodik soll auch für die Bewertung von Verbesserungsmaßnahmen für bestehende Routenzugsysteme nutzbar sein. Die Methodik soll den Planungsprozess einfacher, schneller und standardisierter machen. Außerdem sollen die Planungsqualität verbessert und Planungsergebnisse reproduzierbar gemacht werden.

Die zu entwickelnde Methodik soll dabei für den Nutzer einfach anzuwenden sein. Alle wesentlichen Bestandteile eines Routenzugsystems inkl. der Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Systemen sowie deren Wechselwirkungen sollen hierzu mit dem Modell abbildbar sein. Des Weiteren soll das Modell alle heute im Einsatz befindlichen Routenzugsysteme berücksichtigen. Eine Erweiterbarkeit des Modells um weitere Routenzugsysteme muss sichergestellt werden, da sich neue Konzepte am Markt etablieren können.

1.2.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Im Rahmen des Forschungsvorhabens soll eine Planungsmethodik für die Grobplanungsphase bzw. für die Phase der Systemverbesserung entwickelt werden. Ein Modell zur Beschreibung, Dimensionierung und Bewertung unterschiedlicher Planungsvarianten ist in die Planungsmethodik integriert. Diese Methodik berücksichtigt die für die Auslegung notwendigen Eingangsdaten. Dazu zählen Angaben zu Ladungsträgern (z. B. Abmessungen, Gewicht), zur Transportmenge (z. B. Paletten pro Stunde und Bereich), zur Struktur (z. B. Entfernung Materialquelle zum Versorgungsbereich, minimale Wegbreiten) und Organisation (z. B. Arbeitszeit, Sicherheitsvorgaben des Unternehmens). Nach Eingabe der Daten sind mögliche Planungsvarianten zu beschreiben. Die Beschreibung des Systems „Routenzug“ erfolgt in den drei Bereichen Steuerung, Prozess und Technik. Im Bereich Steuerung kann mit Hilfe von vordefinierten Bausteinen festgelegt werden, nach welchem Prinzip der Materialabruf erfolgt (z. B. eKanban) und wie die Routenzüge gesteuert werden (z. B. getaktet nach Fahrplan). Aus den Festlegungen im Bereich Steuerung ergeben sich Anforderungen an den Prozess; durch eine Modellierungshilfe wird sichergestellt, dass bei der Prozessbeschreibung diese Anforderungen berücksichtigt werden.

Die Beschreibung des Prozesses soll sich an einem Referenzprozess orientieren, der aus definierten Referenzprozessschritten (RPS) besteht. Die einzelnen RPS können mit Hilfe von vordefinierten Bausteinen beschrieben werden. Die Bausteine repräsentieren für den einzelnen RPS die möglichen Gestaltungsformen dieses Prozessschrittes. Zum Beispiel kann die Beladung des Routenzugs im Lager durch den

1 Einleitung

Fahrer selbst, durch einen anderen Mitarbeiter (Gabelstaplerfahrer) oder automatisiert erfolgen. Auch bei der Prozessbeschreibung wird durch eine Modellierungshilfe sichergestellt, dass der Prozess in sich konsistent ist. Dies bedeutet, dass zugeordnete Bausteine zu einzelnen RPS kompatibel sind und Anforderungen von und an die Steuerung sowie Technik beachtet werden.

Nicht alle RPS des Referenzprozesses sind immer notwendig; die benötigten RPS ergeben sich aus Festlegungen aus dem Bereich Steuerung und Technik sowie aus der Zuordnung von Bausteinen zu RPS. Auch in diesem Fall stellt die Modellierungshilfe sicher, dass der Gesamtprozess schlüssig ist.

Die Beschreibung des Bereichs Technik folgt der Logik der anderen Bereiche, indem die notwendigen technischen Komponenten mit Hilfe von Bausteinen beschrieben werden. Die Darstellung des Systems soll im Modell in einer Beschreibungsebene erfolgen. Ein möglicher Aufbau ist in Abbildung 1-4 dargestellt.

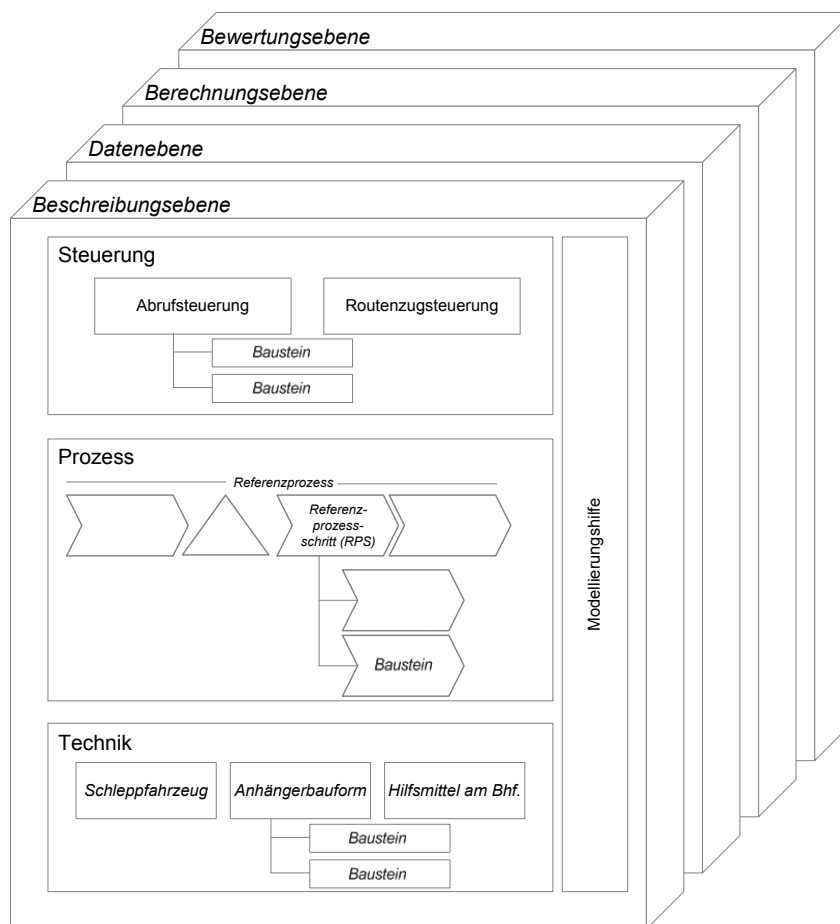


Abbildung 1-4: Beschreibungsebene des Modells

Neben der Beschreibungsebene soll das Modell drei weitere Ebenen umfassen. Die Eingangsdaten, allgemeine Parameter sowie Kennwerte, Zwischenergebnisse und

20

Endergebnisse sollen über eine Datenebene den einzelnen Bausteinen zugeordnet werden. Die für die Dimensionierung notwendigen Funktionen sollen in einer Berechnungsebene hinterlegt werden. In dieser werden auch die Wechselwirkungen zwischen den ausgewählten Bausteinen in der Systembeschreibung abgebildet. Die Bewertung einer Planungsvariante soll in einer Bewertungsebene erfolgen.

Hier werden die Ergebnisse aus der Systemauslegung und -beschreibung zu Bewertungskennzahlen verdichtet. Dabei erfolgt die Bewertung unter verschiedenen Gesichtspunkten, die über einen typischen Vergleich von Investitionen und Kosten hinausgehen. Für die Bewertung einer Planungsvariante sollen zusätzlich ergonomische Kennzahlen (Risikowert, aufzubringende Schiebekräfte) Flusskennzahlen (z. B. Wiederbeschaffungszeit) und weitere qualitative Aspekte bereitgestellt werden. Für die ergonomischen Kennzahlen und qualitativen Aspekte sollen in der Datenebene des Modells bereits Daten und Klassifizierungen aus Messungen und Experteninterviews hinterlegt werden, die eine schnelle und objektive Bewertung ermöglichen. Weiterhin werden in der Datenebene alle notwendigen Investitions- und Kostenparameter abgelegt, damit eine schnelle Investitionsrechnung ohne umfangreiche Marktrecherche möglich ist.

Um die beschriebene Funktionsweise zu erreichen, sollen folgende Zwischenergebnisse erzielt werden:

- **Datenmodell für die Grobplanung**

Um eine Untersuchung unterschiedlicher Routenzugsysteme für einen spezifischen Anwendungsfall zu ermöglichen, ist ein Datenmodell zu erarbeiten, welches alle benötigten Eingangsdaten (z. B. geplante Transportmenge, Ladungsträgertypen) enthält. Hierbei ist insbesondere auf eine sinnvolle Datenstruktur zu achten, welche eine schnelle und zielgerichtete Erhebung der benötigten Daten ermöglicht.

- **Referenzprozess und Bausteine**

Aus den zu analysierenden Routenzugsystemen soll ein allgemeingültiger Referenzprozess, mit dem alle gängigen Routenzugprozesse im für die Bewertung notwendigen Detaillierungsgrad abgebildet werden können, abgeleitet werden. Für die Prozessschritte des Referenzprozesses werden (Gestaltungs-)Bausteine erarbeitet. Damit wird eine Basis geschaffen, die alle typischen Gestaltungsmöglichkeiten für den Prozess enthält. Ebenso wird der Gestaltungsraum für die technischen Komponenten und Steuerungskomponenten mit Hilfe von Bausteinen aufgezeigt.

- **Vorgehensmethodik**

Die Vorgehensmethodik strukturiert den vorgesehenen Planungsablauf und definiert jeweils notwendige Ein- und Ausgangsgrößen der Arbeitsschritte. Weiterhin muss festgelegt werden, wie das zu entwickelnde Modell die einzelnen Planungsschritte unterstützen soll.

- **Bewertungssystem für Routenzüge**

Für die ganzheitliche Bewertung von Routenzugsystemen soll ein System erarbeitet werden, welches monetäre Kennzahlen mit „Fluss“-Kennzahlen, ergonomischen Kennzahlen und qualitativen Aspekten vereint. Das Bewertungssystem wird eine unterschiedlich hohe Verdichtung der Ergebnisse aus der Systemuntersuchung zulassen, angefangen von den detaillierten Ergebnissen der Systemauslegung bis hin zu einem „Management-Summary“, bei dem die Ergebnisse kompakt zusammengefasst werden.

- **Systemmodell „Routenzug“**

In die Planungsmethodik soll ein Modell integriert werden, mit dem Routenzugsysteme mit ihrem Prozess, ihrer eingesetzten Technik und der Steuerung beschrieben werden können. Das abgebildete System umfasst den Routenzug und die Schnittstellen zu den vor- und nachgelagerten Systemen. Das Modell soll die Abbildung der Wechselwirkungen erlauben und Funktionen enthalten, die eine Dimensionierung der wesentlichen Elemente (z. B. Anzahl Routenzüge, Anzahl Mitarbeiter, Flächen) ermöglichen. Die Ergebnisse dieser Auslegung und im Modell hinterlegte Parameter zu den eingesetzten Bausteinen bilden die Basis für die ganzheitliche Bewertung der Planungsvarianten.

- **Analytische Berechnungsfunktionen für die Dimensionierung**

Im Modell soll auf Berechnungsfunktionen zurückgegriffen werden, die eine Dimensionierung des Systems anhand des Datenmodells ermöglichen. Dazu müssen neue Funktionen entwickelt bzw. in der Literatur publizierte Verfahren adaptiert und weiterentwickelt werden.

- **Bewertungsfunktionen für Routenzugsysteme**

Für die Bewertung sollen bekannte Verfahren aus der Investitionsrechnung genutzt werden, welche für diesen Anwendungsfall anzupassen sind. Funktionen zur Berechnung der „Fluss“-Kennzahlen sind anhand der Prozesseigenschaften zu definieren. Für die Bewertung der Ergonomie soll u. a. das Multiple-Lasten-Tool (vgl. [Ins-07]) eingesetzt werden; dieses ist auf die Nutzung im

Modell anzupassen. Zusätzlich sollen für die ergonomische Bewertung Schiebe- und Haltekräfte auf Basis von Messungen ermittelt werden.

- **Demonstrator**

Die Methodik soll in einem Software-Demonstrator umgesetzt werden, der eine benutzerfreundliche Eingabemaske besitzt und modular aufgebaut ist. Neben der Beschreibungs- und Berechnungsfunktionalität sind hierin Auswertungsmöglichkeiten enthalten, mit denen die berechneten Kennzahlen dargestellt werden können und ein Vergleich der untersuchten Planungsvarianten möglich ist. Weitergehende Untersuchungen, z. B. Parameterstudien, werden durch den Demonstrator ermöglicht. Mittels des Demonstrators wird die Methodik evaluiert und den Unternehmen zugänglich gemacht.

- **Gestaltungsempfehlungen**

Die Erfahrungen aus dem Projekt sollen für das Ableiten von Gestaltungsempfehlungen genutzt und durch Parameterstudien mit Hilfe des Demonstrators abgesichert werden. Die Empfehlungen sollen daraufhin wieder in die Planungsmethodik einfließen.

- **Dokumentation**

Um eine spätere große Verbreitung der Forschungsergebnisse sicherzustellen bzw. erst zu ermöglichen soll eine umfangreiche, aber leicht verständliche Dokumentation sowohl von der Planungsmethodik als auch der Funktionsweise des Software-Demonstrators erfolgen.

1.2.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Mit den angestrebten Forschungsergebnissen steht dem Planer von Routenzugsystemen erstmals eine Vorgehensmethodik zur Verfügung, die den gesamten Planungsprozess in der Grobplanung von der Datenerhebung bis zur Bereitstellung der Entscheidungsgrundlage unterstützt.

Das in der Methodik integrierte formale Modell zur Beschreibung, Dimensionierung und Bewertung von Planungsvarianten für Routenzüge steht in dieser oder vergleichbarer Form heute nicht zur Verfügung, ermöglicht es aber, die Gestaltungsmöglichkeiten von Routenzugsystemen in ihrer Gesamtheit aufzuzeigen und quantitative und qualitative Aussagen zur individuellen Eignung für einen spezifischen Anwendungsfall zu treffen. Dies führt zu einer deutlichen Zeitersparnis im Vergleich zum aktuellen Vorgehen bei der Planung, einer höheren Planungsqualität durch die

Berücksichtigung von Wechselwirkungen sowie einer besseren Vergleichbarkeit von Planungsvarianten.

Eine höhere Planungsqualität wird auch damit erreicht, dass bereits bei der Beschreibung der Systeme (im Modell) durch den Planer auf einen konsistenten Prozess geachtet wird (sichergestellt durch die Modellierungshilfe). Hierdurch erfährt der Planer bei der Beschreibung bereits, welche Auswirkungen die einzelnen Festlegungen (z. B. Auswahl einer Routenzugsteuerung) auf den Prozess haben. Die im Modell integrierte und ganzheitliche Bewertung, die größtenteils auf analytischen Berechnungsfunktionen und hinterlegten Bewertungsparametern basiert, ermöglicht eine transparente und reproduzierbare Bewertung der Planungsvarianten. In der Gesamtheit reduziert die Planungsmethodik also das Risiko von Fehlentscheidungen in der Grobplanungsphase von Routenzugsystemen.

Da die Planungsmethodik auch für die Optimierung bestehender Routenzugsysteme eingesetzt werden soll, besteht hier erstmals die Möglichkeit, ohne eine umfangreiche Simulation des Systems die Auswirkungen von Veränderungen auf das System zu beurteilen. Dies umfasst sowohl die Untersuchung von veränderten Eingangsdaten (z. B. steigende Transportmenge) als auch die Umgestaltung bestimmter Systembestandteile. Insgesamt entsteht durch die neue Vorgehensmethodik ein Werkzeug, welches den Anwender in einer frühen Planungsphase bei der Systemgestaltung unterstützt und die Planungsqualität steigert.

1.2.3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Die Bearbeitung des Forschungsprojekts erfolgt in acht aufeinander folgenden Arbeitspaketen, welche nachfolgend vorgestellt werden.

AP 1: Analyse von Routenzugsystemen, Ableitung Referenzprozess und Bausteine: Typische Routenzugsysteme werden im Rahmen von Prozessbeobachtungen aufgenommen und analysiert. Ziel ist die Schaffung einer umfassenden Wissensbasis sowie die anschließende Klassifizierung und Generalisierung der Systeme in Form eines Referenzprozesses sowie eines Katalogs möglicher technischer Lösungen und Steuerungsformen für Routenzugsysteme. Daneben werden Anforderungen an eine Vorgehensmethodik und an notwendige Planungsdaten in den Unternehmen aufgenommen.

AP 2: Entwicklung Vorgehensmethodik und Plandaten: Es wird im Rahmen des zweiten Arbeitspakets eine einfach anwendbare und logische Vorgehensmethodik zur modellgestützten Gestaltung und Bewertung von Routenzugsystemen in der

Grobplanung entwickelt. Darin sind grob die Schritte Ermittlung von Plandaten, Systembeschreibung, Dimensionierung, Bewertung und Entscheidung enthalten. Es wird festgelegt, welche Informationen jeweils benötigt werden, welche Ergebnisse am Ende eines jeden Schritts zur Verfügung stehen sollen und was in den einzelnen Schritten inhaltlich zu tun ist.

AP 3: Entwicklung Bewertungsschema: In AP 3 wird ein Bewertungsschema für Routenzugsysteme entwickelt, welches monetär quantifizierbare und qualitative Eigenschaften, „Fluss“-Kennzahlen sowie ergonomische Kennzahlen beinhaltet. Es wird jeweils festgelegt, nach welchen Regeln die einzelnen Kennzahlen berechnet werden können, welche Eingangsgrößen dafür benötigt werden und an welchen Stellen im abzubildenden Routenzugsystem diese ermittelt werden können.

AP 4: Systemmodellierung und Abbildung der Wechselwirkungen: Die wesentliche Herausforderung besteht in der Modellierung des Systems Routenzug mit allen Wechselwirkungen. In AP 4 werden daher alle wesentlichen Bestandteile des Modells und deren Zusammenwirken beschrieben. Das Modell wird dazu in Ebenen zur Systembeschreibung, Berechnung, Bewertung und Datenhinterlegung gegliedert.

AP 5: Ausarbeitung der Bausteine und Funktionen: Die einzelnen Bestandteile des Modells (Bausteine) werden in diesem Arbeitspaket ausgearbeitet. Dies umfasst die Definition von Prozesszeiten und Belastungswerten, die Beschreibung von Berechnungsfunktionen für Ressourcen (Flächen, Bestände, Mitarbeiter, Zugfahrzeuge usw.) und Entscheidungsregeln als Modellierungshilfe für den Anwender.

AP 6: Umsetzung in softwarebasiertem Demonstrator: Um einen zeiteffizienten Einsatz der Vorgehensmethodik zu ermöglichen, soll die Methodik in diesem Arbeitspaket in einem anwenderfreundlichen softwarebasierten Demonstrator umgesetzt werden.

AP 7: Evaluierung und Verbesserung: Die Logik des entwickelten Vorgehens inklusive des Modells wird durch Anwendung in Testreihen bei Praxispartnern hinsichtlich Richtigkeit und Anwendbarkeit evaluiert. Die Evaluierung erfolgt dabei schwerpunktmäßig bei Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses. Gegebenenfalls werden Anpassungen zur Verbesserung vorgenommen.

AP 8: Dokumentation und Ergebnistransfer: Die erzielten Ergebnisse werden fortlaufend dokumentiert und in einem Forschungsbericht zusammengefasst. Teilergebnisse werden in verschiedener Form veröffentlicht und so der Industrie und Wissenschaft zugänglich gemacht.

Ausgehend von den acht vorgestellten Arbeitspaketen orientiert sich die Struktur der vorliegenden Arbeit an der entwickelten Vorgehensmethodik zur Planung von Routenzugsystemen (vgl. Abbildung 1-5).

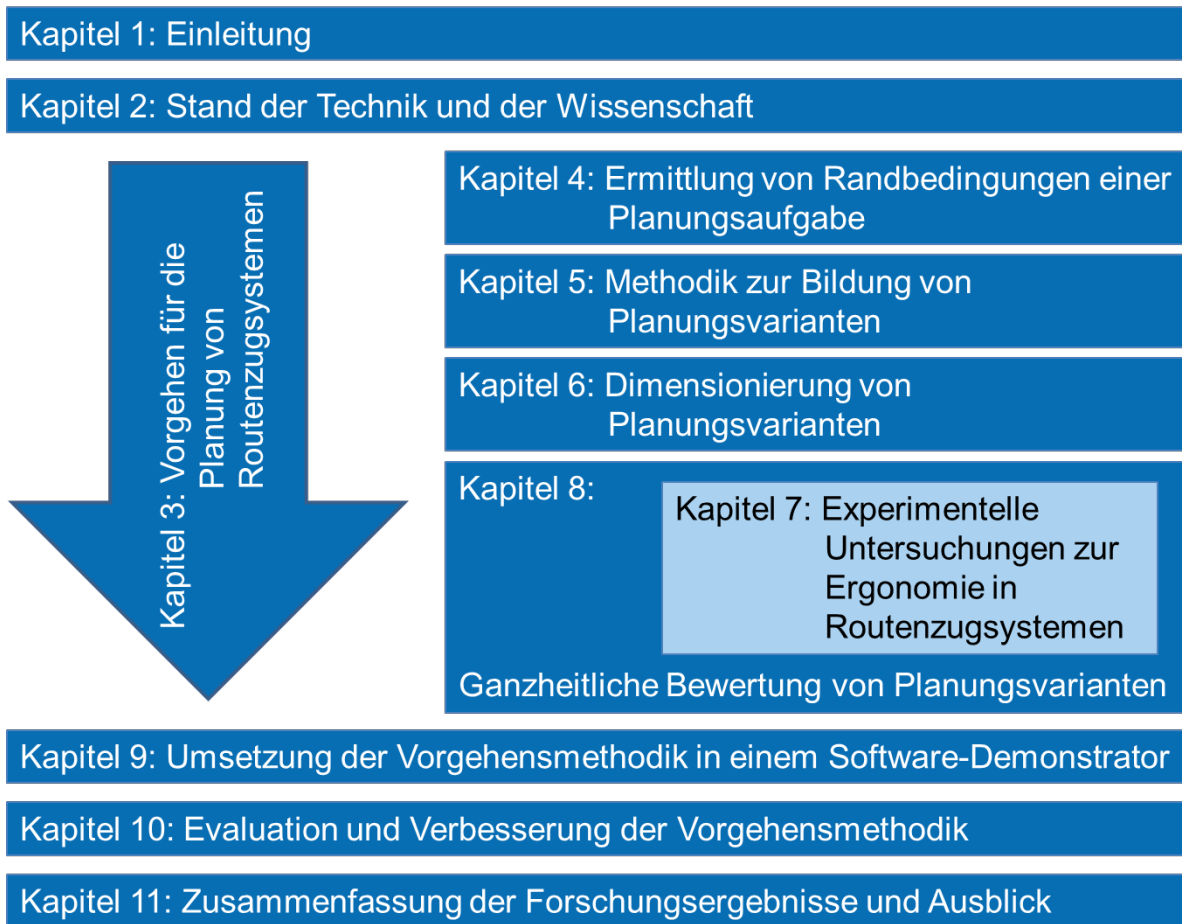


Abbildung 1-5: Gliederung der vorliegenden Arbeit

Im ersten Kapitel erfolgt die Beschreibung der Problemstellung und des Forschungsziels der vorliegenden Arbeit. Der Stand der Technik und der Wissenschaft wird in Kapitel 2 erarbeitet. Basierend auf dem Stand der Wissenschaft und einer Feldstudie zum Vorgehen in Routenzugprojekten wird in Kapitel 3 eine Vorgehensmethodik für die Planung von Routenzugsystemen entwickelt. Als Teilelemente der Vorgehensmethodik erfolgen in den nachfolgenden Kapiteln die Ermittlung von Randbedingungen der Planungsaufgabe (Kapitel 4) sowie die Bildung (Kapitel 5), Dimensionierung (Kapitel 6) und ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten (Kapitel 8). Kapitel 7 beschreibt umfangreiche experimentelle Untersuchungen zur Ergonomie von Routenzugsystemen, die in Kapitel 8 einfließen. Der in Kapitel 9 behandelte softwarebasierte Demonstrator der Vorgehensmethodik dient als zentrales Element für die Evaluation und Verbesserung der Methodik in Kapitel 10. Abschließend werden in Kapitel 11 die erarbeiteten Projektergebnisse zusammengefasst.

2 Stand der Technik und der Wissenschaft

Trotz der steigenden Verbreitung von Routenzugsystemen in Unternehmen unterschiedlicher Branchen ist vergleichsweise wenig Literatur zum Thema verfügbar. Standardwerke wie z. B. [Bau-04], [Klu-10], [Yag-07], [Gün-13] beschränken sich zumeist auf eine Definition der Systeme. Im Allgemeinen beschreiben wissenschaftliche Veröffentlichungen Einzelaspekte der Systemdimensionierung (siehe Abschnitt 2.2); Berichte aus der Praxis stellen einzelne Systeme dar und erläutern deren spezifische Vorteile für bestimmte Einsatzfälle (vgl. [o.V.-11], [Nür-10], [o.V.-09]). Aus diesem Grund wurde am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München im Jahr 2012 eine Studie [Gün-12] durchgeführt, um einen Überblick hinsichtlich Stand und Entwicklung von Routenzugsystemen in der Praxis zu schaffen. Ein Teil der folgenden Ausführungen ist dieser entnommen.

Im folgenden Abschnitt 2.1 werden zunächst das System Routenzug definiert, die wesentlichen Systembestandteile Routenzugprozess, -technik und -steuerung sowie mögliche Realisierungsformen der Bestandteile vorgestellt und der Handlungsbedarf im Hinblick auf die beschriebene Ausgangssituation abgeleitet. In Abschnitt 2.2 werden Vorgehensweisen zur Planung und Dimensionierung von Routenzugsystemen sowie unterstützende Methoden aufgeführt und wiederum ein Fazit in Bezug auf offene Forschungsfragen gezogen.

2.1 Einsatz von Routenzugsystemen

Definition Routenzug

Die nachfolgende Definition folgt im Wesentlichen der VDI Richtlinie 5586. Demnach besteht ein Routenzug aus der Kombination eines Zugfahrzeugs und einem oder mehreren Anhängern. In Sonderfällen kann auch die Versorgung mit Kleinladungsträgern durch einen Niederflurkommissionierer als ein Routenzugprozess aufgefasst werden. Durch einen Routenzug erfolgt auf einer vorgegebenen Route innerhalb eines Betriebs die hochzyklische Versorgung von verschiedenen Materialsenken. Als Quelle für ein solches System dient häufig das Lager des Betriebs, von dem aus entsprechende Teile in den Produktionsprozess eingebracht werden. An den Bereitstellorten gibt es verschiedene Möglichkeiten der Entladung. Zum einen kann die Ladung auf einem zusätzlichen Transporthilfsmittel vom Zug oder Kommissionierer entladen werden, zum anderen ist es möglich, einen vollen Anhänger komplett vom Zug zu trennen. Auch die Aufnahme von Leergut bzw. die Mitnahme entleerter Anhänger erfolgt in diesem Prozessschritt. [VDI5586]

Die beschriebenen Zusammenhänge werden in Abbildung 2-1 grafisch zusammengefasst.

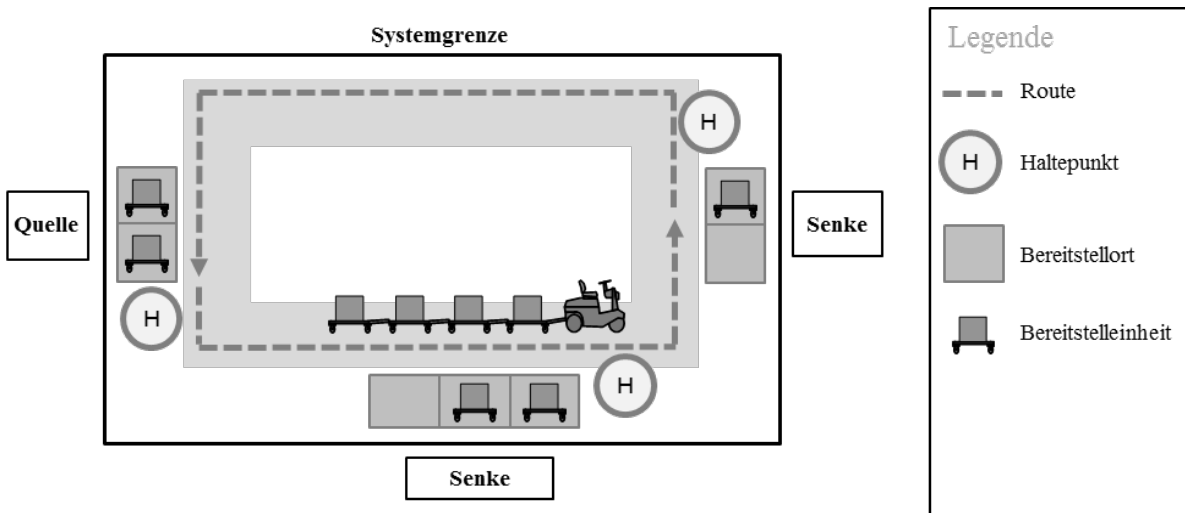


Abbildung 2-1: Schematische Darstellung eines Routenzugsystems [VDI5586]

Das Einsatzgebiet eines Routenzugsystems ist der werksinterne Materialtransport. Auf einer Fahrt versorgt ein Routenzug verschiedene Bereitstellorte mit unterschiedlichen Materialien. Dabei kann es sich um Großladungsträger (GLT), Kleinladungsträger (KLT), Sonderladungsträger (SLT) oder vorkommissionierte Waren (Sets, Sequenzen) handeln, welche der Routenzug an einer Materialquelle (Lager, Supermarkt, Pufferfläche) aufgenommen hat. Ebenso ist ein Einsammeln von Materialien oder Leergut an Bereitstellorten möglich. Routenzüge fahren oftmals auf einer festen Route und befolgen in den meisten Fällen einen zeitlich fixierten Fahrplan (vgl. [Gün-13]). In der Regel kommen in Routenzugsystemen mehrere Routenzüge zum Einsatz.

Der Vorteil gegenüber einem Einzeltransport, z. B. per Gabelstapler, liegt in der Bündelung der Transporte mittels des Routenzugsystems. Durch die Reduktion der Anzahl der Transporte sinkt das innerbetriebliche Verkehrsaufkommen. Als Folge daraus wird der innerbetriebliche Materialfluss beruhigt und die Transparenz im Versorgungsprozess gesteigert. Weiterhin können Personalkosten und Investitionsvolumen je bereitgestelltem Ladungsträger reduziert werden (vgl. [Klu-10], [o.V.-11]).

Im Verständnis der vorliegenden Arbeit erfolgt die Beschreibung eines Routenzugsystems anhand des Routenzugprozesses (Ablauf und Tätigkeiten), der Routenzugtechnik (Zugmaschine und Anhänger) und der Routenzugsteuerung (Informationsflüsse wie z. B. Startzeitpunkt einer Tour), die nachfolgend jeweils genauer beschrieben werden.

Routenzugtechnik

Baerwolff unterscheidet Routenzüge nach den drei folgenden Konzepten für die technische Gestaltung: Trailer-Konzept, Einschub-Konzept und Taxi-Konzept. Während beim Trailerkonzept Ladungsträger direkt auf den Anhängern platziert werden, erfordern die beiden weiteren Konzepte zusätzliche Handschiebewagen. Beim Einschubkonzept wird der Ladungsträger auf einen Handschiebewagen gesetzt und in einen Anhänger eingeschoben. Bei einem Taxi-Konzept hingegen werden die Ladungsträger auf Handschiebewagen seitlich auf einen Anhänger aufgeschoben. [Bae-11]

In [Gün-12] wurde diese Klassifikation hinsichtlich der Bauformen von Routenzügen auf Basis der bei Teilnehmern der zitierten Studie eingesetzten Techniken erweitert (vgl. Abbildung 2-2). Die unterschiedlichen Techniken wurden weiterhin hinsichtlich der Eignung für ein- bzw. zweiseitige Beladung, Flexibilität für unterschiedliche Ladungsträger, Wendekreis, Spurtreue und weiterer, technischer Kriterien bewertet.

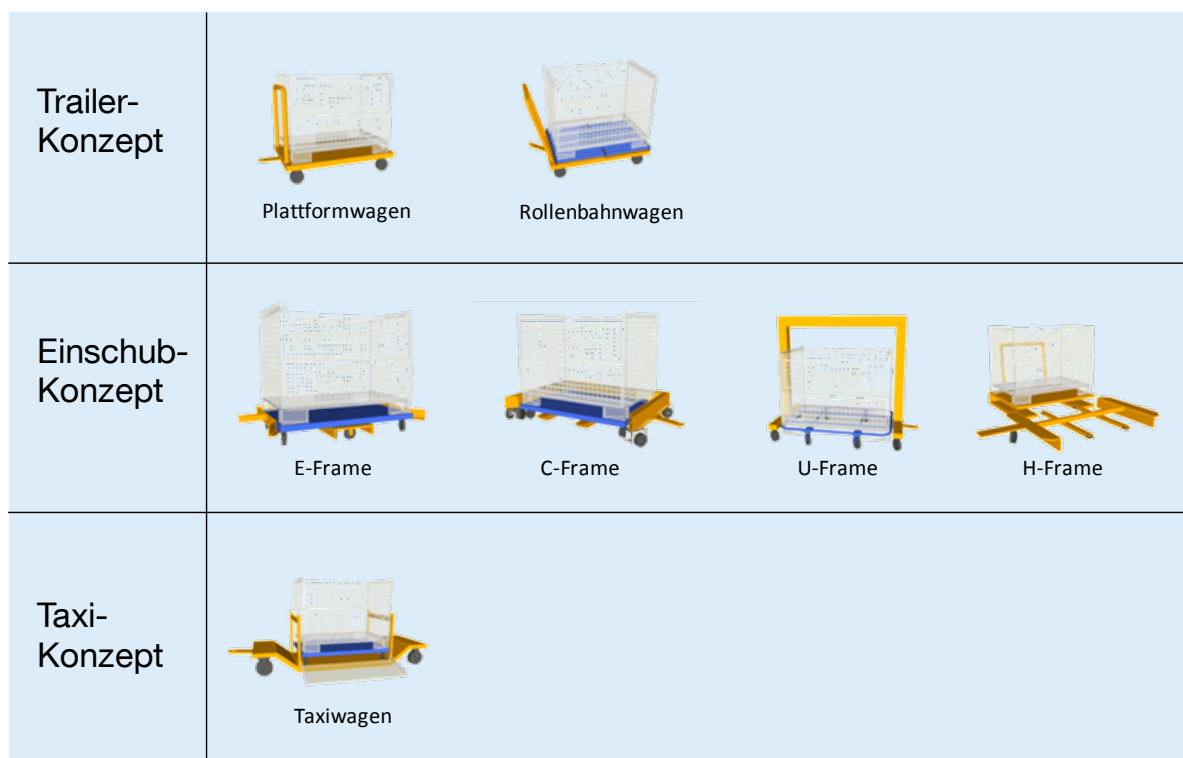


Abbildung 2-2: Klassifikation von Anhängerbauformen [Gün-13b]

Zusätzlich zu den technischen Eigenschaften bringen die zahlreichen verschiedenen Lösungen unterschiedliche Handhabungszeiten, Transportkapazitäten und Investitionen mit sich. Da beispielsweise erst durch die Festlegung von Prozess und Steuerung die gesamte Prozesszeit für einen vollständigen Routenzugzyklus und damit die Anzahl der benötigten Züge und Anhänger bestimmt werden kann, ist ein Vergleich

der technischen Lösungen ohne eine zusätzliche Betrachtung von Routenzugprozess und -steuerung, in denen die jeweiligen Techniken eingesetzt werden, schwierig.

Routenzugprozess

Bei der Arbeit mit einem Routenzugsystem werden die folgenden Prozessschritte durchgeführt: Beladung der Routenzüge mit Material, Transport zu den Bereitstellorten, Entladen des Materials am Bereitstellort, Aufnehmen von leeren Ladungsträgern am Bereitstellort, Transport des Leerguts (zu einem Leergutpuffer o. Ä.) und Entladen des Leerguts (vgl. [Dro-11], [VDI5586]). In vielen Systemen existieren darüber hinaus Sonderprozesse wie beispielsweise das Parken von Anhängern nach der Beladung auf einer Pufferfläche [Gün-12]. In Abbildung 2-3 sind auszugsweise neun dieser Prozesse dargestellt.

Es ist festzustellen, dass Routenzugprozesse auf vielfältige Art und Weise gestaltet werden können; manche Teilprozesse können in vielen Routenzugsystemen beobachtet werden, andere Teilprozesse werden nur in wenigen Systemen durchgeführt. Abhängig davon, welche Prozessschritte wie ausgeführt werden (beispielsweise mit welcher Technik und aufgrund welcher Steuerungslogik), entstehen unterschiedliche Prozesszeiten. Eine von Technik und Steuerung losgelöste Bewertung der Prozesse ist daher ebenfalls nur bedingt realisierbar.

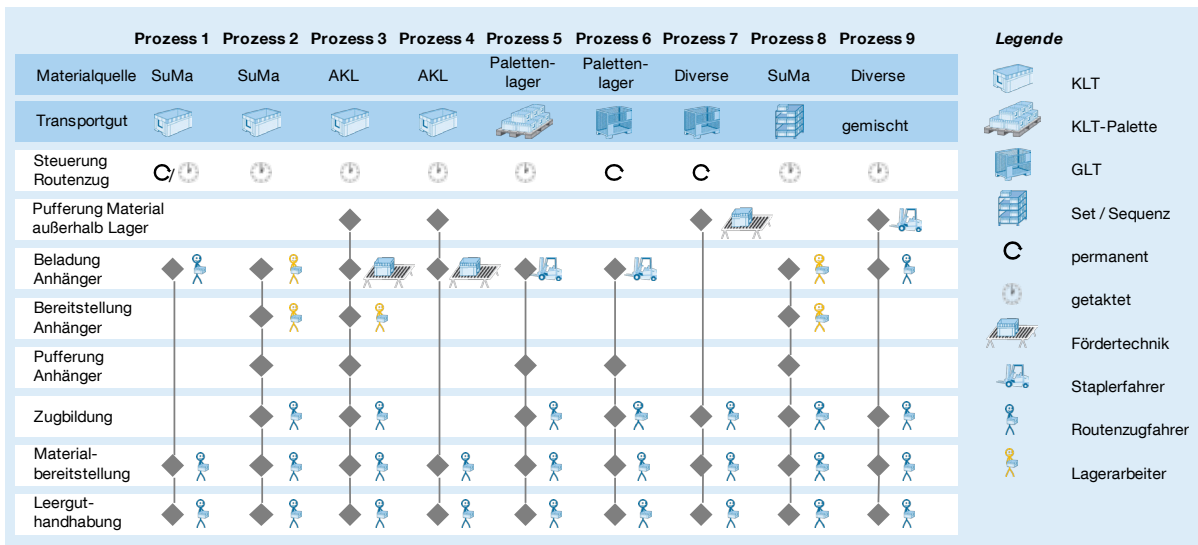


Abbildung 2-3: Beispiele für Routenzugprozesse in der Praxis [Gün-12]

Routenzugsteuerung

Der operative Betrieb von Routenzugsystemen umfasst den Einsatz unterschiedlicher Steuerungsformen. Die Steuerung legt fest, zu welchem Zeitpunkt bzw. aufgrund welchen Ereignisses die Fahrt eines Routenzugs gestartet wird (vgl. [Gün-13]). Meißner ordnet verschiedene Steuerungsformen für Routenzüge hinsichtlich ihrer Eignung für niedrige/ hohe Wiederbeschaffungszeiten und niedrige/ hohe Bedarfschwankungen ein [Mei-13].

Drei in der Praxis umgesetzte Routenzugsteuerungen sind die Formen „Permanent“, „Auslastungsorientiert“ und „Getaktet/ nach Fahrplan“ (vgl. Abbildung 2-4).

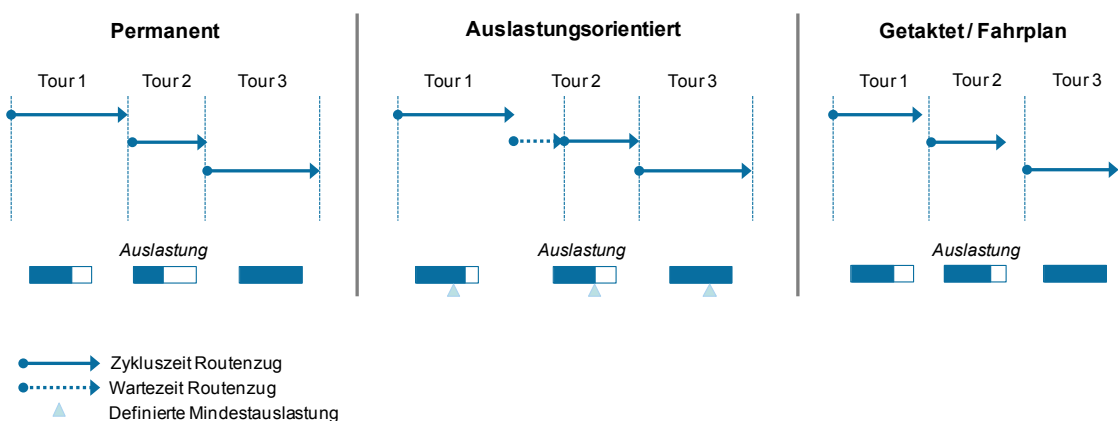


Abbildung 2-4: Steuerungsformen von Routenzugsystemen [Gal-13]

Startet nach dem Ende einer Tour direkt die nächste Tour, wird von einer permanenten Steuerung gesprochen. Im Unterschied dazu gibt eine auslastungsorientierte Steuerung (mit Zeitgrenze) die nächste Tour erst frei, wenn eine definierte maximale Auslastung erreicht wird oder eine maximale Zeitspanne zwischen der letzten und der aktuellen Fahrt vergangen ist. Bei einer getakteten bzw. an einem Fahrplan orientierten Steuerung erfolgt die Abfahrt der Routenzüge zu im Vorhinein fest vorgegebenen Zeitpunkten. Daraus resultiert, dass Wartezeiten im Routenzugzyklus und die Auslastung der Routenzüge von der gewählten Steuerungsform abhängen. Damit werden wesentliche Kenngrößen von Routenzugsystemen, wie der Ressourcenbedarf, auch von der gewählten Routenzugsteuerung mitbestimmt.

Forschungslücke

Wie dargelegt stehen zur Gestaltung von Routenzugsystemen vielfältige Möglichkeiten hinsichtlich der einzusetzenden Technik, des Prozesses und der Steuerungsform zur Verfügung. Gleichzeitig bestehen Gemeinsamkeiten bei den Techniken, Prozessen und Steuerungsformen (z. B. identische Prozessschritte), sodass eine Klassifikation, Abstraktion und damit Zusammenfassung zu typischen Referenzprozessen und Bausteinen möglich ist. Die Auswahl von Technik, Prozess und Steuerung sollte bzw.

kann nicht unabhängig voneinander geschehen, da zum einen nicht jede beliebige Kombination sinnvoll oder möglich ist, zum anderen wesentliche Kenngrößen des Systems wie beispielsweise die Anzahl der benötigten Routenzüge und Mitarbeiter erst nach Auswahl aller drei Bestandteile bestimmt werden können. Daraus folgt, dass für eine fundierte, abgesicherte Planung zunächst ein Überblick über alle möglichen Realisierungsformen erforderlich ist. Des Weiteren muss im Hinblick auf wesentliche Kenngrößen der Systeme und Zielgrößen der Planung Transparenz über das Zusammenwirken der Bestandteile hergestellt werden. Bei einem Vergleich der verschiedenen Planungsvarianten miteinander soll der Aufwand bei der Variantenbildung und -bewertung überschaubar gehalten werden. Aus diesem Grund ist weiterhin ein strukturiertes Vorgehen notwendig, in dem zum Beispiel nicht umsetzbare oder aus der Erfahrung wenig Erfolg versprechende Varianten von vorn herein ausgeschlossen werden können.

2.2 Planungsvorgehen für Routenzugprojekte

Logistische Planungsprozesse lassen sich, wie auch andere Bereiche der Unternehmens- und insbesondere der Fabrikplanung, nach Planungsphasen unterscheiden, die von einem entsprechenden Planungshorizont abhängen. Die strategische Logistikplanung beschäftigt sich dabei vornehmlich mit der Klärung von Standortfragen und entwickelt zudem Grobkonzepte auf Basis von Prämissen, Grobmengengerüsten und Annahmen [Sch-08], [Sch-08b].

In einem nächsten Schritt greift die taktische Logistikplanung Zielsetzungen aus der strategischen Planung auf und konkretisiert die Prozesse sowie die hierzu verwendeten Ressourcen. Als Resultat der taktischen Logistikplanung entsteht ein Katalog von einmalig zu treffenden Maßnahmen, um ein Logistiksystem zu gestalten. [Sch-08b]

Abschließend erfolgt das Anlaufmanagement als Teil der operativen Logistikplanung. Ziel dieses Planungsschritts ist es, den aus der taktischen Planung entstandenen Prozess in einen Serienprozess zu überführen [Fit-06].

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte Vorgehensmethodik und das Bewertungsmodell zur Konzeptauswahl für Routenzugsysteme sind in der Phase der taktischen Logistikplanung angesiedelt. In ebendieser Phase wird ein wesentlicher Teil der Planungsaktivitäten (insbesondere die Festlegung und Ausplanung des Soll-Konzepts) durchgeführt. Deshalb werden im Folgenden verbreitete Vorgehensweisen für die taktische Logistikplanung betrachtet, spezielle Planungsaktivitäten bei der

Auslegung von Routenzugsystemen beleuchtet, derzeit verfügbare Methoden und Werkzeuge vorgestellt und zuletzt der Forschungsbedarf aufgezeigt.

Vorgehensweisen im Rahmen der taktischen Logistikplanung

Im Regelfall werden in der Literatur zwei Modelle für das Vorgehen und die Organisation eines Planungsprozesses logistischer Systeme unterschieden: das sogenannte Top-Down und Bottom-Up Vorgehensmodell. Im Kontext der Fabrikplanung finden analog die Begriffe „analytische Planung“ für Top-Down und „synthetische Planung“ für Bottom-Up Vorgehen Verwendung [Wie-09].

In Anlehnung an VDI-Richtlinien, u. a. Richtlinie 2489, schlägt Allgayer ein auf die Planung logistischer Systeme angepasstes Top-Down Vorgehensmodell vor [All-99], [VDI2489]. Dieses ist durch das sequentielle Vorgehen vom Allgemeinen über mehrere Schritte hin zum Speziellen charakterisiert. In jedem Schritt werden die Ergebnisse des jeweils vorherigen Schritts konkretisiert; auch Rücksprünge sind zugelassen. Die Struktur des Vorgehens und die Inhalte der einzelnen Schritte sind in Abbildung 2-5 zusammengefasst.

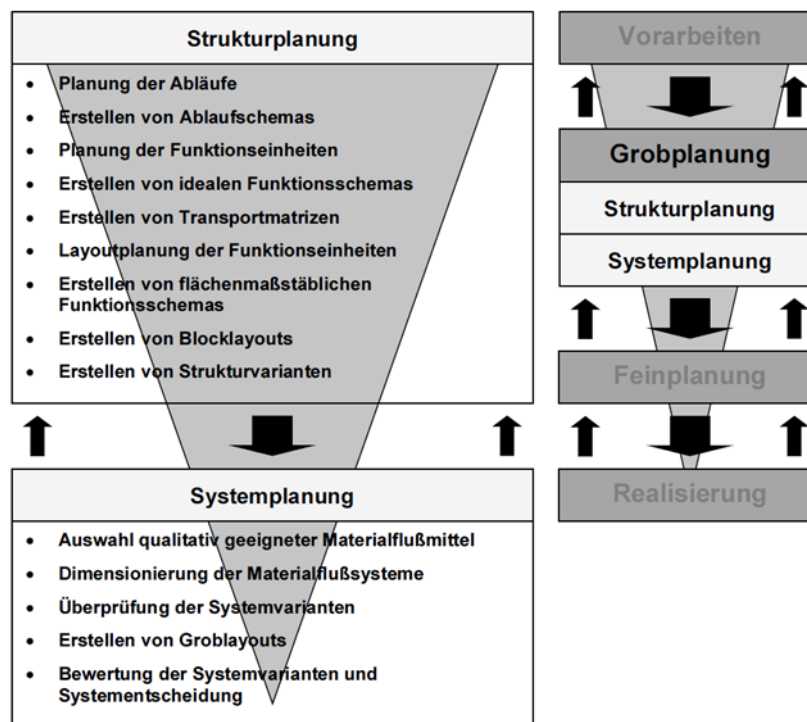


Abbildung 2-5: Top-Down Vorgehensmodell zur Planung logistischer Systeme [All-99]

In Abbildung 2-6 ist die Bottom-Up Vorgehensmethode dargestellt, welche im Kontext der innerbetrieblichen Logistikplanung auch als Line-Back Prinzip bezeichnet wird. Dieses Modell bildet den Kontrapart zur Top-Down Methode. Hierin wird als zentrale Prämisse davon ausgegangen, dass der Bereitstellort am Produktionsort

den Engpass im System darstellt und somit den Ausgangspunkt des Planungsprozesses bilden soll [Klu-10]. Die Planung und Ausgestaltung der Einzelschritte beginnt beim eigentlichen Kunden – der Produktion – und verläuft schrittweise entgegengesetzt des physischen Materialflusses bis zum Lieferanten [Bop-08].

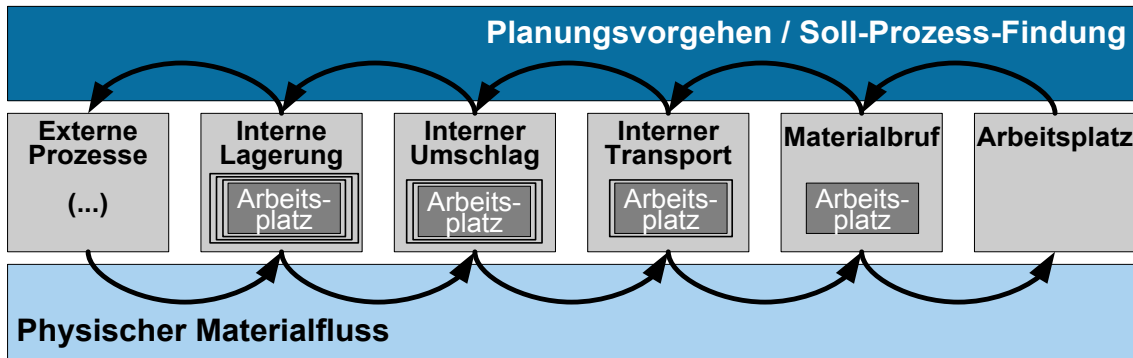


Abbildung 2-6: Line-Back Planungsverfahren [Klu-10]

Vorgehensmodell und typische Methoden im Kontext Routenzugplanung

Die Studie „Stand und Entwicklung von Routenzugsystemen für den innerbetrieblichen Materialtransport“ hat das Planungsverfahren bei der Einführung von Routenzügen in Kooperation mit 13 Unternehmen untersucht. Das Ergebnis ist in Abbildung 2-7 dargestellt. [Gün-12]

Brungs beschreibt ebenfalls ein sequenzielles Vorgehensmodell bestehend aus den Phasen „Voruntersuchungen“, „Konzeptplanung“ und „Aufgabenplanung“ [Bru-12]. Die einzelnen Planungsaktivitäten gleichen größtenteils denen in Abbildung 2-7, werden zum Teil aber in leicht veränderter Reihenfolge ausgeführt.

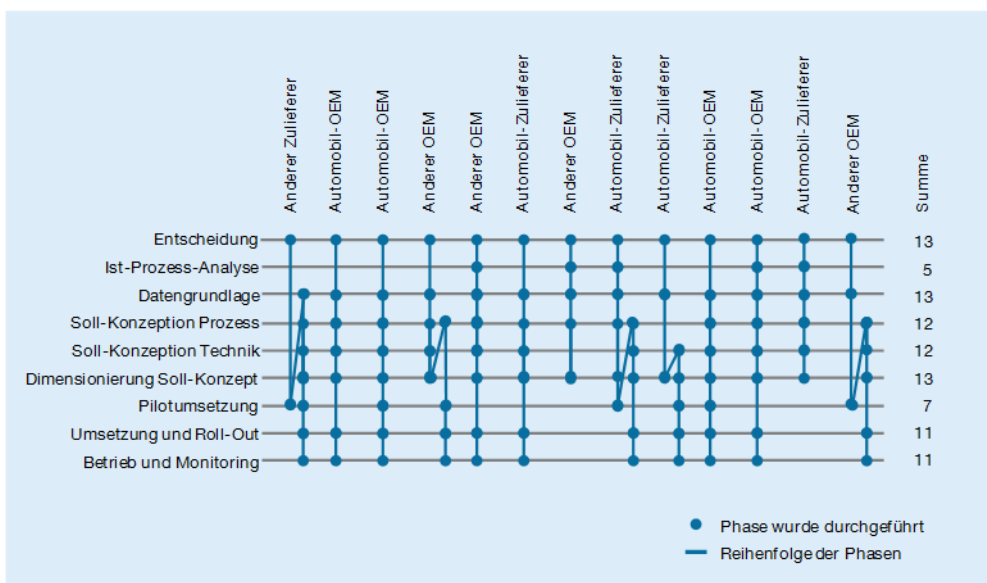


Abbildung 2-7: Planungsschritte bei der Routenzugeinführung [Gün-12]

Oftmals bildet eine strategische Forderung den Anlass zur Routenzugeinführung. Hintergrund ist dabei der Wunsch, effizientere und stabilere Prozesse zu realisieren. Dennoch ist ein methodisch unterstützter Entscheidungsprozess durch einen Vergleich verschiedener Transportkonzepte möglich. So vergleicht Schulz den Sammeltransport mittels Routenzug mit dem Direktverkehr (beispielsweise Staplertransport). Daraus lässt sich über einen Vergleich der Handhabungszeiten je Behälter ableiten, ab welcher Entfernung zwischen Quelle und Senke die Routenzugversorgung wirtschaftlicher ist. [Sch-13]

Ist die Entscheidung zur Routenzugeinführung getroffen, kann mit dem eigentlichen Planungsprozess begonnen werden. Dieser Planungsprozess umfasst als Vorarbeiten eine Ist-Prozess-Analyse und die Ermittlung der Datengrundlage als Planungsbasis, um relevante Mengen- und Layoutdaten zu erheben. In dieser Phase kann ein umfangreicher Methodeneinsatz festgestellt werden. So können Daten unter anderem mittels Ist-Prozess-Analysen und Materialflussuntersuchungen nach VDI-Richtlinie 2689, ABC-, Bedarfs- oder Verbrauchsanalysen erhoben und analysiert werden [VDI2689]. Für die übersichtliche Darstellung der Hauptmaterialflüsse eignen sich beispielsweise Sankey-Diagramme [Ber-03].

Die Definition von Abläufen im physischen Materialfluss und dem Informationsfluss sowie die Auswahl technischer Einrichtungen erfolgt während der Grobplanungsphasen „Soll-Konzeption Prozess“ und „Soll-Konzeption Technik“. Günthner et al. geben einen qualitativen Überblick über die Vor- und Nachteile verbreiteter Prozess-, Technik- und Steuerungskonzepte. [Gün-13]

Nach der Definition des Soll-Prozesses und des Technikkonzepts kann dessen Dimensionierung erfolgen, worunter die Festlegung der Anzahl und Verläufe der Routen, der Anzahl an Routenzügen und Mitarbeitern fällt. Zudem werden weitere Ressourcen bestimmt (z. B. Bahnhofsfächen) sowie Versorgungstakte (Zykluszeiten der Routenzüge) berechnet.

Aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge werden oft spezielle Algorithmen, Softwareprodukte und Simulationswerkzeuge zur Lösung von Teilproblemen eingesetzt. Dreher beschreibt einen heuristischen Ansatz, welcher aus einer Erstdefinition von Routen und deren anschließender Optimierung besteht. Zielgröße ist hier die Anzahl an Routenzügen, welche sich aus den Fahr- und Handhabungszeiten bei der jeweiligen Routenführung ergibt. Der Algorithmus arbeitet mit dem kommerziellen Softwareprodukt MALAGA der Firma ZIP. [Dre-09]

Droste hingegen schlägt ein Modell zur Berechnung der idealen Zykluszeit unter zeitlichen und ergonomischen Restriktionen vor. Die Zykluszeit des Routenzugs wird darin iterativ berechnet. Die Berechnung erfolgt derart, als dass die zeitliche Auslastung des Fahrers optimal ist und die körperliche Belastung durch den manuellen Behältertausch definierte Grenzwerte nicht überschreitet. [Dro-11]

Weitere Methoden, die sich in der Literatur finden, kommen derzeit in der Praxis selten zur Anwendung. Vaidyanathan und Gyulai stellen jeweils heuristische Lösungen für ein Routenplanungsproblem bei innerbetrieblichen Transporten unter Kapazitätsrestriktionen vor. In beiden Arbeiten ist die Gesamtdauer aller Routenzugtouren Zielgröße der Optimierung bei der jeweiligen Routenführung. [Vai-99] [Gyu-13]

Emde widmet sich der exakten Lösung eines kombinierten Routenplanungs- und Terminierungsproblems. Mittels dynamischer Programmierung wird eine Zielfunktion minimiert, welche neben der Anzahl an Routenzügen (Routenplanung) auch die Bestandskosten (Terminierung der Touren) berücksichtigt [Emd-11]. Kilic und Durmusoglu beschreiben ein analytisches Modell zur Routenoptimierung unter Berücksichtigung der Anzahl an Routenzügen und der zurückgelegten Fahrstrecken [Kil-13].

An die Dimensionierung schließen sich die Feinplanungsphase und die Realisierung (operative Logistikplanung) an, welche im Folgenden nicht näher betrachtet werden.

Forschungslücke

Derzeit folgt die Planung von Routenzugsystemen dem klassischen Top-Down Ansatz, in dem mehrere aufeinander folgende Phasen durchlaufen werden. Jedoch werden die einzelnen Planungsschritte in unterschiedlicher Intensität und teils in unterschiedlicher Reihenfolge durchgeführt. Die Ausplanung und Dimensionierung verschiedener Konzepte im Rahmen der Variantenbildung, deren anschließende Bewertung und schließlich die Auswahl des Soll-Konzepts finden jedoch nicht oder nur sehr eingeschränkt statt.

Das Soll-Konzept beeinflusst wichtige Zielgrößen wie z. B. laufende Kosten, Investitionen und ergonomische Belastung wesentlich. Daher gilt es, der Variantengenerierung und -bewertung einen höheren Stellenwert beizumessen. Im Vorgehensmodell nach [Alg-99] und [VDI2489] sind diese fester Bestandteil des Planungsprozesses. Allerdings liegt bei dieser Variantengenerierung der Fokus weniger auf der Prozess- und Steuerungsgestaltung als auf den Elementen „Struktur“ (Layout) und „Materialflusstechnik“. Es gilt also ein angepasstes Vorgehensmodell für die spezifischen Planungsaufgaben im Rahmen der Konzeption und Dimensionierung von Routenzugsystemen zu entwickeln.

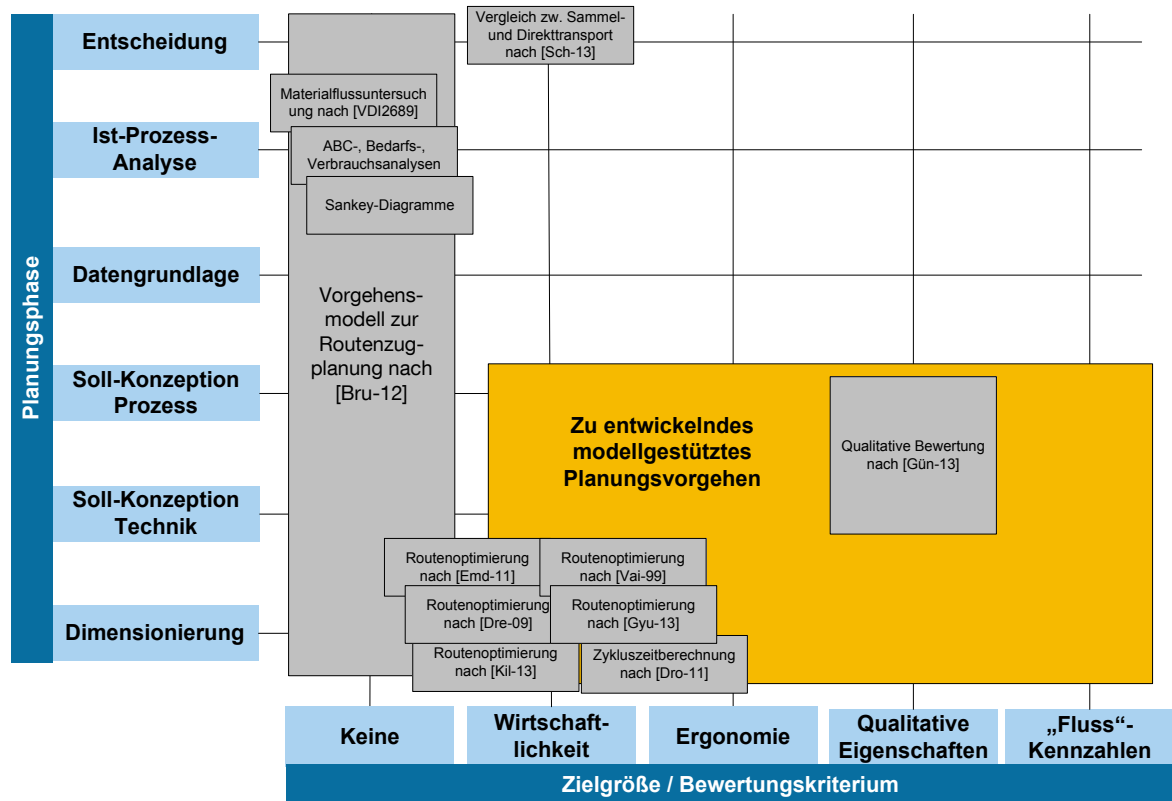


Abbildung 2-8: Verfügbare Methoden zur Routenzugplanung gruppiert nach Planungsphase und Zielgröße

Ersichtlich sind zudem Defizite bei den im vorherigen Abschnitt beschriebenen Planungsmethoden. Aus Abbildung 2-8 ist erkennbar, dass Planungsmethoden derzeit primär während der Datenanalyse und Dimensionierung verbreitet sind und jeweils nur zur Lösung von Teilproblemen eingesetzt werden. Daneben ist der geringe Methodeneinsatz (abgesehen von unternehmensinternen Standardprozessen) während der Phasen der Konzeptgestaltung auffällig. Getroffene Entscheidungen werden in keiner der Methoden integriert bewertet. Weiterhin ist ersichtlich, dass die Methoden jeweils nur Einzelaspekte bewerten bzw. hinsichtlich einzelner Zielgrößen optimieren. Eine integrierte Betrachtung aller leistungsbestimmender Aspekte des Routenzugsystems erfolgt derzeit nicht.

Durch die Realisierung des skizzierten Planungsvorgehens soll auf Basis einer umfassenden und strukturierten Betrachtung von Lösungsmöglichkeiten sowie einer detaillierten Analyse der entscheidungsrelevanten Zielkriterien die Grundlage für eine deutlich fundiertere Auswahlentscheidung in der Planungsphase geschaffen werden. In der Konsequenz sollen durch die im folgenden Kapitel 3 entwickelte Vorgehensmethodik die Planungsqualität gesteigert werden und Routenzugsysteme besser auf die konkreten Anforderungen einer Planungsaufgabe angepasst werden können.

3 Vorgehen für die Planung von Routenzugsystemen

Basierend auf der Analyse des zur Planung von Routenzugsystemen erarbeiteten Stands der Wissenschaft (siehe Abschnitt 2.2) und einer Feldstudie zum Vorgehen bei Routenzugplanungen (siehe Abschnitt 3.1) wird in Abschnitt 3.2 das Zielbild für die Planung von Routenzugsystemen entwickelt. Auf dem Zielbild aufbauend wird in Abschnitt 3.3 mit der „Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen“ das zentrale Element des Forschungsvorhabens vorgestellt. Teilelemente des vorliegenden Kapitels sind in [Keu-16e] veröffentlicht.

3.1 Feldstudie zur Analyse des Vorgehens in Routenzugplanungen

Im Forschungsvorhaben wurden 18 Prozessanalysen von realisierten Routenzugsystemen durchgeführt und in diesem Rahmen die verantwortlichen Planer zum Vorgehen bei der Planung des Systems befragt. Darüber hinaus wurde eine Befragung von weiteren Experten aus dem Themenbereich Routenzug (Hersteller, Anwender und Unternehmensberater) zum Vorgehen in Routenzugprojekten durchgeführt.



Abbildung 3-1: Analyse des Vorgehens in Routenzugprojekten (n=24) [Keu-16e]

3 Vorgehen für die Planung von Routenzugsystemen

Auf Basis der Expertenbefragungen werden nachfolgend Aussagen zum Status quo sowie Optimierungspotenziale bei der Planung von Routenzugsystemen abgeleitet. In Abbildung 3-1 ist dargestellt, in welcher Abfolge die Systemelemente Technik, Prozess und Steuerung in den betrachteten Projekten festgelegt worden sind. In mehr als der Hälfte der analysierten Routenzugprojekte wurde der Prozess vor der Technik ausgewählt; die Technik bestimmt den Prozess in 38 Prozent der Fälle. Eine parallele Entscheidung über Prozess und Technik erfolgte in zwei von 24 Projekten.

Ergänzend ist die oftmals geringe Anzahl an Entscheidungskriterien zu erwähnen, die bei dem sequenziellen Durchlauf der Planungsphasen in den einzelnen Phasen berücksichtigt wurde. Hierbei wurden primär wirtschaftliche Kriterien wie die erforderlichen Investitionen für die Routenzugtechnik betrachtet.

Um den Themenkomplex der bei der Routenzugplanung zu berücksichtigenden Bewertungskriterien genauer zu beleuchten, wurden die Routenzug-Experten dazu befragt, welche Kriterien derzeit bei der Planung mit einbezogen werden und welche Kriterien ihrer Einschätzung nach in einer routenzugspezifischen Planungsmethodik betrachtet werden sollten (siehe Abbildung 3-2).

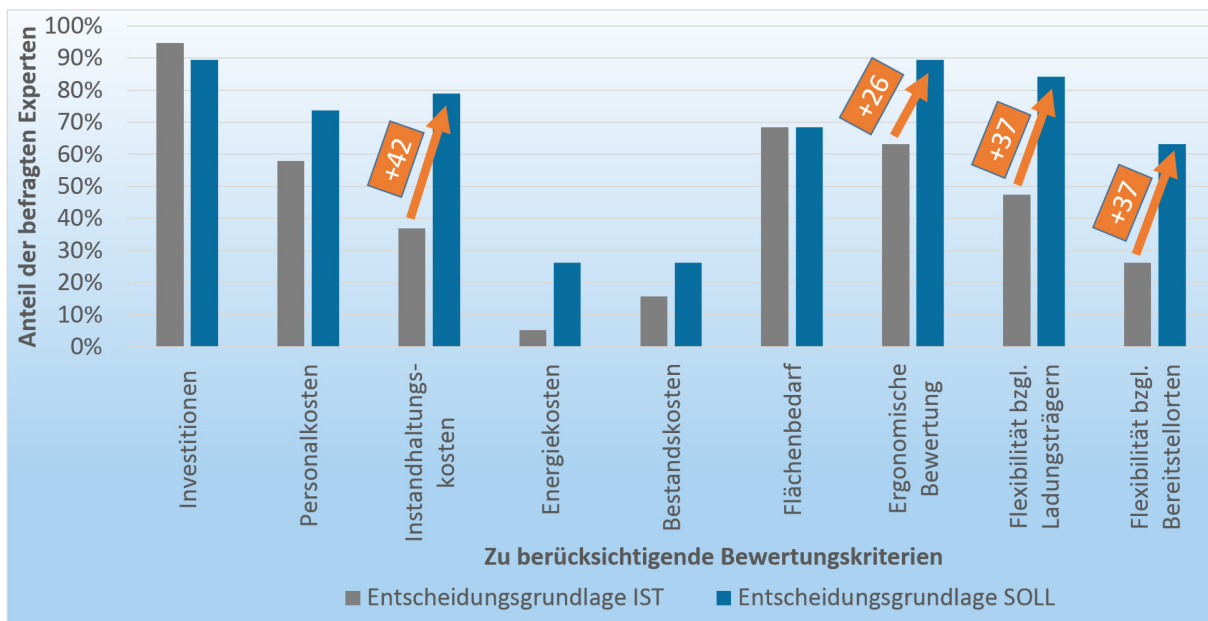


Abbildung 3-2: Experten-Einschätzung der Relevanz von Bewertungskriterien (n=19)

Die Grafik zeigt in nahezu allen untersuchten Routenzugprojekten die Berücksichtigung der Investitionen als Bewertungskriterium; ebenso sehen 90 Prozent der Befragten die Investitionen für die zu entwickelnde Planungsmethodik als relevantes Kriterium.

3.1 Feldstudie zur Analyse des Vorgehens in Routenzugplanungen

Hervorzuheben ist, dass das Bewertungskriterium Ergonomie ebenfalls von 90 Prozent der Experten in einer routenzugspezifischen Planungsmethodik als relevant angesehen wird. Die auffallendste Veränderung ist bei den Instandhaltungskosten zu verzeichnen, bei denen sich mit einer Steigerung um 42 Prozentpunkte die Zahl der Nennungen für den SOLL-Zustand gegenüber dem IST-Zustand mehr als verdoppelt hat. Auch die Flexibilität bezüglich Ladungsträgern und Bereitstellorten sollte nach Einschätzung der Routenzug-Experten in der zu entwickelnden Planungsmethodik deutlich häufiger berücksichtigt werden als es in heutigen Routenzugprojekten der Fall ist.

In einer weiteren Frage wurden die Routenzug-Experten um eine Einschätzung gebeten, welche in einem Routenzugsystem anfallenden Teilprozesse im Rahmen der Grobplanung des Systems berücksichtigt werden sollten. Abbildung 3-3 zeigt die Anzahl der Befragten, die eine Betrachtung der entsprechenden Teilprozesse für relevant hält.

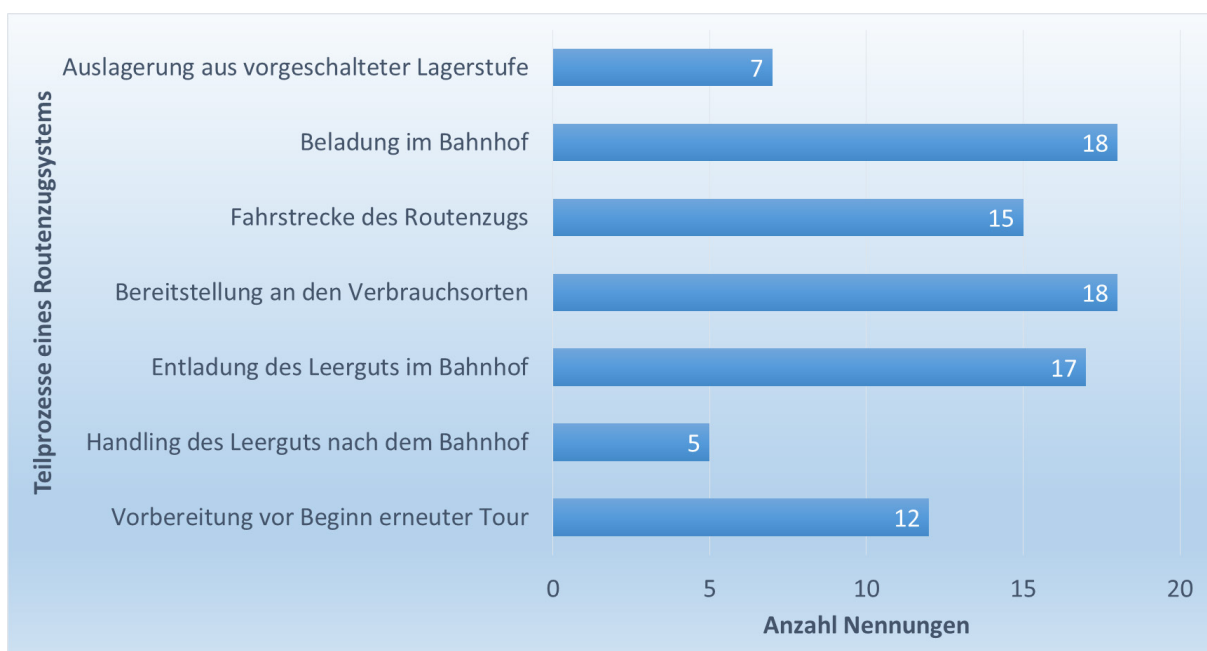


Abbildung 3-3: Experten-Bewertung zur Relevanz der Teilprozesse eines Routenzugsystems für die Grobplanung (n=19)

Aus der Darstellung geht hervor, dass für die Mehrheit der Befragten der im Rahmen der zu entwickelnden Planungsmethodik zu betrachtende Standardprozess die Teilprozesse Beladung, Fahrt, Bereitstellung sowie Leergut-Entladung umfasst. Knapp zwei Drittel der Experten sieht ebenfalls die „Vorbereitung vor einer erneuten Tour“ als relevant an. Die Teilprozesse „Auslagerung aus vorgeschalteter Lagerstufe“ und „Handling des Leerguts nach dem Bahnhof“ werden dagegen von deutlich weniger Befragten in der Grobplanung von Routenzugsystemen für wichtig erachtet.

3.2 Ableitung eines Zielbilds für die Planung von Routenzugsystemen

Die im Rahmen der vorgestellten Feldstudie (vgl. Abschnitt 3.1) aufgenommenen Routenzugprojekte wurden in Zusammenarbeit mit im Forschungsprojekt beteiligten Industriepartnern hinsichtlich der Zielerreichung analysiert. In einer Vielzahl von Projekten konnte der in Abbildung 3-1 dargestellte sequenzielle Durchlauf der Planungsphasen als Ursache für eine nicht optimale Erfüllung der Anforderungen der gestellten Planungsaufgabe gefunden werden.

In einem der analysierten Projekte wurde beispielsweise eine Routenzugtechnik aufgrund einer Zusatzfunktion ausgewählt und beschafft. Nach einer detaillierten Gegenüberstellung von Prozessalternativen in einem späteren Planungsschritt wurde ein Prozess festgelegt, in dem ein Einsatz der kostenintensiven Zusatzfunktion der Routenzugtechnik nicht möglich ist. In dem im Projekt realisierten Routenzugsystem wird somit aufgrund des sequenziellen Durchlaufs der Planungsphasen eine Technik eingesetzt, die nicht ideal mit dem Prozess harmoniert und somit zu einem unvorteilhaften Gesamtsystem geführt hat.

In einem weiteren analysierten Projekt zeigten sich die Folgen der Betrachtung einer zu geringen Anzahl an Entscheidungskriterien im Planungsprozess; die Systementscheidung wurde in diesem Fall fast ausschließlich auf Basis wirtschaftlicher Kriterien getroffen. Nach der Einführung des Routenzugs wurden in diesem Projekt körperliche Belastungen der Routenzugfahrer auf einem kritischen Niveau festgestellt. In der Konsequenz war man gezwungen, durch nachträgliche kostenintensive Maßnahmen die Ergonomie des Systems zu verbessern. Neben einem signifikanten Zusatzinvest führte die nachträgliche Einführung ergonomischer Handhabungshilfen zu einem Prozess mit deutlich erhöhten Bereitstellzeiten. Die Berücksichtigung der Ergonomie in einer früheren Phase hätte in diesem Fall zu einer in Summe sowohl ergonomisch als auch wirtschaftlich deutlich optimaleren Lösung geführt.

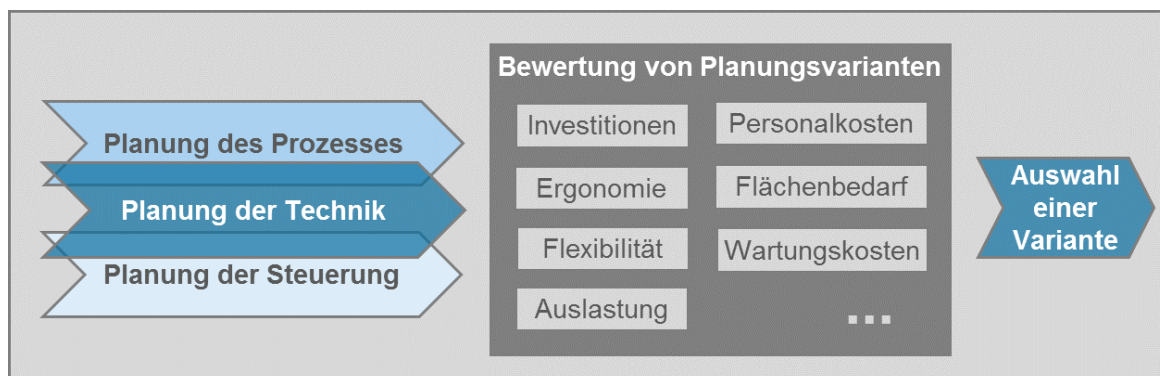


Abbildung 3-4: Zielbild für die Planung von Routenzugsystemen [Keu-16e]

Die exemplarisch skizzierte Analyse von Problemen in abgeschlossenen Routenzugplanungen bietet die Grundlage für die Erarbeitung des in Abbildung 3-4 dargestellten Zielbilds für die Planung von Routenzugsystemen. Dieses Zielbild beinhaltet zum einen die Parallelisierung der Planung von Technik, Prozess und Steuerung und zum anderen eine ganzheitliche Bewertung unterschiedlicher Planungsvarianten auf Basis einer Vielzahl von berücksichtigten Bewertungskriterien. Auf diese Weise wird durch den ganzheitlichen Vergleich mehrerer Planungsvarianten eine fundierte Auswahlentscheidung unterstützt.

3.3 Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen

Das im vorangegangenen Abschnitt 3.2 vorgestellte Zielbild für die Planung von Routenzugsystemen bietet die Grundlage für das im Forschungsvorhaben entwickelte standardisierte Vorgehen für die Planung von Routenzugsystemen. Abbildung 3-5 zeigt einen Überblick über die in unterschiedlichen Entwicklungsschleifen erstellte Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen.

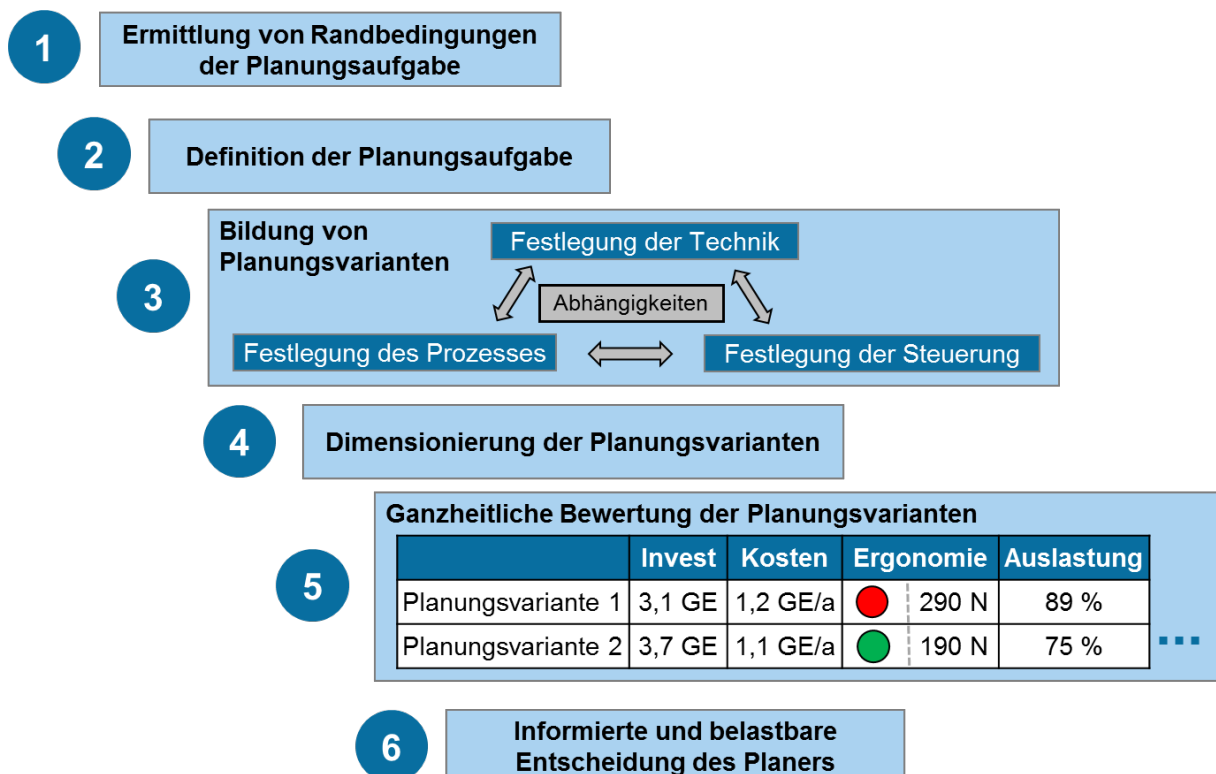


Abbildung 3-5: Überblick über die Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen (vgl. [Keu-16c])

Neben der im Zielbild propagierten Parallelisierung der Planung von Technik, Prozess und Steuerung (vgl. Abbildung 3-4) beinhaltet der Ansatz der integrierten Planung ebenfalls die Abbildung von Wechselwirkungen zwischen den drei Planungsdimensionen Technik, Prozess und Steuerung. Darüber hinaus wird die integrierte Planung durch ein durchgängiges Planungsvorgehen gekennzeichnet, in dem sowohl Bildung, Dimensionierung als auch Bewertung von Planungsvarianten auf Basis einer projektspezifischen Datengrundlage erfolgt.

Die Teilelemente der entwickelten Vorgehensmethodik werden in den folgenden Abschnitten detailliert betrachtet und mitsamt der erarbeiteten Berechnungslogiken vorgestellt. Die in Punkt 1 der Vorgehensmethodik ermittelten Randbedingungen der Planungsaufgabe (siehe Kapitel 4) führen unter anderem zu einer Einschränkung des Spielraums bei der Bildung von Planungsvarianten im Punkt 3 (siehe Abschnitt 5.2). Die Dimensionierung der gebildeten Planungsvarianten in Punkt 4 (siehe Kapitel 6) beinhaltet beispielsweise die Ermittlung von Flächenbedarf, Zykluszeit und Anzahl der erforderlichen Systemelemente. In der in Punkt 5 der Vorgehensmethodik durchgeführten ganzheitlichen Bewertung der Planungsvarianten (siehe Kapitel 8) werden neben einer Wirtschaftlichkeitsrechnung auf Basis einer dynamischen Investitionsrechnung ebenfalls nicht monetär quantifizierbare Kriterien wie Ergonomie, Flexibilität oder Robustheit von Prozess und Technik berücksichtigt. Um stark verkürzte Iterationsschritte in der Planung von Routenzugsystemen zu ermöglichen, wird die Vorgehensmethodik in einem Software-Demonstrator umgesetzt (siehe Kapitel 9). In Kapitel 10 wird die Evaluation und Verbesserung der Vorgehensmethodik auf Basis von Anwendertests und Parameterstudien betrachtet.

3.4 Ergebnis

Die entwickelte Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen bildet das zentrale Element des in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Forschungsvorhabens. Die Methodik ermöglicht die parallelisierte Planung von Technik, Prozess und Steuerung eines Routenzugsystems für eine konkrete Planungsaufgabe. Durch Bildung, Dimensionierung und ganzheitliche Bewertung unterschiedlicher Planungsvarianten wird auf Basis einer umfassenden Informationsbereitstellung eine belastbare Systemgestaltung durch den Logistikplaner ermöglicht. Die Umsetzung der Vorgehensmethodik in einem softwarebasierten Demonstrator beschleunigt darüber hinaus den Erkenntnisgewinn erheblich, da in kurzen Iterationszyklen der direkte Effekt von Veränderungen der Planungsvarianten auf die systemrelevanten Kennzahlen abgebildet werden kann.

4 Ermittlung von Randbedingungen einer Planungsaufgabe

Ein zentrales Element der entwickelten Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen ist die durchgehende Datenbasis, auf der die Bildung, Dimensionierung und Bewertung von Planungsvarianten erfolgt. In diesem Kapitel wird darauf eingegangen, welche Daten in der ersten Phase einer Routenzugplanung erhoben werden müssen, um die Vorgehensmethodik vollumfänglich einsetzen zu können. Gleichmaßen werden, über eine reine Aufnahme von Eingangsparametern und Stammdaten hinausgehend, die zentralen Entscheidungen herausgestellt, die bereits im Vorfeld der Planung eines Routenzugsystems vom Logistikplaner bzw. vom Unternehmen zu treffen sind. Die aufzunehmenden Randbedingungen werden hierbei unterschieden in die Charakterisierung der in der Planung zu berücksichtigenden Materialflussanforderungen (Abschnitt 4.1), allgemeine Unternehmensvorgaben (Abschnitt 4.2) und die Ziele der Planung (Abschnitt 4.3). Weiterhin sind die Charakteristika des zu beplanenden Layouts (Abschnitt 4.4) und der zu transportierenden Ladungsträger (Abschnitt 4.5) zu definieren.

4.1 Materialflussanforderungen

Eine für das weitere Vorgehen bei der Planung eines Routenzugsystems entscheidende Festlegung betrifft die vom Routenzug bereitzustellende Ladung. Als Bereitstellereinheit können grundsätzlich GLT, KLT oder behälterlos bereitgestellte Bauteile in Betracht gezogen werden. Es ist festzuhalten, dass es für die isolierte Planung eines Routenzugsystems für den Transport von GLT nicht von Relevanz ist, ob es sich um Gitterboxen, Paletten, Sequenzgestelle, Carsets oder komplette KLT-Regale handelt, da für die Systemgestaltung die Transportaufgabe mit dem Transport eines GLT von Quelle zu Senke ausreichend detailliert festgelegt ist. Sonstige Informationen zu Abmessungen und Gewichten der Ladungsträger werden im Abschnitt 4.5 thematisiert.

Die Wahl der Bereitstellereinheit hat einen starken Einfluss auf unterschiedlichste Unternehmensprozesse; nur durch eine detaillierte Analyse der betroffenen Prozesse kann eine Entscheidung mit Blick auf das Gesamtoptimum für das jeweilige Unternehmen erfolgen. Somit kann beispielsweise eine behälterlose Bereitstellung von Ladungsträgern erst nach Betrachtung einer möglichen Effizienzsteigerung der dem Routenzugprozess nachgelagerten Produktion realisiert werden. Aus den dargelegten Gründen kann die Entscheidung über die Bereitstellereinheit nicht im Rahmen der

4 Ermittlung von Randbedingungen einer Planungsaufgabe

eigentlichen Routenzugplanung erfolgen, sondern sollte bereits im Vorfeld festgelegt werden.

Neben der Bereitstelleinheit hat auch die Beladeeinheit – die nicht immer identisch sein muss – einen großen Einfluss auf die realisierbaren Technik- und Prozessvarianten des Routenzugsystems. Bei Bereitstellung einzelner KLT durch den Routenzug ist beispielsweise bereits im Vorfeld festzulegen, ob der Routenzug zu Beginn der Tour mit einzelnen KLT zu beladen ist, oder ob komplette KLT-Regale auf den Routenzug geladen werden. Da ein Vergleich vorgelagerter Kommissionierprozesse nicht in einer aussagekräftigen Detailtiefe im Rahmen der Routenzugplanung durchgeführt werden kann, sollte die Entscheidung über die Beladeeinheit ebenfalls außerhalb der eigentlichen Planung des Routenzugs durchgeführt werden. Eine Planung von zwei unterschiedlichen Varianten zur Unterstützung der Entscheidungsfindung kann jedoch trotzdem hilfreich sein.

Zusätzlich zu der Festlegung von Belade- und Bereitstelleinheit sind im Kontext der Materialflussanforderungen, die in Tabelle 4-1 zusammengefasst sind, die Durchsatzanforderungen an das Routenzugsystem in der Einheit Bereitstelleinheiten pro Tag festzulegen.

Tabelle 4-1: *Definition der Materialflussanforderungen einer Planungsaufgabe*

Kriterium	Entscheidungsmöglichkeit / Einheit
Beladeeinheit	<ul style="list-style-type: none">• Großladungsträger• Kleinladungsträger• Beladung mit behälterlosen Bauteilen• Kombinierte Beladung mit unterschiedlichen Einheiten
Bereitstelleinheit	<ul style="list-style-type: none">• Großladungsträger• Kleinladungsträger• Bereitstellung behälterloser Bauteile• Kombinierte Bereitstellung unterschiedlicher Einheiten
Durchsatzanforderungen	[Bereitstelleinheiten pro Tag]

4.2 Unternehmensvorgaben

Im Verlauf der Planung von Routenzugsystemen ist eine Vielzahl von Unternehmensvorgaben zu berücksichtigen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass nicht alle Unternehmensvorgaben im Rahmen eines isolierten Planungsprojekts berücksichtigt werden können. Allen voran ist hier auf das Unternehmensziel der Standardisierung von Techniken und Prozessen einzugehen.

Aufgrund der Vielzahl von realisierbaren Technik- und Prozessvarianten eines Routenzugsystems (siehe Abschnitt 5.1) kann es bei der Planung von Routenzugsystemen für verschiedene Standorte oder Teilbereiche eines Unternehmens zu stark abweichenden Ergebnissen kommen. Die Wahl der für die verschiedenen Planungsszenarien jeweils am besten geeigneten Lösung könnte daher dazu führen, dass in jedem Szenario unterschiedliche Routenzugprozesse und -techniken realisiert werden.

Auch bei Erreichung des lokalen Optimums in jeder einzelnen Planung ist aus unternehmenspolitischer Sicht zu hinterfragen, ob durch die Standardisierung bzw. Eingrenzung des Entscheidungsspielraums einzelner Planungen ein für das Unternehmen vorteilhaftes globales Optimum gefunden werden kann. Auch wenn die Lösungen der einzelnen Planungen nicht mehr die optimalen Lösungen der Planungsaufgabe darstellen würden, kann beispielsweise durch Skaleneffekte bei der Beschaffung und Wartung der technischen Elemente eine aus Unternehmenssicht bessere Gesamtlösung erreicht werden. Daher ist vor Beginn einer Routenzugplanung zu hinterfragen, ob eine Standardisierung und die damit verbundene Eingrenzung des Entscheidungsspielraums bei Routenzugtechniken oder -prozessen von Vorteil sind oder ob die Planung auf Basis des vollständigen Entscheidungsspielraums erfolgen sollte.

Weiterhin betreffen Unternehmensvorgaben Bestimmungen zum Arbeitsschutz der Mitarbeiter oder Festlegungen zu den bei Investitionsentscheidungen zugrunde gelegten Kostensätzen und Berechnungsverfahren. Darüber hinaus ist auf Basis der Unternehmensvorgaben zu entscheiden, ob eine Flächeneinsparung in unterschiedlichen Unternehmensbereichen monetär quantifiziert werden kann, oder keinen realisierten Mehrwert mit sich bringen würde. Beispielhaft seien hier fest vorgegebene Fahrstraßenbreiten oder Bandabschnitte eines automobilen Montagebands, in denen nur das für den jeweiligen Takt benötigte Material angestellt wird und freierwerdender Platz nicht anderweitig genutzt werden kann, genannt.

Nachfolgend wird in Tabelle 4-2 eine Übersicht der Unternehmensvorgaben gegeben, die für die Planung eines Routenzugsystems erhoben werden sollten, um in den folgenden Planungsphasen über die erforderlichen Plandaten zu verfügen.

4 Ermittlung von Randbedingungen einer Planungsaufgabe

Tabelle 4-2: Übersicht der für eine Routenzugplanung relevanten Unternehmensvorgaben

Oberkategorie	Kriterium / Entscheidungsmöglichkeit
Standardisierung	<ul style="list-style-type: none"> • Eingrenzung des Entscheidungsspielraums des Planers bezüglich Routenzugtechnik und –prozess
Arbeitszeit	<ul style="list-style-type: none"> • Effektive Arbeitsstunden pro Woche • Arbeitswochen pro Jahr • MTM-Verteilzeit-Zuschlagsatz
Hygiene & Arbeitsschutz	<ul style="list-style-type: none"> • Verbot des Einsatzes von Hydraulikflüssigkeiten • Geräuschbelastung durch nicht ausgehobene Handschiebewagen • Existierende Schiebegrenze für GLT in [N] oder [kg] • Existierende Hebegrenze für KLT in [kg] • Erlaubnis des Einsatzes einer Fernbedienung für das Vortakten eines Routenzugs • Überholvorgang im Aktionsbereich des Mitarbeiters oder auf separater Fahrspur vorgegeben • Zulässige Höchstgeschwindigkeit außerhalb von geschlossenen Hallen • Zulässige Höchstgeschwindigkeit innerhalb von geschlossenen Hallen • Zulässige maximale Länge für Routenzüge
Relevanz von Flächeneinsparungen	Berücksichtigung von Flächenarten in der Investitionsrechnung <ul style="list-style-type: none"> • Fläche an der Quelle • Fahrwegsfläche abseits von Bereichen mit Bereitstellung • Fahrwegsfläche an Bereichen mit Bereitstellung • Flächenbedarf für die Bereitstellung im Folgeprozess
Dynamische Investitionsrechnung	<ul style="list-style-type: none"> • Kalkulatorischer Kapitalkostensatz • Projektlaufzeit • Kalkulatorische Personalkostensteigerung pro Jahr
Kostensätze	<ul style="list-style-type: none"> • Flächenkostensätze (Initiale Aufwendungen und laufende Kosten) • Kalkulatorischer Stundensatz Routenzugfahrer und Gabelstaplerfahrer • Kalkulatorischer Stromkostensatz

4.3 Planungsziele

In der Oberkategorie Planungsziele ist vom Logistikplaner unter Berücksichtigung der Unternehmensphilosophie zu entscheiden, welche Schwerpunkte bei der Planung des Routenzugsystems gesetzt werden sollen. Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit ist festzulegen, ob der Vergleich von Planungsvarianten auf Basis des Barwerts der Projektkosten, der Lebenszykluskosten oder ausschließlich durch die Investitionen ausgedrückt werden soll (vgl. Abschnitt 6.5.3). Darüber hinaus ist für die Planung zu entscheiden, welchen Anteil die wirtschaftliche Betrachtung gegenüber der Betrachtung von nicht monetär quantifizierbaren Kriterien bei der Systemgestaltung einnehmen soll. Desweiteren ist für die bei der Planung zu betrachtenden Kennzahlen zu definieren, welchen Stellenwert diese jeweils einnehmen sollen. Tabelle 4-3 gibt eine Übersicht über die gesamten für eine Planung festzulegenden Ziele.

Tabelle 4-3: Übersicht der für eine Routenzugplanung festzulegenden Planungsziele

Oberkategorie	Kriterium / Entscheidungsmöglichkeit
Primäre Zielgröße der Wirtschaftlichkeitsrechnung	Auswahl zwischen: <ul style="list-style-type: none"> • Barwert der Projektkosten (Abdiskontierung zukünftiger Zahlungsströme, vgl. [Bru-09]) • Lifetime Kosten (keine Abdiskontierung zukünftiger Zahlungsströme) • Investitionen (keine Berücksichtigung zukünftiger Zahlungsströme)
Anteil der Wirtschaftlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Prozentualer Anteil der Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu nicht monetär quantifizierbaren Faktoren an der Auswahlentscheidung [%]
Gewichtung der Bewertungskriterien	Wichtigkeit der Oberkategorien der nicht monetären Bewertung: <ul style="list-style-type: none"> • Ergonomie • Fahreigenschaften der Routenzuganhänger • Robustheit von Prozess und Technik • Prozess-Flexibilität • Flexibilität des transportierbaren Behälterspektrums

4.4 Layoutinformationen

Die Charakteristika des Layouts der Planungsaufgabe sind neben der Berechnung der Zykluszeiten für die Auswahl der Routenzugtechnik relevant, da unterschiedliche Randbedingungen den Einsatz von Routenzugtechniken unmöglich machen können. Eine Übersicht der relevanten Layoutinformationen ist in Tabelle 4-4 dargestellt.

Tabelle 4-4: Übersicht der für eine Routenzugplanung relevanten Layoutinformationen

Oberkategorie	Kriterium / Entscheidungsmöglichkeit
Fahrt eines Routenzugs	<ul style="list-style-type: none"> • Durchschnittliche Routenlänge innerhalb / außerhalb geschlossener Hallen • Durchschnittliche Routenlänge auf Rampen • Anzahl von 90°-Kurven auf einer Route • Anzahl Tore und Schleusen auf einer Route • Fahrzeitanteil mit Vollgut-Anhängerverband im Verhältnis mit LG-Verband • Zeitverlust durch blockierte Kreuzungspunkte / blockierte Fahrwege pro Tour • Durchschnittliche Anzahl von KLT- bzw. GLT-Bereitstellungen pro Haltepunkt
Fahrstraßen	<ul style="list-style-type: none"> • Vorgabe für minimale Fahrstraßenbreite • Engstellen auf Fahrwegen • Auswahl Straßentyp (Einbahnstraße mit/ohne Überholen, Begegnungsverkehr) • Gesamtlänge aller Fahrstraßen im zu planenden Areal • Anteil der Fahrstraßen, an denen Bereitstellorte liegen • Limitierungen der Zuglänge aufgrund von Schleusen oder Aufzügen
Stellplätze	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl von Stellplätzen an Bereitstellorten • Anteil von Stellplätzen, die bei einseitigen Routenzügen gegenüber der Öffnung des Anhängers liegen würden • Bereitstellung an Stellplätzen, die nicht direkt am Fahrweg liegen • Durchschnittliche Entfernung vom Haltepunkt RZ zur KLT-Bereitstellung

4.5 Ladungsträger

Als weitere Randbedingung einer Planungsaufgabe sind die Charakteristika der zu transportierenden Ladungsträger vom Logistikplaner zu definieren. Hierbei sind primär die Abmessungen und Gewichte von Relevanz. Tabelle 4-5 zeigt eine Übersicht der erforderlichen Informationen zu den Ladungsträgern.

Bezüglich der Vorgabe von zwingend von einem Routenzugsystem zu transportierenden Ladungsträgern ist kritisch zu hinterfragen, ob vereinzelt benötigte Ladungsträger mit Übergrößen oder sehr hohen Gewichten auch durch einen Sonderprozess bereitgestellt werden können. Durch die Fokussierung auf die im Regelfall zu transportierenden Ladungsträger kann das Routenzugsystem gegebenenfalls effizienter gestaltet werden.

Tabelle 4-5: Übersicht der für eine Routenzugplanung relevanten Daten zu Ladungsträgern

Oberkategorie	Kriterium / Entscheidungsmöglichkeit
Abmessungen	<ul style="list-style-type: none"> • Zwingend durch den Routenzug zu transportierende Grundfläche für GLT: 800x600, 1200x800, 1200x1000, 1600x1200, 1800x1400, 2400x1200, 3000x1200, 3600x1200 mm • Zwingend durch den Routenzug zu transportierende Grundfläche für KLT: 200x150, 300x200, 400x300, 600x400 mm
Gewichte	<ul style="list-style-type: none"> • Maximales / Durchschnittliches Gewicht GLT-Vollgut • Gewicht GLT-Leergut • Maximales / Durchschnittliches Gewicht KLT-Vollgut • Gewicht KLT-Leergut

4.6 Ergebnis

Die im vorliegenden Kapitel erarbeitete Zusammenstellung von für die entwickelte Vorgehensmethodik erforderlichen Plandaten bietet die Grundlage für die integrierte Planung des Routenzugsystems auf einer durchgängigen Datenbasis. Diese Datenbasis wird in der Bildung, Dimensionierung und Bewertung von Planungsvarianten, die in den nachfolgenden Kapiteln thematisiert werden, dazu verwendet, bei den zu treffenden Entscheidungen die Randbedingungen der spezifischen Planungsausgabe zu berücksichtigen. Der Checklisten-Charakter der Zusammenstellung der Plandaten unterstützt darüber hinaus den Logistikplaner bei der vollständigen Ermittlung der für die Planung relevanten Parameter.

5 Methodik zur Bildung von Planungsvarianten

Die in diesem Kapitel behandelte Bildung von Planungsvarianten beinhaltet die Festlegung unterschiedlicher Auswahlentscheidungen in den Planungsdimensionen Technik, Prozess und Steuerung. Die gebildeten Planungsvarianten werden im weiteren Verlauf der Vorgehensmethodik dimensioniert und bewertet, und ermöglichen dem Planer somit den Vergleich verschiedener Lösungsansätze für die vorliegende Planungsaufgabe.

Die Bildung von Planungsvarianten basiert auf umfangreichen Prozessbaukästen, in denen die Planungsdimensionen Technik, Prozess und Steuerung abgebildet werden (siehe Abschnitt 5.1). Zu den in den Prozessbaukästen zusammengestellten Ausprägungen sind Informationen hinterlegt, unter welchen Voraussetzungen die Ausprägungen realisierbar sind. Auf Basis der in Kapitel 4 aufgenommenen Randbedingungen der Planungsaufgabe kann daher die Bildung nicht realisierbarer Planungsvarianten verhindert werden (siehe Abschnitt 5.2). Weitere innerhalb und zwischen den Planungsdimensionen Technik, Prozess und Steuerung existierende Wechselwirkungen sind ebenfalls in der Methodik verankert und unterstützen damit die Bildung geeigneter Planungsvarianten (siehe Abschnitt 5.3).

5.1 Prozessbaukasten zur Bildung von Planungsvarianten

Auf Basis umfangreicher Literaturrecherchen, Expertengespräche und 18 im Rahmen des Forschungsprojekts durchgeführter Prozessanalysen in realisierten Routenzugsystemen wurden die nachfolgenden Prozessbaukästen entwickelt. Im Folgenden erfolgt eine detaillierte – teilweise textuelle – Beschreibung der Planungsdimensionen Technik (Abschnitt 5.1.1), Prozess (Abschnitt 5.1.2) und Steuerung (Abschnitt 5.1.3). Teilelemente der vorgestellten Prozessbaukästen wurden im Rahmen der Semesterarbeit von Herrn Bernhard Kramer mit dem Titel „Erstellung eines Baukastens für die Gestaltung von Routenzugprozessen zur Produktionsversorgung auf Basis der Analyse von Realszenarien“ erarbeitet [fml-15].

5.1.1 Planungsdimension Technik

Im vorliegenden Abschnitt werden die Systemelemente Zugfahrzeug, Anhängertechnik, Transporthilfsmittel sowie mit diesen verbundene Elemente betrachtet. Weiterhin wird die an Bereitstellorten benötigte Infrastruktur thematisiert.


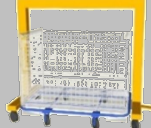

Zugfahrzeug

Die betrachteten Zugfahrzeuge unterscheiden sich zum einen durch die Ausführung als Sitz- oder Stehvariante und zum anderen durch unterschiedliche Zuglasten. Die abgebildeten Zuglasten zwischen 1 t und 8 t haben zusätzlich einen Einfluss auf die technisch realisierbaren Höchstgeschwindigkeiten, die auf Basis zugfahrzeugspezifischer Geschwindigkeitsprofile ermittelt werden.

Anhängertechnik

Unter Berücksichtigung von Analogien bei den für die Bereitstellung erforderlichen Handlungsschritten sowie zusätzlich erforderlicher Infrastrukturelemente an den Bereitstellorten wurde die Definition von Baerwolff erweitert und die prinzipiellen Bauformen Trailer-Konzept, Ein-/ Aufschubkonzept und Rollenverschiebe-Konzept definiert (vgl. [Bae-11]). In der folgenden Tabelle 5-1 sind die Charakteristika der definierten Bauformen für Routenzuganhänger gegenübergestellt.

Tabelle 5-1: Gegenüberstellung der prinzipiellen Bauformen von Routenzuganhängern

	Transportwagen	Ein-/ Aufschubkonzept	Rollenverschiebe-System
Schema (beispielhafte technische Realisierung)			 Quelle: Feil.eu
Notwendiges Transporthilfsmittel (THM)	Kein THM	THM mit Rollen	Kein THM / ggf. Tragrahmen für nicht rollenbahntaugliche Ladungsträger
Art der Beladung	Aufsetzen der Ladung auf den Anhänger	Aufsetzen der Ladung auf THM in Anhänger oder seitliches Ein-/ Aufschieben von THM	Aufsetzen oder Aufschieben des Ladungsträgers
Art der Bereitstellung	Anhänger wird an Senke abgestellt und verbleibt dort	THM werden aus Anhänger entnommen, Anhänger verbleibt im Zugverband	Schieben des Ladungsträgers auf Rollenbahn an Bereitstellort
Erforderliche Infrastruktur an Bereitstellorten	Keine Infrastruktur	Keine Infrastruktur	Fest installierte Rollenbahnen

Über die dargestellten Anhängertechniken hinaus wird die Versorgung mit KLT unter Verwendung eines Niederflurkommissionierers als Sonderprozess in die Betrachtung aufgenommen. Die verschiedenen technischen Realisierungen der prinzipiellen Bauformen von Routenzugtechniken sind in Abbildung 5-1 grafisch erfasst.

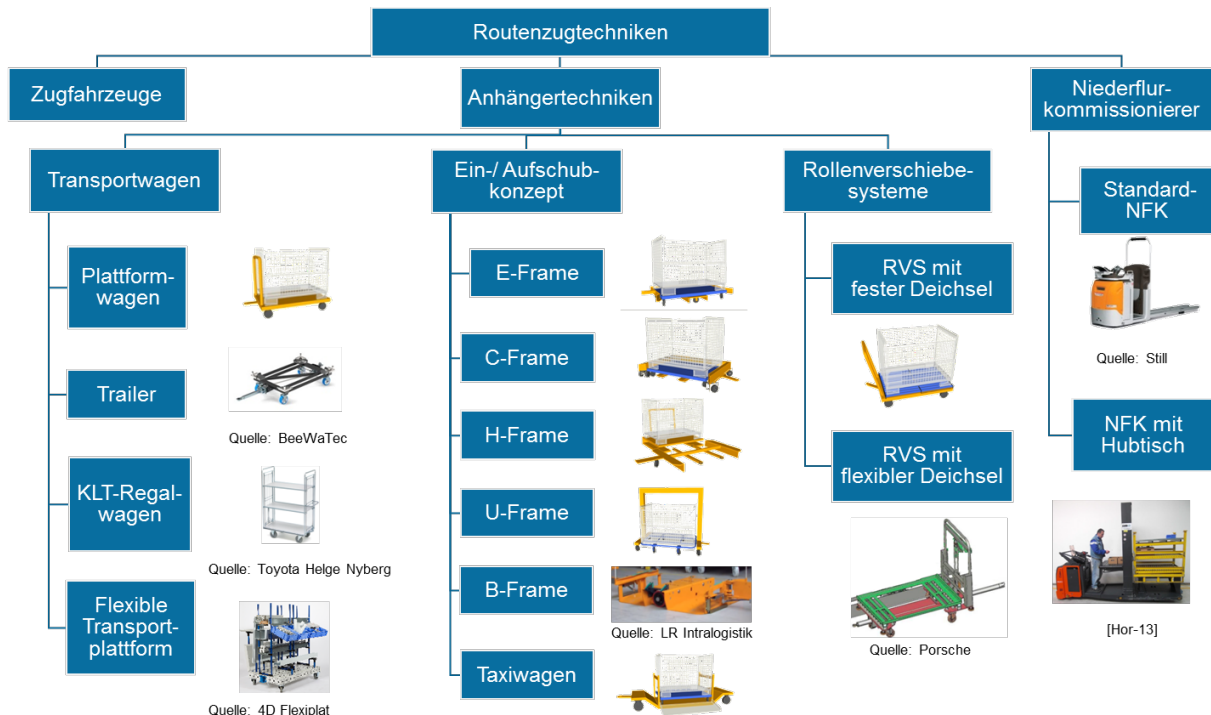


Abbildung 5-1: Übersicht der berücksichtigten Routenzugtechniken (vgl. [Keu-16b])

Kupplungstechnik

Neben den klassischen Kupplungstypen, bei denen eine Kombination aus Kupplungsöse mit einem Zugmaul bzw. einer Sicherung mittels Feder vorliegt, existieren noch weitere Bauarten. Darunter fällt zum einen die dauerhafte Verbindung, bei der ein Trennen des Zugs im Betrieb nicht vorgesehen ist; zum anderen existiert die Möglichkeit einer Steckkupplung, welche zwei Anhänger mittels eines U-förmigen Bügels verbindet. Des Weiteren werden für KLT-Prozesse Pendelscharnierkupplungen angeboten, bei denen die Anhänger über zwei Scharniere zueinander bewegt werden können.

Transporthilfsmittel

In Routenzugsystemen können unterschiedliche Transporthilfsmittel zum Einsatz kommen. Diese unterscheiden sich einerseits hinsichtlich ihrer Auslegung auf GLT- oder KLT-Prozesse und andererseits in der Art der Lastaufnahme. Für GLT-Prozesse können sowohl geschlossene Plattformen als auch offene Transporteinheiten mit Lastaufstandspunkten an den Ecken verwendet werden. Auch eine flexible Gestaltung der Transporthilfsmittel ist möglich.

Rollenanordnung

Für die Rollenordnung der manuell zu handhabenden Transportmittel können – abhängig von der Anhängerbauform – unterschiedliche Gestaltungsmöglichkeiten gewählt werden. Bei einem Transportwagen bezieht sich die Anordnung auf den

Routenzuganhänger selbst; in Ein-/ Aufschubkonzepten werden die zur Materialbereitstellung verwendeten Transporthilfsmittel betrachtet. In Tabelle 5-2 ist eine Übersicht der Anordnungen dargestellt, welche aus Kombinationen von festen Bockrollen und drehbar gelagerten Lenkrollen bestehen. Grafische Darstellungen und weiterführende Erklärungen können dem Abschnitt 6.2.2 entnommen werden.

Tabelle 5-2: Übersicht der für manuelles Handling verfügbaren Rollenordnungen

Rollenanordnungen für Transportwagen	Rollenanordnungen für in Ein-/ Aufschubkonzepten eingesetzten Transporthilfsmitteln
<ul style="list-style-type: none"> • 2 Lenkrollen, 2 Bockrollen 	<ul style="list-style-type: none"> • 4 Lenkrollen
<ul style="list-style-type: none"> • 4 Lenkrollen, 2 Mittelachs-Bockrollen 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 Lenkrollen, 1 Bockrolle (quer)
<ul style="list-style-type: none"> • 1 Lenkrolle vorn, 2 Bockrollen mittig, 1 Lenkrolle hinten 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Lenkrollen, 2 Bockrollen (quer)
<ul style="list-style-type: none"> • 4 Lenkrollen, 1 Bockrolle (für Handling) • 4 Lenk- und 2 Mittelachs-Bockrollen (im Schleppbetrieb) 	<ul style="list-style-type: none"> • 4 Bockrollen

Rollentyp

Bei dem Rollentyp der manuell zu handhabenden Transportmittel werden verschiedene Rollenmaterialien und Ausführungen der Lenkgehäuse unterschieden. Die im Kapitel 7 im Detail untersuchten Ausprägungen sind in der folgenden Tabelle 5-3 zusammengestellt.

Tabelle 5-3: Gestaltungsmöglichkeiten des Rollentyps für das manuelle Handling

Rollenmaterialien	Ausprägungen von Lenkgehäusen
<ul style="list-style-type: none"> • Polyamid 	<ul style="list-style-type: none"> • Kugellager
<ul style="list-style-type: none"> • Polyurethan (96 Shore) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gehärtete Kugellager
<ul style="list-style-type: none"> • Polyurethan (75 Shore) 	<ul style="list-style-type: none"> • Präzisions-Rillenkugellager
<ul style="list-style-type: none"> • Vollgummi 	

KLT-Regale

Für den Transport von KLT werden oftmals ein Regalaufbau auf den erläuterten Transportwagen oder KLT-Regale als Transporthilfsmittel für Ein-/ Aufschubkonzepte genutzt. Diese Aufbauten unterscheiden sich dabei sowohl in der Größe der Ladeflächen, oftmals 1200 mm oder 1600 mm lang, als auch in der Anzahl der Ebenen eines Regals. Die Anzahl der Ebenen beeinflusst dabei auch die Höhe des Aufbaus bzw. die maximale Höhe der verwendbaren KLT-Behälter.

Infrastruktur für Rollenverschiebesysteme

In Rollenverschiebesystemen werden für die Materialbereitstellung fest installierte Rollenbahnen an den Senken benötigt. Diese können als sogenanntes I-Gebinde – bestehend aus einer einzelnen Rollenbahn – oder als U-Gebinde, bei dem zwei parallele Rollenbahnen mit einem Verschiebelement einen Kreislauf von Leergut und Vollgut auf der U-förmig angeordneten Rollenbahn ermöglichen. Im Fall eines Rollenverschiebesystems mit flexibler Deichsel existiert bei einem U-Gebinde zusätzlich die Möglichkeit, mit dem Routenzuganhänger zwischen Leer- und Vollgutspur zu halten und den Ladungsträger durch ein Querverschieben auf dem Routenzuganhänger vor der gewünschten Rollenbahn zu positionieren. Dieser Sonderprozess ermöglicht einen 1:1-Tausch Vollgut gegen Leergut an einem U-Gebinde ohne das Umpositionieren des Zugfahrzeugs (siehe Abbildung 6-12 auf Seite 83).

Anzahl von Anhängern

Abgeschlossen wird die Planungsdimension Technik durch die Festlegung der Anhängerzahl eines Routenzugs.

5.1.2 Planungsdimension Prozess

In der Planungsdimension Prozess ist der Routenzugprozess einer Planungsvariante hinsichtlich Beladungsvorgang und dem Umgang mit Leergut zu definieren.

Beladungsprozess

In Tabelle 5-4 werden die verschiedenen Arten des Beladungsprozesses zusammengestellt; für eine genauere Betrachtung und Erläuterung der Prozesse sei auf das Abschnitt 6.2.3 verwiesen.

Tabelle 5-4: Beladungsprozesse bei Routenzugsystemen

Eigenbeladung durch den Routenzugfahrer	Fremdbeladung durch Gabelstaplerfahrer an der Quelle	Einsatz von Automatisierungstechnik (ggf. incl. Entladung)
Routenzugfahrer schiebt Anhänger / Transporthilfsmittel aus Pufferfläche	Ankuppeln eines vorbeladenen Anhängerverbands	Behälterwechsel durch halbautomatisierte Anhänger bei Be- <u>und</u> Entladung
Beladung mit Gabelstapler durch den RZ-Fahrer	Umsteigen auf vorbeladenen Routenzug	Automatisierte GLT-Beladung Fixe Prozess-Zeit pro Anhängerverband
Beladung mit einzelnen KLT durch den RZ-Fahrer aus Puffer	Warten auf Beladung durch Logistikmitarbeiter mit Gabelstapler	Automatisierte GLT-Beladung Prozesszeit abhängig von Anhängerzahl

Beladung mit einzelnen KLT durch den RZ-Fahrer aus Supermarkt	Sonderprozess NFK: 1:1-Tausch von leeren und vollen KLT-THM über Gabelzinken des NFK	Beladung Rollenverschiebesystem an automatisiertem Fördertechnik-Übergabepunkt
Beladung Rollenverschiebesystem an Pufferbahnen		Automatisierte KLT-Beladung KLT-Drive-Thru

Leergutprozess

Die Definition des Leergutprozesses beinhaltet die Festlegung der Verantwortlichkeit für das Entladen von Leergut an der Quelle. Neben einer Entladung durch einen zusätzlichen Logistikmitarbeiter kann die Entladung im Rahmen eines 1:1-Tausches von Leergut gegen Vollgut durch den Routenzugfahrer erfolgen.

Bereitstellprozess für Großladungsträger

Zur Charakterisierung des Bereitstellprozesses ist zu definieren, ob die Ladungsträger in einem möglichen Mehr-Behälter-Konzept hinter- oder nebeneinander stehen oder ob die Mitarbeiter bei der Bereitstellung durch ergonomische Handhabungshilfen unterstützt werden.

5.1.3 Planungsdimension Steuerung

Der Steuerungsabschnitt des Prozessbaukastens beschäftigt sich mit den Informationsflüssen, denen bei der Planung eines Routenzugsystems ebenfalls Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

Nachschubsteuerung

Zur Planung der Fahrt eines Routenzugs ist im Vorfeld die Auslösung von Nachschubaufträgen erforderlich, die auf unterschiedliche Weisen erfolgen kann. Die verschiedenen Ausprägungsformen sind in Abbildung 5-2 dargestellt.

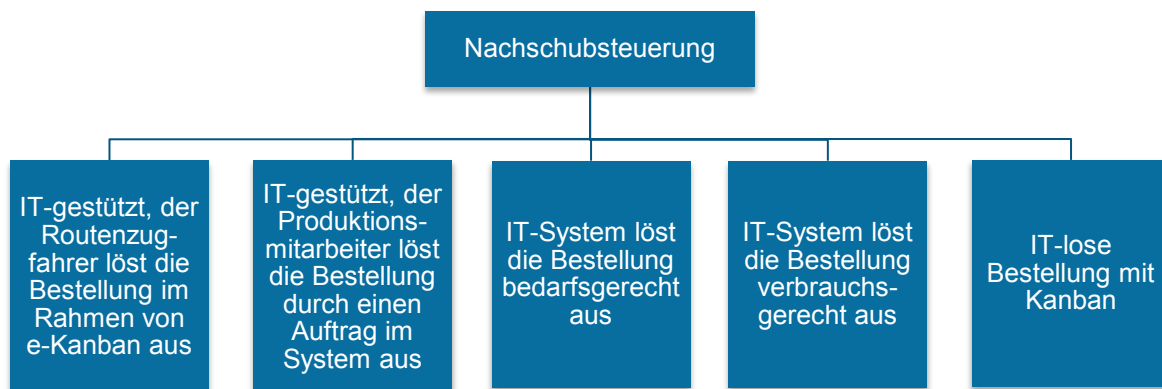


Abbildung 5-2: Arten der Nachschubsteuerung

Steuerung des Tourenstarts

Der Tourenstart kann getaktet, auslastungsorientiert oder permanent erfolgen und hat deutliche Auswirkungen auf die zeitliche und kapazitive Auslastung eines Routenzugsystems.

Steuerung des Leergutprozesses

Die Mitnahme von Leergut von den Senken kann ungesteuert auf Sicht erfolgen, durch konkrete Transportaufträge eingesteuert werden oder automatisch erfolgen, indem Vollgut nur im 1:1-Tausch gegen Leergut bereitgestellt wird.

5.2 Eingrenzung des Entscheidungsspielraums bei der Bildung von Planungsvarianten

In Abhängigkeit der Randbedingungen für die Planungsaufgabe kann es dazu kommen, dass einzelne Ausprägungen des Prozessbaukastens technisch nicht realisierbar sind und daher bei der Bildung von Planungsvarianten auszuschließen sind. Daher werden in Tabelle 5-5 die zentralen bei der Planung zu berücksichtigenden Randbedingungen und die damit verbundenen Konsequenzen für den Entscheidungsspielraum aufgezeigt.

Tabelle 5-5: Abhängigkeiten zwischen der Planungsaufgabe und der Bildung von Planungsvarianten

Randbedingung der Planungsaufgabe	Konsequenz für die technische Realisierbarkeit von Planungsvarianten
Befahren von Rampen erforderlich	<ul style="list-style-type: none"> Kein Einsatz von H-Frames möglich Kein Einsatz von Niederflurkommissionierern möglich
Fahrten im Außenbereich erforderlich	<ul style="list-style-type: none"> Diverse Techniken, die nur für den Einsatz innerhalb geschlossener Hallen konzipiert sind, können nicht eingesetzt werden.
Rückwärtiges Einfahren in Sackgassen erforderlich	<ul style="list-style-type: none"> Prozess kann nur mit Niederflurkommissionierern oder Routenzügen mit nur einem Anhänger realisiert werden
Be- und Entladung ist (aufgrund sehr spezieller baulicher Gegebenheiten) zwingend von unterschiedlichen Seiten erforderlich	<ul style="list-style-type: none"> Kein Einsatz von C-Frames, E-Frames und einseitigen H-Frames möglich
Verbot des Bodenkontakts von Rollen eines Transporthilfsmittels im Fahrbetrieb (Geräuschentwicklung)	<ul style="list-style-type: none"> Kein Einsatz von C-Frames, E-Frames, H-Frames und U-Frames möglich, falls die Transporthilfsmittel nicht ausgehoben werden können
Verbot des Einsatzes von Hydraulikflüssigkeiten aufgrund von Hygieneanforderungen	<ul style="list-style-type: none"> Kein Einsatz von Ein-/ Aufschubkonzepten mit hydraulischem Hubmechanismus möglich
Bereitstellung von GLT mit hohen Gewichten oder großen Grundflächen erforderlich	<ul style="list-style-type: none"> Einsatz von Zugfahrzeugen mit geringer Zuglast nicht möglich bzw. nur bei reduzierter Anhängerzahl

	<ul style="list-style-type: none"> • Abhängig von der Spezifikation der betrachteten Routenzuganhänger sind zusätzliche Nutzlast bzw. transportierbare Grundfläche erforderlich
Bereitstellung von KLT mit Gewichten > 25 kg erforderlich	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von Niederflurkommissionierer mit Hubtisch erforderlich, um die KLT nicht über Körperkraft umsetzen zu müssen, sondern seitlich zu verschieben.

Da für das Befahren von Rampen – genauer gesagt das Überwinden des Steigungsknicks am oberen Ende einer Rampe – eine gewisse Bodenfreiheit erforderlich ist, werden von der Methodik im Fall von erforderlichen Rampenfahrten diejenigen Routenzugtechniken ausgeschlossen, die über eine zu geringe Bodenfreiheit verfügen.

Bezüglich der Unterscheidung von ein- und beidseitig entladenden Anhängertechniken ist festzuhalten, dass eine einseitige Technik ebenfalls eingesetzt werden kann, wenn eine Bereitstellung auf zwei Seiten erforderlich ist. Dies führt durch das erforderliche Umfahren der Routenzuganhänger zu einem erhöhten Zeitbedarf bei der Bereitstellung – nicht aber zu einem kategorischen Ausschluss der einseitig entladenden Technik. Die einseitige Entladbarkeit einer Anhängertechnik führt nur in Sonderfällen zum sofortigen Ausschluss dieser Technik, wenn beispielsweise sowohl die Be- als auch die Entladung in einer engen Kurve auf gegenüberliegenden Seiten erfolgen muss.

5.3 Wechselwirkungen zwischen den Planungsdimensionen Technik, Prozess und Steuerung

Neben den in Abschnitt 5.2 vorgestellten Abhängigkeiten zwischen der Planungsaufgabe und der Bildung von Planungsvarianten existieren auch innerhalb der Bildung von Planungsvarianten Wechselwirkungen, die den Entscheidungsspielraum bei der Bildung technisch realisierbarer Planungsvarianten einschränken. Tabelle 5-6 zeigt die Wechselwirkungen innerhalb oder zwischen den Planungsdimensionen Technik, Prozess und Steuerung, die bei der Bildung von Planungsvarianten berücksichtigt werden müssen.

Tabelle 5-6: Wechselwirkungen innerhalb und zwischen den Planungsdimensionen

Festlegung innerhalb der Planungsvariante	Konsequenz für Entscheidungsspielraum bei anderen Dimensionen / Kriterien
Auslösung von Nachschubaufträgen durch Behälter-Kanban ausgewählt	<ul style="list-style-type: none"> • Ein 1:1-Tausch von Vollgut gegen Leergut kann nicht erfolgen.
Pendelscharnierkupplung ausgewählt	<ul style="list-style-type: none"> • Aus konstruktiven Gründen kann nur ein Anhänger über diese Kupplung angehängt werden
Anhängertechnik Ein-/ Aufschubkonzept ausgewählt	<ul style="list-style-type: none"> • Kupplungstyp Steckkupplung ist nicht für Ein-/ Aufschubkonzept geeignet

Bereitstellung an Rollenbahnen im 1-Behälter-Prinzip (Analog: Sonderfall der Nutzung von Transporthilfsmitteln mit 4 Bockrollen)	<ul style="list-style-type: none"> • Realisierung 1:1-Tausch Vollgut gegen Leergut nur mit zusätzlichem freien Anhänger möglich • Bei Leergutmitnahme auf Sicht oder Einsteuerung von Leergut-Transportaufträgen kann ein Routenzug ohne Mitführen eines freien Anhängers komplett ausgelastet werden
Einsatz von Transporthilfsmitteln mit der Rollenanordnung „4 Lenkrollen“	<ul style="list-style-type: none"> • Einfache ergonomische Handhabungshilfen ohne Unterstützungs-Gabeln können die Transporthilfsmittel nicht prozesssicher handhaben und sollten nicht verwendet werden
Sonderprozess Vollgut-Bereitstellung auf Hinweg und Leergut-Mitnahme auf Rückweg ausgewählt	<ul style="list-style-type: none"> • Nur für Transportwagen sinnvoll, da das Zusatzhandling für das Lösen / Schließen von zwei Kuppungen pro Behältertausch eingespart werden kann
Einsteuerung von Leergut-Transportaufträgen durch das IT-System	<ul style="list-style-type: none"> • E-Kanban durch Routenzugfahrer nicht sinnvoll • Karten-Kanbahn durch RZ-Fahrer nicht sinnvoll

Bei Verwendung von Pendelscharnierkupplungen – die in der Regel für das Verfahren von KLT-Regalwagen verwendet werden – kann nur ein Anhänger angehängt werden, da die Pendelscharnierkupplung nur für geringe Anhängelasten ausgelegt ist. Bei der für Ein-/ Aufschubkonzepte nicht verfügbaren Steckkupplung werden zwei Anhänger durch das Arretieren eines zusätzlichen Verbindungselements in an den Anhängern dafür vorgesehenen Aufnahmen aneinandergekuppelt. Dies ermöglicht die Bereitstellung von Ladungsträgern im Transportwagen-Konzept ohne an den Bereitstellorten Anhänger mit kostenintensiver Kupplung und Deichsel anzustellen.

5.4 Ergebnis

Die vorgestellte Methodik erlaubt durch den Prozessbaukasten, der für alle zu treffenden Entscheidungen bzw. Gestaltungsfelder alternative Realisierungsmöglichkeiten vorhält, eine intuitive Bildung von Planungsvarianten. Durch die Abbildung von Wechselwirkungen zwischen den Randbedingungen der Planungsaufgabe und den Planungsdimensionen Technik, Prozess und Steuerung, sowie zwischen und innerhalb der Planungsdimensionen, stellt die Methodik die Bildung sinnvoller und technisch realisierbarer Planungsvarianten sicher. Die gebildeten Planungsvarianten werden in dem nachfolgendem Kapitel 6 dimensioniert und in einem weiteren Baustein der Vorgehensmethodik bewertet. Dadurch erlauben die Planungsvarianten den Vergleich verschiedener Realisierungsmöglichkeiten des für die spezifische Planungsaufgabe zu gestaltenden Routenzugsystems.

6 Dimensionierung von Planungsvarianten

Das zentrale Element der entwickelten Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen ist die detaillierte Dimensionierung der im Kapitel zuvor gebildeten Planungsvarianten. Die Dimensionierung beinhaltet neben der Berechnung der benötigten Systemelemente wie Zugfahrzeugen, Anhängern oder Routenzugfahrern und der Berechnung des Flächenbedarfs ebenfalls eine dynamische Investitionsrechnung. Nach der Dimensionierung aller Planungsvarianten erfolgt in einem weiteren Schritt der Vorgehensmethodik die ganzheitliche Bewertung der Planungsvarianten (siehe Kapitel 8), die eine umfassende Gegenüberstellung der verschiedenen vom Planer gebildeten Lösungsansätze für die spezifische Planungsaufgabe ermöglicht. Abbildung 6-1 gibt einen Überblick über das grundsätzliche Vorgehen bei der Dimensionierung.

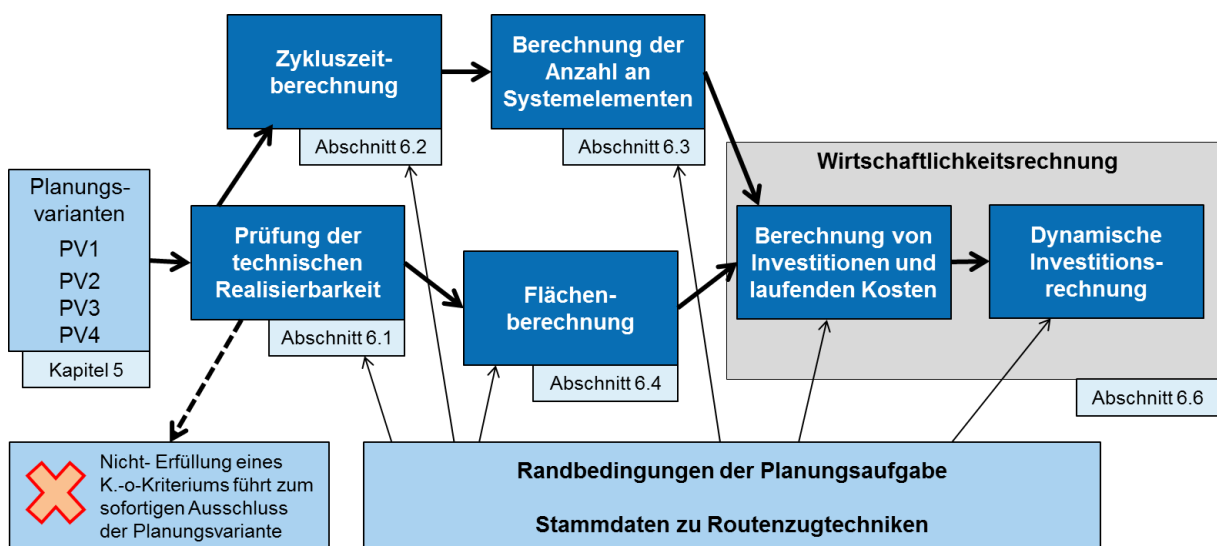


Abbildung 6-1: Vorgehen bei der Dimensionierung von Planungsvarianten

Im ersten Schritt werden die generierten Planungsvarianten hinsichtlich ihrer technischen Realisierbarkeit überprüft. Ist diese nicht gegeben, ist die Planungsvariante zu verwerfen, respektive anzupassen (siehe Abschnitt 6.1). Der Abschnitt 6.2 thematisiert die Berechnung der Zykluszeit, die auf Basis eines entwickelten Zeitbaustein-systems, das sowohl MTM-Zeitbausteine als auch im Rahmen von Probandenstudien ermittelte Zeitwerte für das Ziehen und Schieben in Routenzugprozessen verwendet. Basierend auf der ermittelten Zykluszeit wird für die Planungsvarianten die jeweils erforderliche Anzahl der Systemelemente ermittelt. Hierbei erfolgt eine Betrachtung von technischen Systemelementen wie Zugfahrzeugen, Routenzuganhängern und Gabelstaplern, sowie die Personalermittlung für Routenzug- und

Gabelstaplerfahrer (siehe Abschnitt 6.3). Weiterhin beinhaltet die Dimensionierung der Planungsvarianten die Berechnung der von den Routenzugsystemen benötigten Flächen. In Abschnitt 6.4 wird die Berechnung des Flächenbedarfs auf Basis parametrisierbarer Layouts für die Flächen an der Quelle, auf den Fahrwegen sowie an den Bereitstellorten vorgestellt. Die Teilergebnisse der vorangegangenen Dimensionierungsschritte zusammenführend, wird zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der zu untersuchenden Planungsvarianten eine dynamische Investitionsrechnung durchgeführt (siehe Abschnitt 6.5).

6.1 Prüfung der technischen Realisierbarkeit

Zur Prüfung der technischen Realisierbarkeit einer Planungsvariante werden K.-o.-Kriterien betrachtet, die bei Nicht-Erfüllung zum direkten Ausschluss einer Planungsvariante führen. Da die nachfolgende Zusammenstellung auf einer Vielzahl teilweise nur aus einzelnen Unternehmen bekannten Anforderungen aufbaut, ist für jedes K.-o.-Kriterium zu hinterfragen, ob eine Berücksichtigung in der vorliegenden Planungsaufgabe ratsam ist.

K.-o.-Kriterien auf Basis von Unternehmensvorgaben

Auf Basis von Sicherheitsaspekten oder Ergonomie können in Unternehmen Vorgaben existieren, die nicht von allen Routenzugtechniken erfüllt werden können. Eine Auflistung möglicher K.-o.-Kriterien aus diesem Bereich ist in Tabelle 6-1 angeführt.

Tabelle 6-1: K.-o.-Kriterien auf Basis von Unternehmensvorgaben

K.-o.-Kriterium	Einheit	Anmerkung
Vorgegebene Maximallänge von Routenzügen	Meter	Der Schlepper geht in die Berechnung mit ein
Verbot des Einsatzes von Hydraulikflüssigkeiten		
Bodenkontakt der Räder von Transporthilfsmitteln während der Fahrt verboten		Zu beachten hinsichtlich möglicher Geräuschentwicklung
Schiebegrenze für GLT	Kilogramm	
Schiebegrenze für GLT	Newton	
Hebegrenze für KLT	Kilogramm	

Zu der Vorgabe einer Maximallänge ist anzumerken, dass diese aufgrund von Schleusen oder Aufzügen existieren kann, aber auch aus sicherheitstechnischen Gründen in fast allen Unternehmen eine Maximallänge des Routenzugs definiert ist. Aufgrund von Längen von zwölf Metern oder mehr birgt die Tatsache, dass vom Routenzugfahrer der letzte Anhänger des Routenzugs in Kurvenfahrten nicht eingesehen werden kann, ein gewisses Risiko für sich im Fahrweg befindliche Mitarbeiter o. Ä.

K.-o.-Kriterien auf Basis von Layoutanforderungen

Während die bisher vorgestellten K.-o.-Kriterien den Charakter von Vorgaben und Richtlinien haben, sind K.-o.-Kriterien aus dem Bereich der Layoutanforderungen auf Restriktionen, denen bauliche oder prozesstechnische Einschränkungen zu Grunde liegen, zurückzuführen (siehe Tabelle 6-2).

Tabelle 6-2: K.-o.-Kriterien auf Basis von Layoutanforderungen

K.-o.-Kriterium	Einheit
Fahrten des Routenzugs in Außenbereichen sind zwingend erforderlich	
Befahren von Rampen erforderlich	
Einfahrt in Sackgassen ist zwingend erforderlich	
Limitierung der möglichen Zuglänge aufgrund von Schleusen / Aufzügen	Meter
Vorgegebene Fahrwegbreite an GLT-Bereitstellorten	Meter
Vorgegebene Fahrwegbreite an Engstellen	Meter
Einhaltung eines maximalen Wenderadius des Routenzugs erforderlich	Meter
Be- und Entladung des Routenzugs von gegenüberliegenden Seiten erforderlich	
Beladbarkeit der Anhänger mit Gabelstapler erforderlich	
Bereitstellung an nicht direkt an Fahrwegen liegenden Bereitstellorten erforderlich	

Die Bereitstellung an nicht direkt an Fahrwegen liegenden Bereitstellorten kann insbesondere in gewachsenen Layouts oder Fertigungsbereichen mit einer Vielzahl von Maschinen unterschiedlicher Dimensionen erforderlich sein. In diesem Fall müssen vom Routenzugfahrer die Ladungsträger über eine größere Distanz manipuliert werden und Rollenverschiebesysteme, die ein direktes Anfahren der Stellplätze erfordern, müssen kategorisch aus der Betrachtung ausgeschlossen werden.

K.-o.-Kriterien auf Basis des Behälterspektrums

Die in Tabelle 6-3 zusammengestellten Charakteristika der zu transportierenden Ladungsträger können ebenfalls zum Ausschluss einer Planungsvariante führen.

Tabelle 6-3: K.-o.-Kriterien auf Basis des Behälterspektrums

K.-o.-Kriterium	Einheit
Transportierbarkeit des maximalen GLT-Gewichts	Kilogramm
Transportierbarkeit der erforderlichen maximalen GLT-Abmessungen	
Zugkraft des Zugfahrzeugs für Anhängelast ausreichend	Newton
Transportierbarkeit der erforderlichen maximalen KLT-Abmessungen	
Transport von Anhängern aus Rohrstecksystemen zwingend erforderlich	
Transport von Behältern mit Einstieg zwingend erforderlich	
Möglichkeit zum kombinierten Transport von GLT und KLT ist zwingend erforderlich	

Die Einschränkungen durch das Behälterspektrum beruhen zum Großteil auf den Gewichten und Abmessungen der Techniken, da entweder explizite Formate notwendig oder nur gewisse Lasten für Anhänger und Zugfahrzeuge möglich sind. Darüber hinaus kann die Verwendung von besonderen Ladungsträgern, wie Rohrstecksystemen oder Behältern mit Einstieg, notwendig sein. Auch diese Erfordernisse können zum direkten Ausschluss einer Planungsvariante führen.

6.2 Berechnung der Zykluszeit

Unter der Zykluszeit eines Routenzugsystems wird im Sprachgebrauch der vorliegenden Arbeit der minimal mögliche Tourenstartabstand verstanden: die Zeit, die für Beladung, Fahrt, Bereitstellung und Vorbereitung einer neuen Tour erforderlich ist und damit bestimmt, in welcher minimalen Taktzeit ein Routenzugfahrer operieren könnte. Auf Basis der ermittelten Zykluszeit wird im weiteren Gang der Dimensionierung die pro Routenzugfahrer realisierbare Transportleistung ermittelt, aus der direkt die Anzahl der Routenzugfahrer, die zur Bewältigung einer gestellten Transportaufgabe erforderlich ist, abgeleitet werden kann. Da auf Basis der Anzahl der erforderlichen Routenzugfahrer die benötigte Anzahl von Zugfahrzeugen, Anhängern etc. ermittelt wird, spielt die Berechnung der Zykluszeit eine zentrale Rolle für die Dimensionierung von Routenzugsystemen. Der daraus resultierende starke Einfluss einer möglicherweise inkorrekt ermittelten Zykluszeit auf das komplette Routenzugsystem war ausschlaggebend dafür, dass im Forschungsvorhaben von einer auf Abschätzungen basierenden Kalkulation der Zykluszeit abgesehen und ein Zeitbausteinsystem zur detaillierten Berechnung von Zykluszeiten entwickelt worden ist.

In Abschnitt 6.2.1 wird das Grundkonzept des Bausteinsystems vorgestellt, das auf dem Methods Time Measurement (MTM) und experimentellen Untersuchungen aufbaut. Auf Basis experimenteller Untersuchungen erstellte Datenkarten für das Ziehen und Schieben von Ladungsträgern werden in Abschnitt 6.2.2 vorgestellt. In den weiteren Abschnitten erfolgt die Darstellung von Zeitbausteinen für den Routenzugprozess, der in die drei Teilprozesse Beladung (siehe Abschnitt 6.2.3), Fahrt (siehe Abschnitt 6.2.4) und Bereitstellung (siehe Abschnitt 6.2.5) unterteilt wird. Im Abschnitt 6.2.6 wird exemplarisch der Aufbau eines Zeitbausteins im Detail betrachtet.

Zentrale Elemente des vorliegenden Kapitels wurden im Rahmen der Master's Thesis von Herrn Patrick Thomaser mit dem Titel „Entwicklung eines Bausteinsystems zur Berechnung der Zykluszeiten unterschiedlicher Routenzugsysteme“ erarbeitet [fml-16d].

6.2.1 Grundkonzept eines Zeitbausteinsystems auf Basis von MTM-Analysen und experimentellen Untersuchungen

Nachfolgend werden nach kurzer Vorstellung des MTM und dem Ansatz zur Integration von Zeitwerten aus Versuchsreihen die Grundstruktur der Berechnung der Zykluszeit und der Aufbau des entwickelten Bausteinsystems aufgezeigt.

Wie in MTM-Analysen üblich, erfolgt im gesamten Abschnitt 6.2 keine Berücksichtigung von Verteilzeiten, die zur Abbildung von unplanmäßig auftretenden Abläufen, Zusatztätigkeiten und störungsbedingtem sowie persönlich bedingtem Unterbrechen der Arbeitstätigkeit genutzt werden. Im Rahmen der auf der Zykluszeit aufbauenden Ermittlung der Anzahl der erforderlichen Systemelemente wird zu der nachfolgend ermittelten Zykluszeit ein unternehmensspezifischer Verteilzeit-Zuschlag addiert (siehe Abschnitt 6.3).

Das Methods Time Measurement (MTM)

MTM wurde unter anderem ausgewählt, da in dem Verfahren speziell auf die Logistik zugeschnittene Prozessbausteine existieren, die die Abbildung von Routenzugprozessen erheblich erleichtern. Weiterhin verfügt das MTM über einen sehr hohen Verbreitungsgrad im europäischen Raum und besitzt daher eine höhere Akzeptanz als vergleichbare Arbeitsanalyseverfahren.

Beim MTM-Verfahren handelt es sich um ein System vorbestimmter Zeiten, das vor rund 70 Jahren in den USA entwickelt wurde, um die Produktivität manueller Arbeitsprozesse zu steigern. Aus einem auf die Gestaltung menschlicher Arbeit ausgerichteten System vorbestimmter Zeiten hat sich MTM zu einem umfassenden Produktivitäts-Managementsystem entwickelt. [Bok-06]

Den für eine Tätigkeit erforderlichen Körperbewegungen werden durch das MTM-Verfahren Normzeitwerte, die in Datenkarten hinterlegt sind, zugeordnet. Für einen aus mehreren Körperbewegungen bestehenden Gesamtprozess ergibt sich die Ausführungszeit aus der Summe der einzelnen Normzeitwerte. Den Normzeitwerten liegt ein als MTM-Normleistung bezeichnetes Leistungsniveau zugrunde, welches „[...] ein durchschnittlich geübter Mensch ohne zunehmende Arbeitsermüdung auf Dauer erbringen kann“ [Bok-06]. In der Entwicklung des MTM-Verfahrens ist auf Basis von Videostudien von Mitarbeitern die Zeiteinheit Time Measurement Unit (TMU) entstanden. Diese wird als zentrale Einheit in MTM-Analysen verwendet; eine TMU entspricht einer Zeit von 0,036 Sekunden.

Da sich die manuellen Handhabungsprozesse in Einzel-, Serien- und Massenfertigung im Hinblick auf die Komplexität und den Übungsgrad der Mitarbeiter deutlich

unterscheiden, wurden MTM-Bausteinsysteme mit unterschiedlichem Methodeniveau, sprich Detailgrad, entwickelt [Bok-06]. Während das älteste und gleichzeitig detaillierteste Zeitbausteinsystem MTM-1 auf die Massenfertigung ausgelegt ist, kann beispielsweise das Universelle Analysiersystem (MTM-UAS) für die Analyse länger-zyklischer Prozesse eingesetzt werden. Nach Bengler sind die Voraussetzungen für die Anwendung von MTM-UAS längere Arbeitszyklen als in der Mengenfertigung sowie eine auftragsorientierte Fertigung mit sich wiederholenden, vergleichbaren Arbeitsinhalten [Ben-14].

Das es sich bei den für Routenzugsysteme relevanten Prozessabläufen um sich wiederholende, länger-zyklische Tätigkeiten handelt, wird in der vorliegenden Arbeit für die Modellierung der Routenzugprozesse das Bausteinsystem MTM-UAS verwendet. Über das MTM-UAS hinaus wird in der Entwicklung des Zeitbausteinsystems für Routenzüge mit den „Standardvorgängen Logistik“ (SVL) ein weiteres MTM-Bausteinsystem eingesetzt. In diesem sind – basierend auf den Grundvorgängen aus MTM-UAS – speziell auf die Logistik zugeschnittene Prozessbausteine enthalten, die die Abbildung von „Standardabläufen mit handelsüblichen und in der Praxis häufig eingesetzten **Transportfahrzeugen** oder **Transportwagen**“ ermöglichen [MTM-07].

Grundelemente der Berechnung der Zykluszeit

Die Zykluszeit eines Routenzugprozesses setzt sich aus den Abschnitten Beladung am Bahnhof, der Fahrt und der Bereitstellung an den Senken zusammen. Damit ergibt sich die zur Berechnung der Zykluszeit verwendete Formel (6-1), deren drei Teilelemente im entwickelten Zeitbausteinsystem separat betrachtet werden.

$$t_{\text{Zyklus}} = t_{\text{Beladung}} + t_{\text{Fahrt}} + t_{\text{Bereitstellung}} \quad (6-1)$$

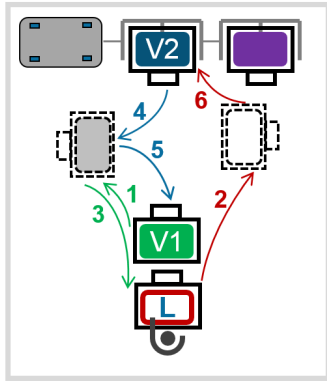
In der vorliegenden Arbeit werden die zur Vorbereitung einer erneuten Tour erforderlichen Tätigkeiten im Rahmen der Beladung des Routenzugs betrachtet. Der Zeitaufwand für jedes der drei Teilelemente erfolgt im Regelfall innerhalb eines Zeitbausteins, der das komplette Teilelement repräsentiert. Nach einer Übersicht über die Zeitbausteine in den Abschnitten 6.2.3, 6.2.4 und 6.2.5 findet in Abschnitt 6.2.6 die exemplarische Detailbetrachtung eines Zeitbausteins statt.

Motivation für die Verwendung von Zeitwerten aus Versuchsreihen

Das Ziehen und Schieben von Routenzuganhängern oder Transporthilfsmitteln stellt einen häufig wiederkehrenden Vorgang in Routenzugsystemen dar. Da je nach Einsatzszenario diese Handhabungsschritte einen beträchtlichen Teil der Zykluszeit einer Rundfahrt ausmachen, kommt der korrekten Berechnung der Handlingzeiten eine zentrale Bedeutung zu. Im Rahmen von im Forschungsvorhaben durchgeführ-

ten Probandenstudien (siehe in Kapitel 7) wurden neben ergonomischen Kennzahlen ebenfalls die Vorgangszeiten für das Ziehen und Schieben in Abhängigkeit diverser Einflussparameter untersucht. Abbildung 6-2 zeigt exemplarisch für einen 1:1-Tausch eines GLT die Gegenüberstellung einer rein auf den MTM-Standardbausteinen basierenden Berechnung der Vorgangszeit und einer Zeitermittlung auf Basis der gemessenen Handlingzeiten für zwei unterschiedliche Versuchskonfigurationen.

	Zeitermittlung auf Basis von MTM-Bausteinen		Zeitermittlung auf Basis von in Probandenstudien ermittelten Handlingzeiten	
	2 Lenkrollen 2 Bockrollen	4 Lenkrollen	2 Lenkrollen 2 Bockrollen	4 Lenkrollen
Rollen-Anordnung				
Rollen-Material	beliebig	beliebig	Polyamid	Vollgummi
Lagerung der Lenkgabel	beliebig	beliebig	Kugellager 2-fach, gehärtet	Kugellager 2-fach
Fix-Zeiten [s] (z. B. Gehwege)	36,0	36,0	36,0	36,0
1 (Vollgut 1) [s]	9,1	9,1	10,7	16,2
2 (Leergut) [s]	7,5	9,1	7,3	9,4
3 (Vollgut 1) [s]	9,1	9,1	11,0	16,4
4 (Vollgut 2) [s]	9,1	9,1	10,8	15,2
5 (Vollgut 2) [s]	9,1	9,1	11,0	16,4
6 (Leergut) [s]	7,5	9,1	7,9	9,7
Summe [s]	87,4	90,6	94,7	119,3



Annahmen:

- 2-Behälter-Prinzip
- Anstellung hintereinander
- 1:1-Behältertausch
- Gewicht Leergut: 125kg
- Gewicht Vollgut: 500kg

Abbildung 6-2: Vergleich von Zeitermittlung auf Basis von MTM-Standardbausteinen und Handlingzeiten aus Probandenstudien [Keu-16b]

Für die Zeitermittlung auf Basis von MTM-Standardbausteinen wurden MTM-Datenkarten der Standardvorgänge Logistik verwendet. Darin erfolgt eine Differenzierung nach dem Gesamtgewicht; die höchste Gewichtsklasse „über 200 kg“ scheint jedoch die in Routenzugsystemen üblichen Gewichte von 500 kg und mehr nicht ausreichend abzudecken. Weiterhin fällt ins Auge, dass die Veränderungen von Rollen-anordnung, -material und Lagerung der Lenkgabel bei der MTM-Analyse nur zu einer geringfügigen Veränderung in Höhe von 3,2 s führt. Die Zeitermittlung auf Basis der experimentell ermittelten Handlingzeiten ergibt dagegen einen Zeitunterschied von 24,6 s. Aufgrund der dargelegten Detaillierungsunterschiede wird im nachfolgend vorgestellten Zeitbausteinsystem die Zeitberechnung auf Basis von MTM-Bausteinen durch die Verwendung von Messwerten aus Probandenstudien erweitert.

6.2.2 Datenkarten für das Ziehen und Schieben von Ladungsträgern

Die im vorliegenden Abschnitt vorgestellten Datenkarten basieren auf im Rahmen von [fml-16b] und [fml-16c] durchgeführten, umfangreichen Probandenversuchen, die im Rahmen des Kapitels 7 vorgestellt werden.

Aufbau der Datenkarten

Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen wurden Datenkarten für das Ziehen und Schieben erstellt, in die jene Parameter aufgenommen wurden, welche einen signifikanten Einfluss auf die Handlingzeiten von Transportwagen bzw. Transporthilfsmitteln haben:

- Gesamtgewicht des zu bewegenden Transportwagens/ -hilfsmittels
- Rollenanzahl
- Rollenmaterial
- Fahrmanöver (einschließlich Rollenstellung in Ausgangssituation)

Bei dem Ziehen und Schieben von Transportwagen bzw. Transporthilfsmitteln hat das zu manipulierende Gesamtgewicht einen entscheidenden Einfluss: Mit steigendem Gesamtgewicht steigt die für einen Handlungsschritt benötigte Ausführungszeit. Die Untersuchungen wurden auf Basis der praxistypischen Gesamtgewichte für Transportwagen inklusive Ladung mit fünf Gewichtsstufen zwischen 125 und 800 kg absolviert. Aufgrund deutlicher Abweichungen der Handlingeigenschaften von unterschiedlichen Rollenanzahlungen, werden bei Transporthilfsmitteln (eingesetzt in Ein-/ Aufschubkonzepten) sowie bei Transportwagen jeweils vier Rollenanzahlungen untersucht; diese sind in Tabelle 6-4 aufgelistet und in Abbildung 6-3 schematisch dargestellt.

Tabelle 6-4: Die untersuchten Rollenanzahlungen für Handschiebewagen und Transportwagen [fml-16d]

Nr.	Wagentyp	Bezeichnung
1	Handschiebewagen	2 Lenkrollen, 2 Bockrollen (quer)
2	Handschiebewagen	4 Lenkrollen
3	Handschiebewagen	3 Lenkrollen, 1 Bockrolle
4	Handschiebewagen	4 Bockrollen
5	Transportwagen	2 Lenkrollen, 2 Bockrollen (längs)
6	Transportwagen	2 Mittelachs-Bockrollen + je 1 Lenkrolle vorn und hinten
7	Transportwagen	4 Lenkrollen, 2 Mittelachs-Bockrollen
8	Transportwagen	4 Lenkrollen, 2 Mittelachs-Bockrollen + 1 Zusatz-Bockrolle

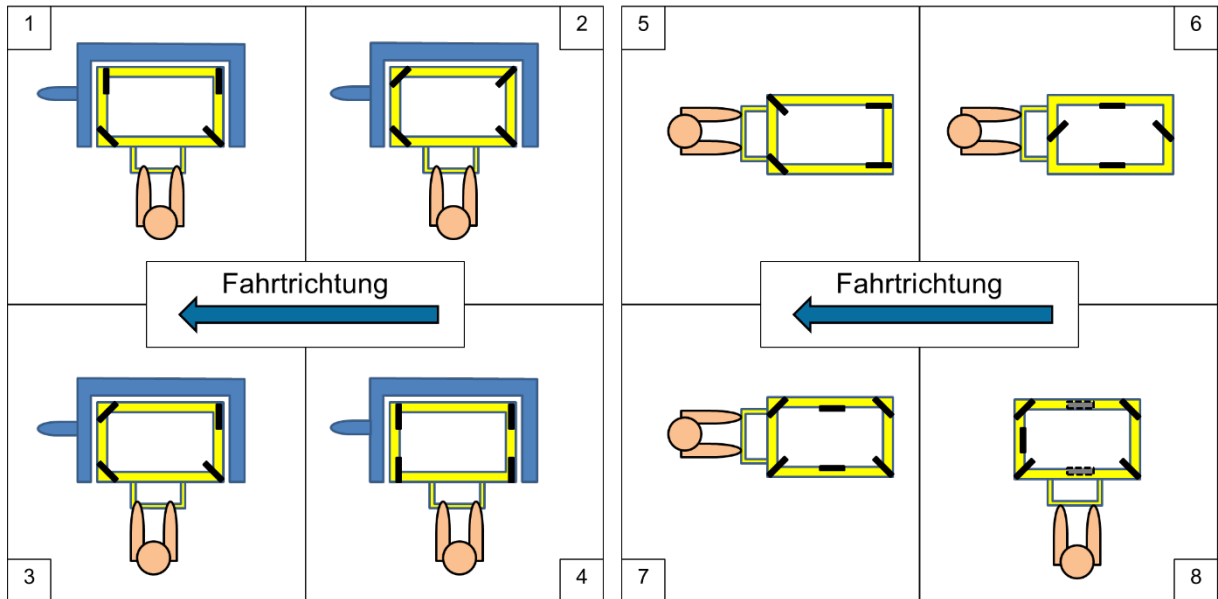


Abbildung 6-3: Darstellung der untersuchten Rollenarrangements

Neben der Anordnung wird ebenfalls das Material der Rollen unterschieden. Die betrachteten Materialien Polyamid, Polyurethan (96 Shore und 75 Shore) und Vollgummi unterscheiden sich beispielsweise im Härtegrad, welcher einen starken Einfluss auf den Kraftaufwand bei der Beschleunigung aus der Ruhelage hat. Die durchgeführten Untersuchungen haben ebenfalls gezeigt, dass ein weiches Material tendenziell zu einem höheren Zeitaufwand beim manuellen Handling führt. Als weiterer Parameter wird in den Datenkarten die zu Beginn der Bewegung vorherrschende Rollenstellung sowie das durchzuführende Fahrmanöver (genannt Tätigkeitsabschnitte) berücksichtigt. In Tabelle 6-5 wird ein Teil der für Transportwagen relevanten Tätigkeitsabschnitte dargestellt.

Tabelle 6-5: Auszug aus den Tätigkeitsabschnitten für Transportwagen [fml-16d]

Bezeichnung	Kode	Layout
<p>Tätigkeitsabschnitt 1</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schieben - Rollenstellung beim Start: 90° verdreht - Fahrweg: 3,5m geradeaus 	Txxx-S90G	<p>Tätigkeit 1</p> <p>Kode für Vollgut: T1-V Kode für Leergut: T1-L</p>

6 Dimensionierung von Planungsvarianten

<p>Tätigkeitsabschnitt 2</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ziehen - Rollenstellung beim Start: 180° verdreht - Fahrweg: 3m leichte Kurve 	<p>Txxx-Z180K</p>	
<p>Tätigkeitsabschnitt 3</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schieben - Rollenstellung beim Start: 90° verdreht - Fahrweg: 3m leichte Kurve 	<p>Txxx-S90K</p>	

Die in der Tabelle 6-5 angegebenen Codes sind, analog offizieller MTM-Datenkarten, Teil einer eindeutigen Kodierung der Zeitwerte in den erstellten Datenkarten. Aus Abbildung 6-4 geht der vollständige Aufbau der Kodierung der Zeitwerte hervor.

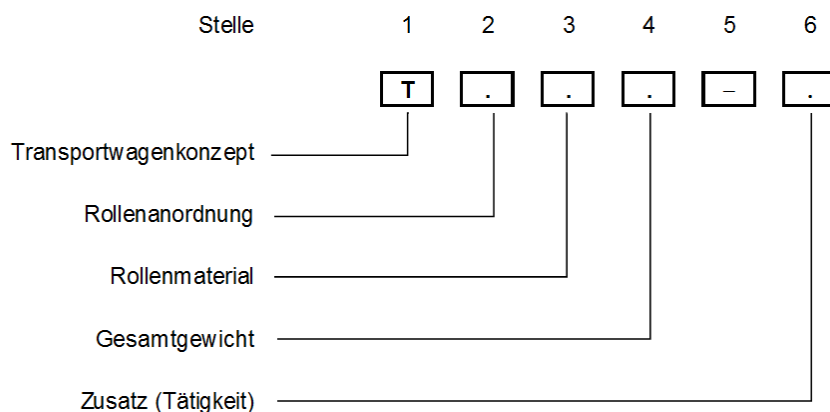


Abbildung 6-4: Aufbau der Kodierung der Zeitwerte in den Datenkarten [fml-16d]

In Tabelle 6-6 ist exemplarisch die Datenkarte für die aus Tabelle 6-5 bekannten Tätigkeitsabschnitte für Transportwagen dargestellt. Hieran kann der vorgestellte Aufbau der Kodierung der Zeitwerte am Praxisbeispiel nachvollzogen werden.

Tabelle 6-6: Auszug aus der Datenkarte für Handlingzeiten von Transportwagen [fml-16d]

		Zeitwerte in TMU		Tätigkeit 1	Tätigkeit 2	Tätigkeit 3
Rollen- anordnung	Rollen- material	Ziehen / Schieben		Schieben	Ziehen	Schieben
		Rollenstellung		90°	180°	90°
		Fahrweg		gerade	Kurve	Kurve
		Gewicht	Kode	S90G	Z180K	S90K
2 Lenkrollen, 2 Bockrollen (längs)	Polyamid	125 kg	TAAA	300	178	247
		250 kg	TAAB	333	206	264
		400 kg	TAAC	372	236	283
		500 kg	TAAD	400	253	297
		800 kg	TAAE	489	294	325
	Polyurethan 96 Shore	125 kg	TABA	331	200	256
		250 kg	TABB	344	219	275
		400 kg	TABC	372	242	303
		500 kg	TABD	400	256	325
		800 kg	TABE	522	289	397
	Polyurethan 75 Shore	125 kg	TACA	300	189	256
		250 kg	TACB	344	214	275
		400 kg	TACC	403	244	306
		500 kg	TACD	444	264	328
		800 kg	TACE	589	319	406

Arbeit mit den entwickelten Datenkarten

Die in den Datenkarten hinterlegten Zeitwerte sind für die fünf im Rahmen der Probandenstudie untersuchten Gewichtsklassen 125, 250, 400, 500 und 800 kg hinterlegt. Insbesondere bei höheren zu manipulierenden Gewichten könnte die Verwendung des dem vorliegenden Gewicht am nächsten liegenden Zeitwerts zu großen Abweichung führen. Daher ist der Zeitwert für die Handlingzeit aus den Datenkarten auf Basis des durch die Planungsaufgabe vorgegebenen Gesamtgewichts zu interpolieren. Da die in den Probandenstudien ermittelten Handlingzeiten in guter Näherung durch lineare Zusammenhänge beschrieben werden können, wird im Zeitbausteinsystem zur Bewertung von Zwischenwerten die lineare Interpolation verwendet. Anhand der in Abbildung 6-5 dargestellten Berechnungsformel wird auf Basis von zwei Stützpunkten der Wert eines dritten Punktes bestimmt.

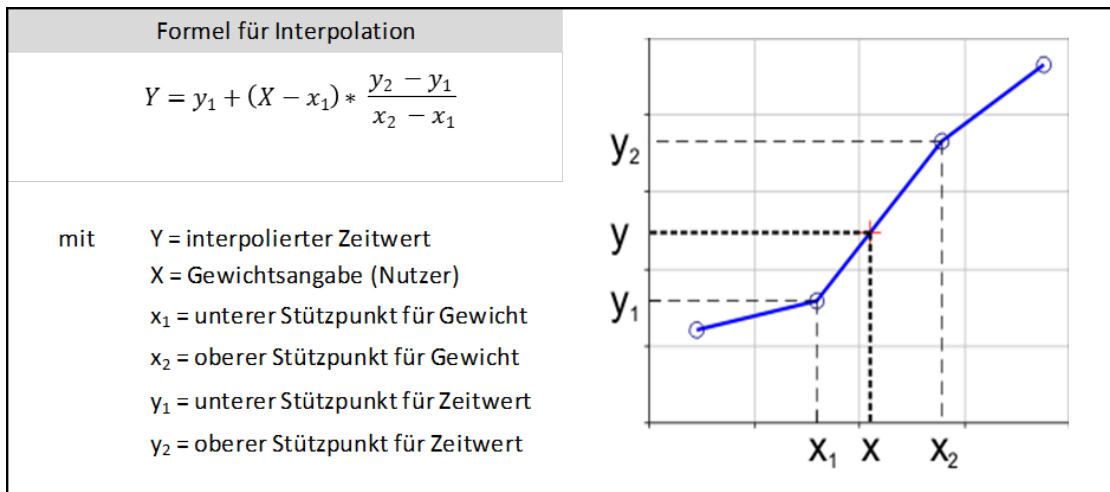


Abbildung 6-5: Interpolationsformel für das Zeitbausteinsystem (vgl. [Blu-16])

Zusätzlich zur Interpolation von Zeitwerten ist durch die Formel ebenfalls eine Extrapolation möglich. Dadurch können ebenfalls Werte für Gewichte (X) berechnet werden, die oberhalb bzw. unterhalb von zwei Stützstellen x₁ und x₂ liegen. Dies macht die Ermittlung von Zeitwerten für Gewichte oberhalb von 800 kg oder unterhalb von 125 kg möglich.

6.2.3 Zeitbausteine für die Beladung von Routenzügen an der Quelle

In Abhängigkeit der eingesetzten Anhängertechnik sowie der Größe der Ladungsträger kann die Routenzug-Beladung an der Quelle in unterschiedlicher Weise durchgeführt werden. Prinzipiell werden die Eigenbeladung durch den Routenzugfahrer, die Fremdbeladung durch einen zusätzlichen Logistik-Mitarbeiter sowie die automatisierte Beladung unterschieden. In Abbildung 6-6 wird eine Übersicht zu den im Zeitbausteinsystem betrachteten Beladungskonzepten gegeben.

Neben den in Abbildung 6-6 aufgeführten Beladungskonzepten ist ebenfalls die Analyse von kombinierten Beladungsprozessen mit dem entwickelten Zeitbausteinsystem möglich. Kombinierte Prozesse sind dadurch charakterisiert, dass für die Beladung mit GLT und KLT zwei separate Beladungsprozesse zu betrachten sind. Nachfolgend werden die in Abbildung 6-6 aufgeführten Beladungskonzepte genauer betrachtet.

<ul style="list-style-type: none"> • RZ- Fahrer schiebt Transporthilfsmittel aus Pufferfläche • RZ- Fahrer schiebt Anhänger aus Pufferfläche • Beladung mit Gabelstapler durch den RZ- Fahrer • KLT-Regale mit Niederflurkommissionierer über Pufferfläche austauschen 	Eigenbeladung mit GLT über Pufferflächen
<ul style="list-style-type: none"> • Beladung einzelner KLT aus Puffer • Beladung einzelner KLT aus dem Supermarkt • Beladung behälterloser Transportgüter über Puffer • Beladung behälterloser Transportgüter aus dem Supermarkt 	Eigenbeladung mit KLT und behälterlosen Transportgütern
<ul style="list-style-type: none"> • Rollenverschiebesystem (RVS) an einen Übergabepunkt • RVS an Pufferbahnen, alle Anhänger gleichzeitig vor Rollenbahn, fixe Vollgut-/ Leergut-Spuren • RVS an Pufferbahnen, alle Anhänger gleichzeitig vor Rollenbahn, wechselnde Vollgut-/ Leergut-Spuren • RVS an Pufferbahnen, nur jeweils 1 Anhänger vor Vollgut-/ Leergut-Spur 	Eigenbeladung mit GLT über Rollenverschiebesysteme
<ul style="list-style-type: none"> • Ankuppeln eines vorbeladenen Anhängerverbands • Umsteigen auf einen vorbeladenen Routenzug • Warten auf Beladung durch Logistik-MA mit Gabelstapler 	Fremdbeladung
<ul style="list-style-type: none"> • Parallele GLT-Übergabe, fixe Prozesszeit pro Anhängerverband • Parallele GLT-Übergabe, Prozesszeit abhängig von Anhängerzahl • Parallele GLT-Übergabe, halbautomatisiert • Parallele KLT-Übergabe, Drive-Thru-Konzept 	Automatisierte Beladung

Abbildung 6-6: Beladungskonzepte für Routenzüge im Zeitbausteinsystem (vgl. [fml-16d])

Eigenbeladung mit Großladungsträgern über Pufferflächen

In der ersten Oberkategorie der Beladungskonzepte wird die von einer Pufferfläche durchgeführte Eigenbeladung mit GLT durch den Routenzugfahrer betrachtet. Neben der Beladung des Routenzugs mit Vollgut wird ebenfalls die Abgabe von Leergut an der Pufferfläche durchgeführt. Die Transportwagen bzw. Transporthilfsmittel mit Leergut werden vom Routenzugfahrer aus dem Anhängerverband auf der Pufferfläche geschoben. Im Anschluss werden die mit Vollgut beladenen Wagen von der Pufferfläche in den Routenzug geschoben. Bei hohen zu manipulierenden Gewichten kann der Prozess mit einer ergonomischen Handhabungshilfe durchgeführt werden;

der Prozentsatz der unter Verwendung der Schiebehilfe zu manipulierenden Wagen ist vom Planer in Abhängigkeit der vorliegenden Gewichtsverteilung festzulegen. Nach abgeschlossener Beladung des Anhängerverbands mit Vollgut endet der für die Zykluszeit relevante Teil der Beladung, und der Routenzugfahrer kann eine neue Tour beginnen.

Neben dem Zeitaufwand des Routenzugfahrers wird im Zeitbausteinsystem ebenfalls der im Bahnhof durch einen Logistikmitarbeiter stattfindende Hintergrundprozess betrachtet; hier wird auf der Pufferfläche abgestelltes Leergut durch Vollgut ersetzt. Im Regelfall wird in diesem Prozess ein Gabelstapler zum Handling der GLT eingesetzt. Zur Ermittlung des Zeitaufwands des Logistikmitarbeiters sind im Zeitbausteinsystem die vom Gabelstapler zu bewältigenden Distanzen festzulegen.

Die Beladung des Routenzugs mit einem Gabelstapler kann in Sonderfällen ebenfalls vom Routenzugfahrer selbst durchgeführt werden. In diesem Fall verbleiben die Transportwagen bzw. Transporthilfsmittel im Anhängerverband und der Routenzugfahrer führt den Tausch von leeren und vollen GLT unter Verwendung eines Gabelstaplers durch. Analog zum skizzierten Hintergrundprozess für Logistikmitarbeiter sind in diesem Prozess die mit dem Gabelstapler zurückzulegenden Distanzen vom Planer festzulegen.

Eigenbeladung mit Kleinladungsträgern und behälterlosen Transportgütern

Die Beladung des Routenzugs mit KLT oder behälterlosen Transportgütern kann einzeln oder unter Verwendung eines vorbeladenen Regalgestells erfolgen. Die im Zeitbausteinsystem behandelte Beladung mit KLT bzw. behälterlosen Transportgütern bezieht sich auf die Beladung mit einzelnen Ladungseinheiten, da die Beladung mit vorbeladenen Gestellen bereits durch die Beladungsprozesse für GLT abgebildet sind.

Die Beladung mit einzelnen KLT kann entweder in einem Supermarkt oder an einer Pufferfläche erfolgen. In diesen Fällen findet die Leergutabgabe an einer separaten Abgabestation statt. Zur Anpassung der Beladungsprozesse an die Randbedingungen der Planungsaufgabe ist vom Planer die Festlegung der folgenden Parameter erforderlich:

- Distanz zwischen Routenzug und Leergutabgabe- und Vollgutbereitstellungspunkt
- Anzahl der leeren KLT, welche pro Umsetzvorgang abgegeben werden
- Anzahl aufzuladender voller KLT pro Haltestelle im Supermarkt
- Fahrweglänge im Supermarkt
- Anzahl der Kurven im Supermarkt

Die Beladung des Routenzugs mit behälterlosen Transportgütern (BTG) kann ebenfalls sowohl in einem Supermarkt als auch an einer Pufferfläche erfolgen. Bei diesen Prozessen entfällt im Regelfall die Abgabe von Leergut, da das geleerte Gestell ohne einen Zwischenschritt erneut mit BTG beladen werden kann. Die Handhabung von BTG ist in der Regel zeitaufwendiger als das Handling von standardisierten KLT und hängt stark von der Art des zu handhabenden Transportguts ab. Da die BTG in ihren Eigenschaften stark variieren können, ist das Vorhalten allgemeingültiger Zeitwerte im Zeitbausteinsystem nicht zielführend und der Zeitbedarf für das Aufnehmen und Abgeben des konkreten BTG ist jeweils vom Planer abzuschätzen.

Eigenbeladung mit Großladungsträgern über Rollenverschiebesysteme

Bei Verwendung eines Rollenverschiebesystems in einer Planungsvariante können die Rollenbahnen neben der Bereitstellung ebenfalls bei der Beladung am Bahnhof eingesetzt werden. In diesem Fall wird die Beladung an einem Übergabepunkt sowie die Beladung an Pufferbahnen unterschieden.

An einem Übergabepunkt werden die GLT durch eine Förderstrecke automatisch für die Beladung bereitgestellt. Der Routenzugfahrer positioniert den Zug vor der Leergut-Rollenbahn und das Leergut des ersten Anhängers kann auf die Rollenbahn geschoben werden. Im nächsten Schritt wird der Routenzug so weit nach vorwärts bewegt, dass die Abgabe des nächsten Leer-GLT möglich ist. Die Bewegung des Routenzugs kann in diesem Fall am Zugfahrzeug oder durch eine Fernbedienung gesteuert werden. Befindet sich der erste leere Routenzuganhänger vor einer zweiten Rollenbahn, auf der volle GLT vorgepuffert werden, kann gleichzeitig zur Leergutabgabe durch den Routenzugfahrer die Beladung des Zugs mit Vollgut beginnen. Im Fall von nicht rollenbahntauglichen GLT werden die GLT auf zusätzliche Tragrahmen, die an der Beladestation in einem Rahmenspeicher gepuffert werden müssen, gestellt. Das Zeitbausteinsystem berücksichtigt an dieser Stelle die durch den Rahmenspeicher verlängerten Fußwege des Routenzugfahrers.

Erfolgt die Beladung eines nach dem Rollenverschiebe-Konzept gestalteten Routenzugs an Pufferbahnen, werden die GLT im Vorfeld der Beladung auf den Pufferbahnen durch einen Gabelstapler aufgesetzt. Erfolgt der Behältertausch über jeweils eine Leer- und eine Vollgut-Rollenbahn ist der Ablauf des Beladungsprozesses analog zu der Beladung an einem Übergabepunkt. Die Ladungsträger können ebenfalls auf mehreren Leergut- und Vollgut-Rollenbahnen am Bahnhof vorgepuffert werden. In diesem Fall können alle Anhänger eines Routenzugs gleichzeitig vor den Leergut- oder Vollgut-Rollenbahnen positioniert werden und es ist kein Vortakten des Routenzugs nach jedem Behältertausch erforderlich. Im Zeitbausteinsystem sind in Summe

drei Prozessvarianten für die Beladung an Pufferbahnen abgebildet, welche in der folgenden Abbildung 6-7 dargestellt sind.

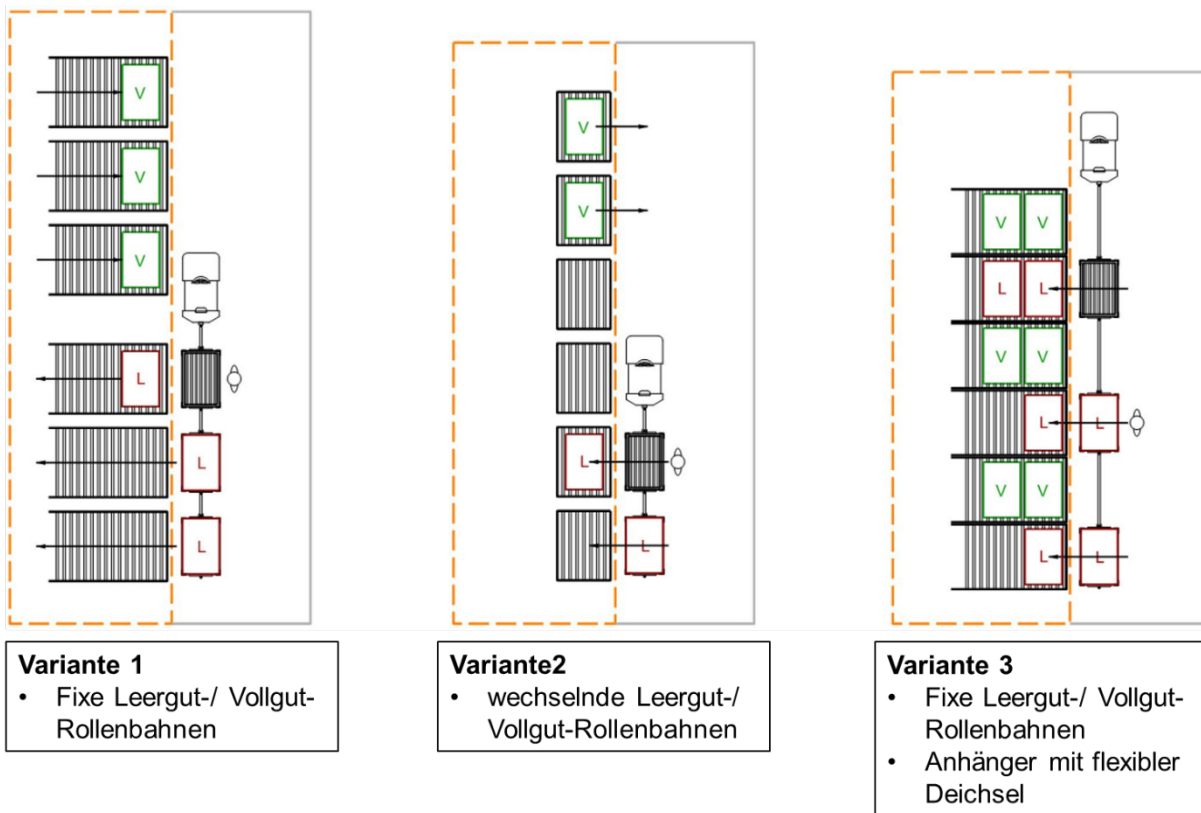


Abbildung 6-7: Unterschiedliche Beladungskonzepte für Rollenverschiebesysteme an Pufferbahnen mit allen Anhängern gleichzeitig im Eingriff (vgl. [fml-16d])

Bei dem in Variante 1 abgebildeten Beladungsprozess sind die Leergut- und Vollgut-Pufferbahnen getrennt voneinander im Bahnhof angeordnet. Der Anhängerverband wird vom Routenzugfahrer vor den Leergut-Rollenbahnen positioniert und die Leergut-GLT werden vom Routenzugfahrer auf die Rollenbahnen geschoben. Im zweiten Schritt fährt der Routenzug zu den Vollgut-Rollenbahnen und die Vollgut-GLT werden vom Routenzugfahrer auf die Anhänger gezogen. Durch die Verwendung mehrfachtiefer Rollenbahnen kann direkt im Anschluss an den Beladevorgang ein weiterer Routenzug an den gleichen Rollenbahnen beladen werden.

In der Prozessvariante 2 bieten die Rollenbahnen nur Platz für jeweils einen GLT. Bei passender Anordnung von Leergut- und Vollgut-GLT auf den Rollenbahnen kann der Beladeprozess für den Routenzugfahrer analog der Variante 1 erfolgen. Durch die einfachtiefe Ausführung der Rollenbahnen muss in diesem Fall jedoch nach jeder Routenzugbeladung das Leergut auf den Rollenbahnen durch einen Gabelstapler abgenommen und durch später benötigtes Vollgut ersetzt werden. In diesem Layout wechseln daher stetig die Positionen von Leergut- und Vollgutrollenbahnen.

Die Anordnung der Rollenbahnen in Prozessvariante 3 ist ausschließlich für Anhängertechniken mit der Möglichkeit zur Querverschiebung der Ladungsträger auf einer durchgängigen Anhängerdeichsel geeignet. Nur bei dieser Technik ist der Abstand zwischen den Routenzuganhängern ausreichend groß, um die Voll- und Leergutrollenbahnen in der dargestellten Weise anzuordnen. Der Beladevorgang erfolgt analog der Prozessvariante 1 und unterscheidet sich einzig darin, dass nach der Leergutabgabe der Routenzugfahrer nur ein kurzes Stück nach vorn gefahren werden muss, um vor den Vollgut-Rollenbahnen zum Halten zu kommen. Das Nutzen der Querverschiebung der Ladungsträger auf der Anhängerdeichsel wäre ebenfalls möglich, wird in der Praxis jedoch aufgrund deutlich erhöhtem Zeit- und Kraftaufwand nicht umgesetzt.

Das in allen Prozessvarianten erforderliche Handling der Ladungsträger auf Rollenbahnen durch einen Gabelstapler ist durch das Zeitbausteinsystem ebenfalls abgebildet. Dieser beeinflusst zwar nicht die Zykluszeit – der Zeitbedarf ist jedoch relevant für die Ermittlung der neben den Routenzugfahrern benötigten zusätzlichen Logistikmitarbeiter. In diesem Hintergrundprozess sind ebenfalls die vom Stapler zurückzulegenden Distanzen an das gegebene Planungsszenario anzupassen.

Fremdbeladung

Mit dem Ziel der Reduktion der Zykluszeit erfolgt insbesondere in großen Routenzugsystemen die Beladung nicht durch den Routenzugfahrer, sondern durch einen zusätzlichen Logistikmitarbeiter. Im Zeitbausteinsystem werden drei Varianten dieser als Fremdbeladung bezeichneten Beladungsprozesse abgebildet.

Eine Form der Fremdbeladung ist der Austausch des kompletten Anhängerverbands. Dabei kuppelt der Routenzugfahrer am Bahnhof den Anhängerverband mit dem Leergut vom Zugfahrzeug ab. Anschließend wird das Zugfahrzeug zu einem vorbe-ladenen Anhängerverband bewegt und dieser vom Routenzugfahrer an das Zugfahrzeug angekuppelt. Vom Planer sind zur Ermittlung des Zeitbedarfs die mit dem Zugfahrzeug zurückzulegenden Distanzen sowie Details zur verwendeten Kuppungstechnik festzulegen. Neben dem Austausch des Anhängerverbands ist ebenfalls der Wechsel des kompletten Routenzugs möglich. In diesem Fall kuppelt der Routenzugfahrer sein Zugfahrzeug nicht vom Anhängerverband ab, sondern steigt auf einen vorbeladenen Routenzug um und kann sofort mit der nächsten Tour beginnen. Vom Planer sind in diesem Fall der vom Routenzugfahrer zwischen dem leeren und dem vorbeladenen Routenzug zu bewältigende Fußweg sowie die vom Gabelstapler für die Vorbereitung eines Routenzugs zurückzulegenden Distanzen festzulegen. In einem weiteren Fremdbeladungs-Konzept erfolgt der Tausch von Leergut gegen Vollgut durch einen Gabelstapler während der Routenzugfahrer auf die Beladung wartet.

Das skizzierte Konzept findet aufgrund der für den Routenzugfahrer entstehenden Wartezeiten in der Praxis nur selten Anwendung.

Automatisierte Beladung

Sowohl für die Beladung mit GLT als auch mit KLT existieren automatisierte Beladungskonzepte. Für die automatisierte Beladung mit einzelnen KLT ist im Zeitbausteinsystem das am Lehrstuhl fml der Technischen Universität München entwickelte Drive-Thru-Konzept abgebildet. In diesem Konzept sind vom Routenzugfahrer die Leergutbehälter an separaten Abgabestationen abzugeben und im Anschluss der Routenzug in eine Beladestation einzufahren. In dieser erfolgt die automatische Beladung von auf dem Routenzug angebrachten Durchlaufregalen mit KLT. Die effektive Zeitdauer für den Beladevorgang ist hier – abhängig von den technischen Details der Umsetzung – vom Nutzer des Zeitbausteins festzulegen.

Zur automatisierten Beladung mit GLT können stationäre Beladestationen, in denen sowohl die Leergutabgabe als auch die Vollgutaufnahme erfolgt, eingesetzt werden. Bei einer Be- und Entladung des Anhängerverbands von unterschiedlichen Seiten wird unabhängig von der Anhängerzahl eine feste Zeit pro Beladevorgang benötigt. Erfolgen Be- und Entladung von der gleichen Seite, variiert die Prozesszeit in Abhängigkeit der Anzahl der Anhänger im Routenzug. Neben stationären Stationen können automatisierte Routenzuganhänger eingesetzt werden. Diese ermöglichen eine Abgabe und Aufnahme von GLT beispielsweise durch seitlich ein- und ausfahrbare Mitnehmerstangen oder angetriebene Rollenbahnen.

Fazit

Auf Basis des vorgestellten Abschnitts kann durch Zeitbausteine, die MTM-Analysen sowie Handlingzeiten aus den vorgestellten Datenkarten beinhalten, der Zeitbedarf für die Beladung des Routenzugs ermittelt werden. Nach Betrachtung der weiteren Teilelemente der Zykluszeit wird im Abschnitt 6.2.6 zur exemplarischen Darstellung der Umsetzung des Zeitbausteinsystems ein Zeitbaustein im Detail betrachtet.

6.2.4 Berechnung der reinen Fahrzeit eines Routenzugs

Die Fahrzeit macht einen wesentlichen Teil der Zykluszeit eines Routenzugsystems aus. Für die Berechnung der Fahrzeit eignen sich die MTM-Bausteine aus den Standardvorgängen Logistik jedoch nur sehr bedingt, da sie auf einer fix hinterlegten Durchschnittsgeschwindigkeit von 8 km/h für den Schlepper basieren [MTM-07]. Da auf dieser Basis keine Berücksichtigung von äußeren Vorgaben oder Techniken mit teilweise stark abweichenden Höchstgeschwindigkeiten möglich ist, wird für die Berechnung des Zeitaufwands pro Meter Fahrt kein MTM-Baustein verwendet, sondern

es erfolgt eine Berechnung auf Basis der Charakteristika der jeweiligen Planungsaufgabe. Dabei ist zu beobachten, dass ein Routenzug während einer Fahrt nur anteilig mit der maximal möglichen Geschwindigkeit unterwegs ist. Eine Berechnung der Fahrzeit nur unter Berücksichtigung der Parameter "Weglänge" und "maximale Fahrgeschwindigkeit" ist somit nicht zielführend. Vielmehr ist es nützlich, die Fahrzeit in definierte Fahrzustände aufzuteilen, die entsprechenden Zeiten eines Zustands einzeln zu ermitteln und diese abschließend zu summieren.

Neben der Fahrt mit maximaler Geschwindigkeit findet eine separate Betrachtung der Fahrzustände Rampen- und Kurvenfahrt statt, in denen jeweils mit reduzierter Geschwindigkeit gefahren werden muss. Als viertes Element der Fahrzeit wird etwaiger zusätzlicher Zeitbedarf aufgenommen, der sich aus der Zeit für Nebentätigkeiten und den Wartezeiten an blockierten Wegen oder Kreuzungen zusammensetzt. Somit folgt die Berechnung der angegebenen Formel (6-2).

$$t_{\text{Fahrt}} = t(V_{\text{max}}) + t(V_{\text{Rampe}}) + t(V_{\text{Kurve}}) + t_{\text{Zusatz}} \quad (6-2)$$

Um die beschriebenen Zeiten in den Fahrzuständen berechnen zu können, ist eine separate Ermittlung der jeweiligen Geschwindigkeit und Fahrstrecke erforderlich. Abbildung 6-8 gibt eine Übersicht über die nachfolgend diskutierten Berechnungsschritte zu Ermittlung von Geschwindigkeiten, Fahrstrecken und Fahrzeit.

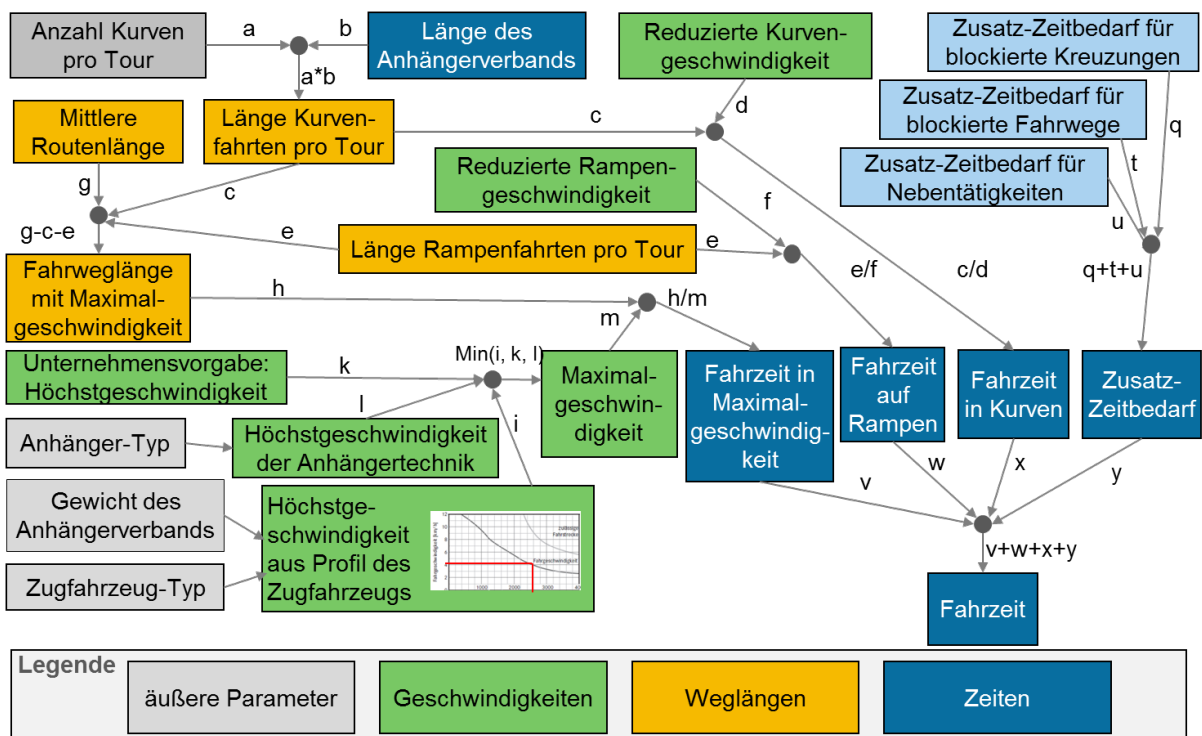


Abbildung 6-8: Visualisierung der Berechnung der Fahrzeit

Für die Berechnung der Fahrzeiten auf Rampen und in Kurven werden praxistypische, reduzierte Geschwindigkeiten angenommen. Um diese Angaben in Fahrzeiten umrechnen zu können, werden die im konkreten Planungsszenario vorhandenen Wegstrecken herangezogen. Es gilt hierbei zu beachten, dass bei der Länge der Kurvenfahrt auch die Länge des Zugs selbst Einfluss hat. So wird die Kurvenfahrt erst dann als beendet angesehen, wenn der letzte Anhänger die Kurve verlassen hat.

Durch Abzug der Fahrstrecken auf Rampen und in Kurven von der mittleren Routenlänge ergibt sich die Strecke, die der Routenzug mit maximaler Geschwindigkeit zu fahren im Stande ist. Für die Berechnung des Fahrzeitanteils in Maximalgeschwindigkeit ist eine exakte Ermittlung der maximalen Geschwindigkeit, welche durch drei verschiedene Elemente beeinflusst wird, erforderlich. Für den ersten Fall ist es möglich, dass die Höchstgeschwindigkeit in einem Betrieb auf einen bestimmten Wert begrenzt ist und somit nicht von der Technik des Routenzugs abhängt. Im zweiten Fall ist für die Anhänger des Zugs eine maximale Fahrgeschwindigkeit vorgeschrieben, bis zu der die Anhänger sicher betrieben werden können. Im dritten Fall ist die Geschwindigkeit vom Zugfahrzeug abhängig. Die gängigen elektrischen Fahrzeuge weisen im allgemeinen Fall eine Betriebscharakteristik auf, bei der die maximale Geschwindigkeit von der angehängten Last bestimmt wird. Mit Hilfe des typenspezifischen Zuglastdiagramms kann für jedes Zugfahrzeug die maximal realisierbare Geschwindigkeit bei gegebener Anhängelast ermittelt werden.

6.2.5 Zeitbausteine für die Bereitstellung von Transportgut an den Senken

Die Zeitbausteine für die Bereitstellung an den Senken unterscheiden sich deutlich in Abhängigkeit des bereitzustellenden Transportguts. Es werden GLT, KLT sowie behälterlos bereitgestellte Transportgüter unterschieden. Weitere Differenzierungen erfolgen beispielsweise auf Grundlage der verwendeten Anhängertechnik und des Bereitstellprinzips (Ein-Behälter-Prinzip / Mehr-Behälter-Prinzipien). Abbildung 6-9 zeigt eine Übersicht der im Zeitbausteinsystem abgebildeten Bereitstellprozesse, für die nachfolgend die durch die genannten Einflussfaktoren verursachten Unterschiede im Bereitstellprozess erläutert werden.

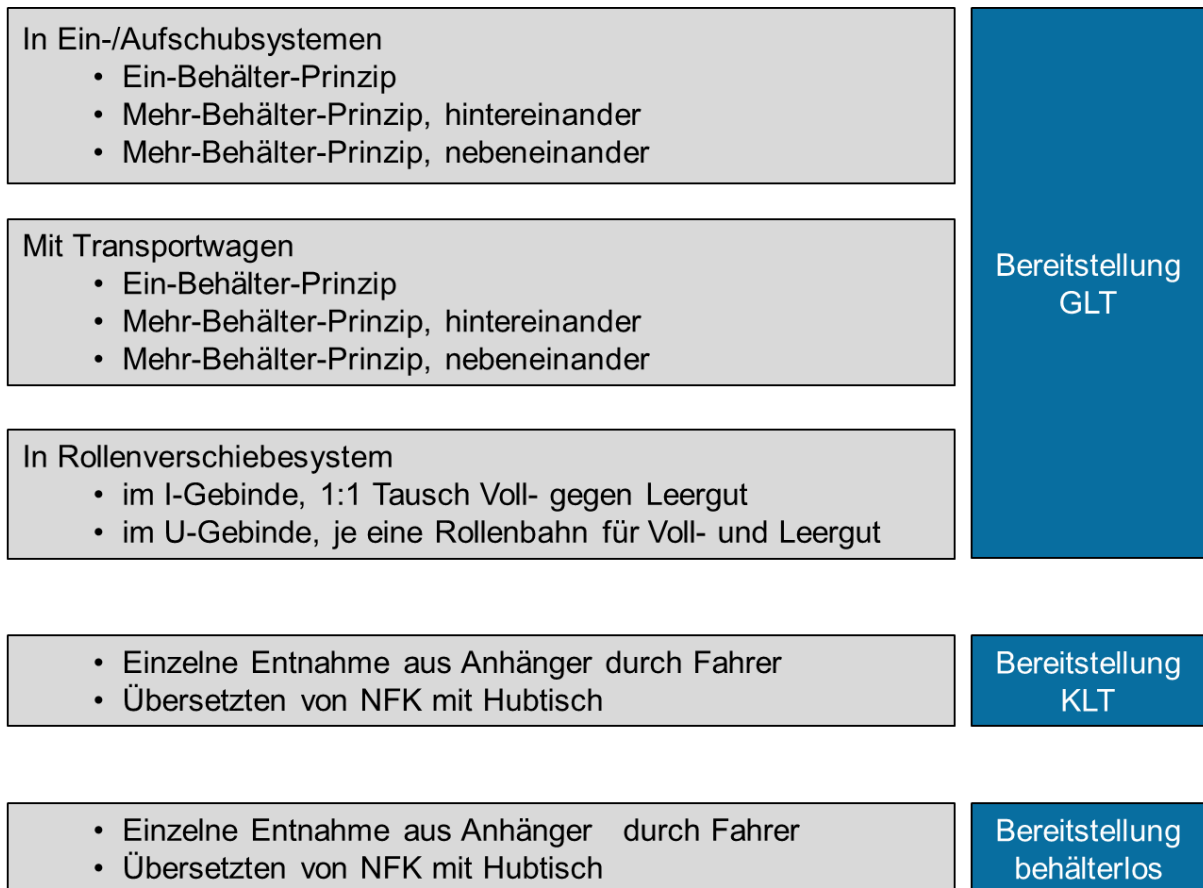


Abbildung 6-9: Bereitstellprozesse für Routenzüge im Zeitbausteinsystem (vgl. [fml-16d])

Bereitstellung von Großladungsträgern im Ein-/ Aufschubkonzept

Beim Einsatz eines Ein-/ Aufschubkonzepts gibt es für Bereitstellung der GLT auf Transporthilfsmitteln drei im Zeitbausteinsystem betrachtete Varianten. Bei der Anstellung der GLT im Ein-Behälter-Prinzip ist an jedem Bereitstellort der Senke genau ein Stellplatz pro bereitzustellendem GLT vorgesehen. In diesem Fall muss die Bereitstellung eines Vollgut-Behälters erfolgen, sobald der an der Senke vorgehaltene Behälter geleert wurde. Befinden sich zum Zeitpunkt der Bereitstellung noch einzelne Bauteile im Behälter werden diese in der Regel in den Vollgut-Behälter umgepackt. Zwei weitere Möglichkeiten zur Bereitstellung von GLT sind das Mehr-Behälter-Prinzip nebeneinander und das Mehr-Behälter-Prinzip hintereinander. Bei der Anstellung im Mehr-Behälter-Prinzip sind für alle GLT-Typen bzw. Sachnummern mehrere Stellplätze an der Senke vorgesehen. Abhängig davon, ob die GLT längs oder quer zum Fahrweg angeordnet werden, werden die Anstellung „nebeneinander“ bzw. „hintereinander“ unterschieden. Die Handhabungsschritte bei der Bereitstellung von GLT in beiden Ausprägungen des Mehr-Behälter-Prinzips sind in Abbildung 6-10 dargestellt.

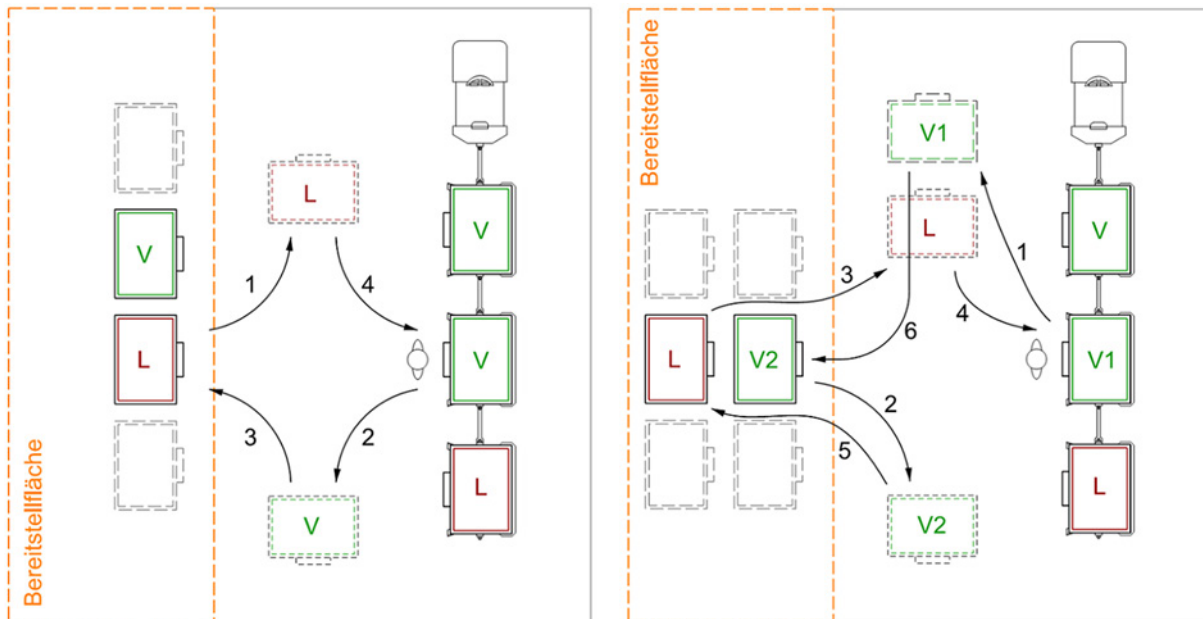


Abbildung 6-10: Bereitstellung von GLT im Mehr-Behälter-Prinzip nebeneinander (links) und hintereinander (rechts) [fml-16d]

Da bezüglich des Prozessablaufs bei der Bereitstellung keine Unterschiede zwischen dem Ein-Behälter-Prinzip und dem Mehr-Behälter-Prinzip existieren, werden beide Bereitstellvorgänge im Zeitbausteinssystem im gleichen Baustein abgebildet.

Das Zeitbausteinssystem unterscheidet neben dem Anstellkonzept der GLT die ein- oder beidseitige Bereitstellung der Ladungsträger. Dies ist primär für einseitig entladbare Anhängerkonzepte (wie z. B. E-Frames) relevant, da bei diesen bei einer beidseitigen Bereitstellung durch die Notwendigkeit des Umfahrens der Anhänger zusätzliche Geh- und Schiebewege entstehen. Diese können zu einer signifikanten Veränderung der Zykluszeit des Routenzugs führen.

Bereitstellung von Großladungsträgern im Transportwagenkonzept

Analog zur Bereitstellung von GLT im Ein-/ Aufschubkonzept wird auch bei Transportwagen die Materialanstellung im Ein- oder Mehr-Behälter-Prinzip unterschieden. Da auch bei Transportwagen keine Unterschiede bei der Bereitstellung von GLT im Ein-Behälter-Prinzip und im Mehr-Behälter-Prinzip nebeneinander existieren, werden beide Varianten im Zeitbausteinssystem durch einen Baustein abgebildet. Abbildung 6-11 zeigt für die Anstellung von Ladungsträgern im Mehr-Behälter-Prinzip die bei der Bereitstellung von GLT auf Transportwagen erforderlichen Handhabungsschritte für die Anstell-Varianten nebeneinander und hintereinander.

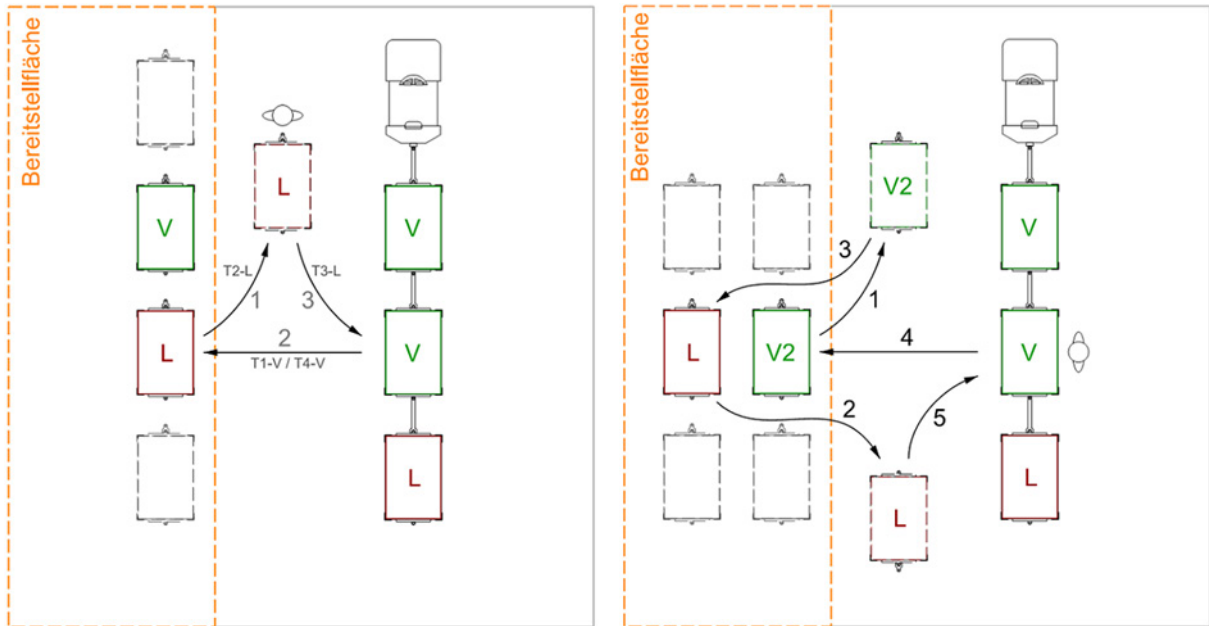


Abbildung 6-11: Bereitstellung von Transportwagen im Mehr-Behälter-Prinzip nebeneinander (links) und hintereinander (rechts) [fml-16d]

Die Materialbereitstellung bei Transportwagen unterscheidet sich von der Bereitstellung beim Ein-/ Aufschubkonzept primär durch die Tatsache, dass im Transportwagenkonzept die Ladungsträger nicht auf zusätzlichen Transporthilfsmitteln erfolgt, sondern auf dem eigentlichen Routenzuganhänger. Für die Bereitstellung des Vollguts ist der jeweilige Transportwagen aus dem Anhängerverband auszukuppeln. Im Gegenzug muss für die Mitnahme des Leergut-GLT der betreffende Transportwagen in den Anhängerverband geschoben und angekuppelt werden.

Bereitstellung von Großladungsträgern im Rollenverschiebesystem

Bei Rollenverschiebesystemen sind für die Bereitstellung von GLT an der Senke die beiden in Abbildung 6-12 dargestellten Anstellkonzepte zu berücksichtigen.



Abbildung 6-12: Bereitstellung von GLT an I-Gebinde (links) und U-Gebinde (rechts) [fml-16d]

6 Dimensionierung von Planungsvarianten

Basierend auf der Form der für die Materialanstellung an der Senke genutzten Einrichtung werden das I-Gebinde und das U-Gebinde unterschieden. Die Bezeichnung I-Gebinde bezieht sich auf einzelne Rollenbahnen ohne die Möglichkeit einer Querverschiebung von GLT. Aus diesem Grund muss bei einem Behälterwechsel an einem I-Gebinde im ersten Schritt das Leergut abgenommen werden, bevor im zweiten Schritt die Bereitstellung von Vollgut erfolgen kann. Daher ist für einen 1:1-Tausch von Vollgut und Leergut erforderlich, im Routenzug einen leeren Anhänger mitzuführen.

Im Gegensatz zum I-Gebinde besteht das U-Gebinde aus zwei separaten Rollenbahnen für Vollgut und Leergut. Geleerte Vollgut-GLT können vom Mitarbeiter an der Senke über eine Querverschiebeeinrichtung von der Vollgut- auf die Leergut-Rollenbahn geschoben werden. Durch den beschriebenen Aufbau kann die Bereitstellung des Vollguts vor der Übernahme des Leerguts erfolgen und beim 1:1-Tausch muss bei Verwendung von U-Gebinden kein leerer Anhänger mitgeführt werden.

Bei dem in Abbildung 6-12 dargestellten Bereitstellprozess kommt der Anhänger direkt vor der Vollgut-Rollenbahn eines U-Gebindes zum Stehen. Das nach der Abgabe des Vollguts erforderliche Vortakten zur Leergut-Rollenbahn erfolgt am Zugfahrzeug oder durch eine Fernsteuerung. Bei Verwendung eines Rollenverschiebesystems mit flexibler Deichsel können die Anhänger mittig zwischen der Vollgut- und Leergut-Rollenbahn eines U-Gebindes positioniert werden. Durch das Verschieben des Anhängers auf der durchgängigen Deichsel können die Ladungsträger für die Abgabe von Vollgut und Aufnahme von Leergut ohne eine Bewegung des Routenzugs vor der jeweiligen Rollenbahn positioniert werden (vgl. Abbildung 6-13).

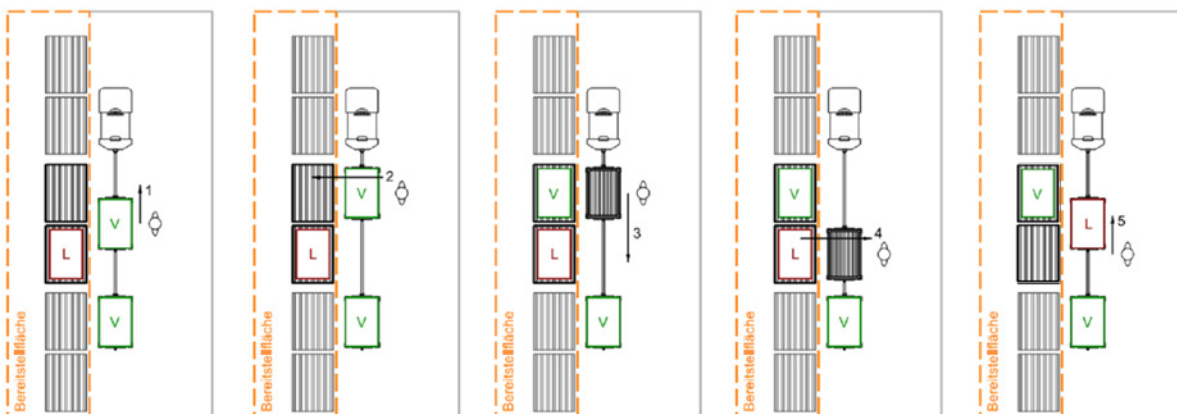


Abbildung 6-13: Bereitstellprozess von GLT mithilfe einer Verschiebedeichsel (vgl. [fml-16d])

Für den dargestellten Bereitstellprozess ist die Richtung, in welcher das Vollgut zu Beginn des Bereitstellprozesses verschoben werden muss, von entscheidender

Bedeutung. Bei einem Verschieben des Vollguts entgegen der Fahrtrichtung des Routenzugs muss die um 180° verdrehte Ausrichtung der Lenkrollen berücksichtigt werden. Diese führt – insbesondere bei weichen Rollen und hohem Gesamtgewicht – zu einem erhöhten Kraft- und Zeitaufwand. Aus diesem Grund wird im Zeitbaustein-System die Richtung, in welche zu Beginn verschoben wird, in der Berechnungslogik berücksichtigt.

Bereitstellung von einzelnen Kleinladungsträgern

Im Vergleich zu der Betrachtung der GLT sind die Prozessunterschiede bei der Bereitstellung von einzelnen KLT sehr begrenzt. Der Routenzugfahrer geht in der Regel zu einem vorgegebenen Routenzuganhänger, entnimmt dort den bereitzustellenden Vollgut-KLT und stellt diesem an der Senke bereit. Wenn keine weiteren KLT an diesem Haltepunkt bereitzustellen sind, geht der Routenzugfahrer zurück zum Zugfahrzeug und setzt seine Tour fort. Um in dem Zeitbaustein unterschiedliche Planungsszenarien abbilden zu können, kann die Distanz zwischen Routenzug und Bereitstellort sowie die Anzahl der pro Haltepunkt bereitzustellenden KLT festgelegt werden. Bei sehr hohen KLT-Gewichten kann der Einsatz eines Niederflurkommissionierers mit höhenverstellbarem Hubtisch sinnvoll sein. Im Zeitbaustein-System wird berücksichtigt, welcher Anteil der KLT durch ein seitliches Ziehen und Schieben über den Hubtisch und welcher durch das klassische Tragen der KLT bereitgestellt wird.

Bereitstellung von einzelnen behälterlosen Transportgütern

Der Bereitstellvorgang bei einzelnen behälterlosen Transportgütern (z. B. Kabelbäume oder Kunststoffrohre) läuft grundsätzlich analog der Bereitstellung von KLT ab. Aufgrund starker Abweichungen von Größe und Gewicht behälterloser Transportgüter variiert der Zeitaufwand für das Handling der Transportgüter deutlich. Da aus diesem Grund keine allgemeingültige Berechnung der Handhabungszeit pro Transportgut erfolgen kann, ist dieser Parameter durch den Planer festzulegen.

Fazit

Die Berechnung des Zeitbedarfs für die Bereitstellung kann auf Basis der vorgestellten Zeitbausteine, welche MTM-Analysen sowie Handlingzeiten aus den vorgestellten Datenkarten beinhalten, erfolgen. Im folgenden Abschnitt 6.2.6 wird die Realisierung eines exemplarischen Zeitbausteins im Detail betrachtet.

6.2.6 Exemplarische Detailbetrachtung eines Zeitbausteins

Aufgrund des Umfangs des entwickelten Zeitbaustein-Systems kann im Rahmen der Arbeit nicht jeder Baustein detailliert dargestellt werden. Um dennoch einen Eindruck des Aufbaus und der hinterlegten Logiken der Bausteine zu vermitteln, erfolgt in

6 Dimensionierung von Planungsvarianten

diesem Abschnitt die exemplarische Betrachtung eines ausgewählten Zeitbausteins. Der in Abbildung 6-14 dargestellte Zeitbaustein beinhaltet die Berechnung des Zeitbedarfs für die Bereitstellung eines GLT auf einem Transporthilfsmittel aus einem nach dem Ein-/ Aufschubkonzept gestalteten Routenzuganhänger; die Materialanstellung erfolgt im Mehr-Behälter-Prinzip nebeneinander. Der genaue Prozessablauf bzw. Bausteininhalt ist im unteren Bereich „Inhalt“ des Bausteins dokumentiert.

BE-1 1:1 THM-Behältertausch, Mehr-Behälter-Prinzip, nebeneinander					
Nr.	Bezeichnung	Kode	TMU	A x H	Ges. TMU
1	Feststellbremse ziehen	AZF	120	0	0
2	vom Schlepper absteigen	KA	25	1	25
3	zum Mittelpunkt des Anhängerverbands gehen	KA	25	5	125
4a	1:1 THM-Behältertausch, nebeneinander	1:1.THM.N	1906	1	1906
4b	1:1 THM-Behältertausch, nebeneinander, mit Schiebehilfe	1:1.THM.NS	2800	0	0
5	zurück zum Schlepper gehen	KA	25	5	125
6	auf Schlepper aufsteigen	KA	25	1	25
7	Feststellbremse lösen	AZF	120	0	0
	Tastendruck für Hubmechanismus	BA2	25	0	0
	Wartezeit beim Anhänger	PT-HUB	139	0	0
	Wartezeit auf dem Schlepper	PT-HUB	139	1	139
	Seitenwand öffnen und schließen (Taxiwagen)	BB2	45	0	0
	vom Schleppersitz aufstehen und hinsetzen	AZB	160	1	160
				Σ	2505
Inhalt:	Der RZ-Fahrer zieht die Feststellbremse, steigt vom Schlepper ab und läuft im Schnitt bis zum Mittelpunkt des Anhängerverbands. Dort angekommen führt er den 1:1 Behältertausch entweder manuell oder mit einer Schiebehilfe durch. Je nach Anhänger- und Bereitstellungsprinzip sind verschiedene Prozessabläufe möglich. Ist der Behältertausch abgeschlossen, kehrt der RZ-Fahrer zum Schlepper zurück, steigt auf und löst die Feststellbremse.				

Abbildung 6-14: Zeitbaustein zur Bereitstellung eines GLT auf einem Transporthilfsmittel nach dem Ein-/ Aufschubkonzept im Mehr-Behälter-Prinzip nebeneinander [fml-16d]

Mit dem Ziel der Abbildung einer größeren Bandbreite von Prozessalternativen werden die Zeitbausteine soweit umsetzbar dynamisch aufgebaut. Der „dynamische Aufbau“ bezeichnet dabei die Möglichkeit, dass sich die Zahlenwerte in den einzelnen Zellen des Bausteins auf Basis der Nutzereingaben verändern können. Der Baustein passt sich demnach dem jeweiligen Planungsszenario des Nutzers an, wodurch die separate Modellierung eines Bausteins für leicht abgewandelte Prozessvarianten vermieden wird. Infolgedessen kann trotz des Erreichens eines hohen Detaillierungsgrads die Anzahl der verwendeten Bausteine deutlich reduziert werden. Grundsätzlich bestehen alle Bausteine sowohl aus weißen als auch aus orange hinterlegten Zellen, welche sich in ihrer Funktion voneinander unterscheiden. Während die weiß hinterlegten Zellen fixe Werte enthalten, können die Werte in den orange hinterlegten Zellen auf Basis von Festlegungen des Nutzers verändert werden. Die orangefarbenen Zellen sind somit die „dynamischen“ Zellen innerhalb eines Bausteins.

In Zeile 1 des Zeitbausteins mit der Kodierung „BE-1“ wird das Betätigen der Feststellbremse des Schleppers durch den Routenzugfahrer abgebildet. Auf Basis des

Bausteinsystems MTM-UAS wird ein fixer Zeitwert von 120 TMU angesetzt. Da bei dem in der betrachteten Planungsvariante eingesetzten Zugfahrzeug kein manuelles Ziehen der Feststellbremse erforderlich ist, wurde der Häufigkeitsfaktor (Spalte „A x H“) auf den Wert null gesetzt. Im Fall der Verwendung eines Zugfahrzeugs mit manueller Feststellbremse wäre der Häufigkeitsfaktor auf den Wert 1 zu setzen. Da das in Zeile 2 betrachtete Absteigen des Fahrers vom Schlepper in jeder Planungsvariante auftritt, werden sowohl für den Zeitwert als auch für den Häufigkeitsfaktor feste Werte verwendet. In dem in Zeile 3 abgebildeten Gehen des Routenzugfahrers zum Mittelpunkt des Anhängerverbands ist der Zeitwert fixiert, da er dem Zeitaufwand für das Gehen von einem Meter entspricht. Abhängig von der Länge des in der Planungsvariante betrachteten Anhängerverbands wird durch den Häufigkeitsfaktor die zurückzulegende Distanz beschrieben.

In Zeile 4a werden der Zeitwert und der Häufigkeitsfaktor dynamisch ermittelt und sind daher orange markiert. Der dynamische Häufigkeitsfaktor ist darauf zurückzuführen, dass die Anzahl der pro Haltepunkt bereitzustellenden Ladungsträger vom Planungsszenario abhängt. Da der in Zeile 4a abgebildete Behältertausch von der eingesetzten Technik und anderen Randbedingungen abhängt, wird auch der Zeitwert in dynamisch festgelegt. Dieser wird in diesem Fall in dem untergeordneten Hilfsbaustein „1:1.THM.N“ berechnet, der in Abbildung 6-15 dargestellt ist.

1:1.THM.N 1:1 THM-Behältertausch, nebeneinander					
Nr.	Bezeichnung	Kode	TMU	A x H	Ges. TMU
1	1:1 THM-Tausch, neben. - B/C/E/H/U-Frames, Taxiwagen	THM.N.P1	1527	0,75	1145
2	1:1 THM-Tausch, neben. - U-Frames, richtige Seite	THM.N.P2	1190	0	0
3	1:1 THM-Tausch, neben. - C/E/H-Frames, falsche Seite	THM.N.P3	2125	0,25	531
4	1:1 THM-Tausch, neben. - U-Frame + THM mit 4 Bockr.	THM.N.P4	453	0	0
	Behälter / Senke scannen	BE-SCAN	115	2	230
				Σ	1906
Inhalt: Sammelbaustein für den 1:1 Vollgut-Leergut Tausch von Transporthilfsmitteln, welche im 1-Behälter-Prinzip bzw. Mehr-Behälter-Prinzip nebeneinander bereitgestellt werden. Die einzelnen Prozessvarianten werden in diesem Baustein gemäß ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit miteinander verrechnet.					

Abbildung 6-15: Hilfsbaustein für den manuellen Behältertausch im Mehr-Behälter-Prinzip nebeneinander [fml-16d]

Da der Prozessablauf beim Behältertausch je nach Anhängertechnik und Bereitstellungsseite variieren kann, werden in diesem Hilfsbaustein anteilig die Zeitwerte aus Basis-Bausteinen, die die dritte Ebene des Zeitbausteinsystems darstellen, verwendet. Basierend auf der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeit wird der Zeitwert jedes Basis-Bausteins im Hilfsbaustein mit einem Faktor zwischen 0 und 1 multipliziert. Exemplarisch wird in Abbildung 6-16 der in Abbildung 6-15 rot markierte Basis-Baustein „THM.N.P2“ betrachtet, welcher den Behältertausch bei U-Frames zur „richtigen Seite“ beschreibt (d. h. die Transporthilfsmittel können geschoben und müssen nicht gezogen werden).

6 Dimensionierung von Planungsvarianten

THM.N.P2	THM-Behältertausch nebeneinander, Prozess 2 - U-Frame, richtige Seite				
Nr.	Bezeichnung	Kode	TMU	A x H	Ges. TMU
1	zum LG-THM gehen	KA	25	3	75
2	Fußbremse LG-THM lösen	BB2	45	1	45
3	LG-THM aus Stellplatz bei Senke ziehen	E3-L	232	1	232
4	zum VG-THM auf gegenüberl. Anhängerseite gehen	KA	25	5,5	138
5	Sicherungsbolzen durch Fußtritt lösen	BB2	45	1	45
6	VG-THM vorwärts auf Stellplatz bei Senke schieben	E1-V	279	1	279
7	Fußbremse VG-THM betätigen	BB2	45	1	45
8	zum LG-THM gehen	KA	25	3,5	88
9	LG-THM in Anhänger schieben	E4-L	244	1	244
				Σ	1190
Inhalt:	Der prinzipielle Prozessablauf ist im Schaubild abgebildet. Dieser Prozess gilt für U-Frames, bei welchen die Bockrollen des THM auf der dem Bereitstellpunkt zugewandten Seite des Anhängerverbands liegen.				

Abbildung 6-16: Basis-Baustein für den Behältertausch im Mehr-Behälter-Prinzip nebeneinander für das Herausschieben eines THM aus einem U-Frame [fml-16d]

Auf der Ebene der Basis-Bausteine werden neben Vorgangsschritten aus etablierten MTM-Bausteinsystemen ebenfalls Vorgangsschritte mit Codes wie „E3-L“ oder „E1-V“ verwendet. Hierbei handelt es sich um experimentell ermittelte Zeitwerte aus im Forschungsvorgehen durchgeführten Probandenstudien, die auf Basis von im Abschnitt 6.2.2 vorgestellten Datenkarten ermittelt werden können.

Fazit

Die Betrachtung des Bausteins „BE-1“ macht exemplarisch den grundsätzlichen Aufbau des Zeitbausteinsystems zur Berechnung der Zykluszeit eines Routenzugs deutlich. Auf Basis des vorgestellten Bausteinsystems wird somit eine sowohl technische als auch prozessuale Details berücksichtigende Ermittlung der Zykluszeit durchgeführt. Diese dient als Grundlage der im folgenden Abschnitt vorgestellten Berechnung der Anzahl von Mitarbeitern und weiteren Systemelementen.

6.3 Berechnung der erforderlichen Anzahl von Systemelementen

Das zentrale Element der Berechnung der erforderlichen Anzahl von Systemelementen ist die Berechnung der Anzahl von Routenzugfahrern. Auf Basis dieses Parameters wird die Anzahl diverser anderer Systemelemente abgeleitet. Aus diesem Grund wird nachfolgend die in Abbildung 6-17 dargestellte Berechnungslogik zur Ermittlung der Anzahl von Routenzugfahrern detailliert vorgestellt. Die Abbildung zeigt beispielhaft einen GLT-Prozess, ist aber auch auf KLT-Prozesse anwendbar.

6.3 Berechnung der erforderlichen Anzahl von Systemelementen

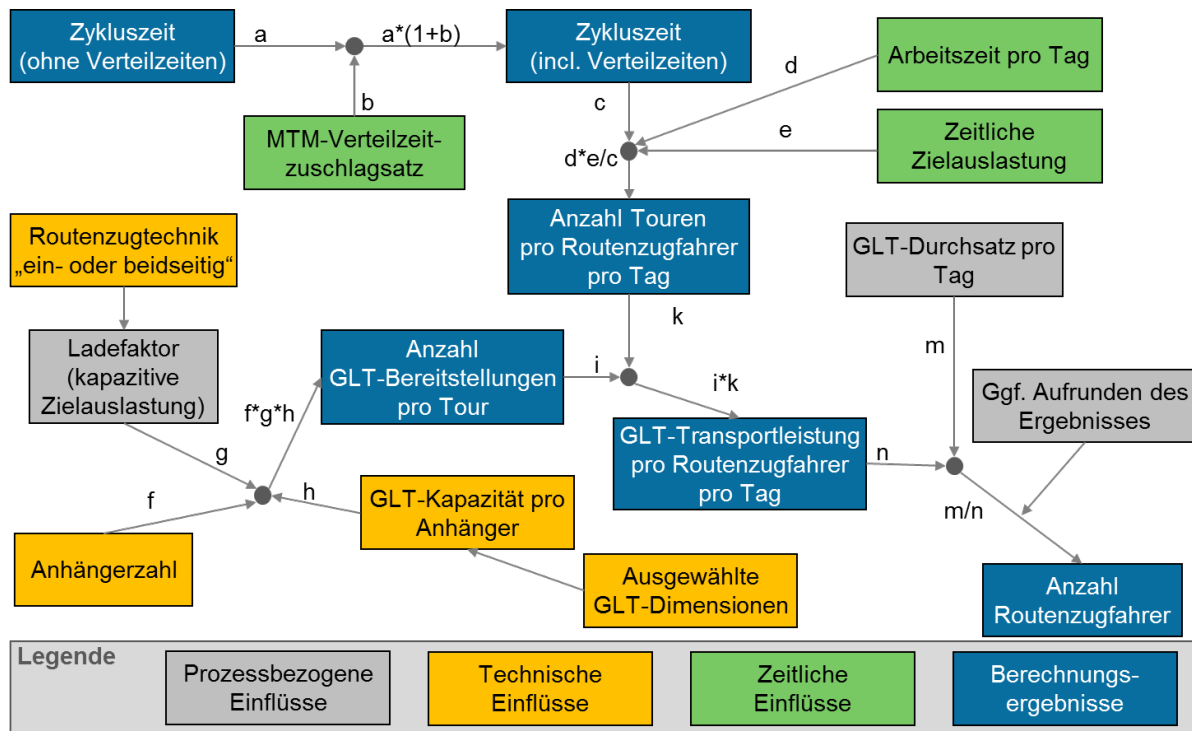


Abbildung 6-17: Übersicht zur Berechnung der Anzahl der Routenzugfahrer

Ausgangspunkt der Berechnung ist die in Abschnitt 6.2 thematisierte Zykluszeit des Routenzugprozesses, zu der für die weitere Berechnung ein MTM-Verteilzeit-zuschlag addiert wird (vgl. Abschnitt 6.2.1). Bei der Höhe des Zuschlags handelt es sich um eine unternehmensspezifische Vorgabe, die zwischen 7 und 10 % liegt. Unter Berücksichtigung der Arbeitszeit pro Tag und der zeitlichen Zielauslastung kann die Anzahl der Touren pro Routenzugfahrer und Tag ermittelt werden. Die zeitliche Zielauslastung wird verwendet, um eine Sicherheit – beispielsweise gegenüber stark frequentierten Fahrwegen – in der Systemgestaltung zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wird die zeitliche Auslastung, abhängig von unternehmensspezifischen Vorgaben, mit einem Wert unter 100 % in der Dimensionierung veranschlagt.

Zusätzlich zu der Anzahl der Touren pro Routenzugfahrer ist es erforderlich zu ermitteln, wie viele GLT-Bereitstellungen auf einer der Touren erfolgen. Dieser Faktor wird primär von der Anzahl der Anhänger im Routenzug sowie von der Transportkapazität pro Anhänger, die auf Basis der Ladungsträgerdaten und der Stammdaten der Routenzugtechniken ermittelt werden muss, bestimmt. Als weiteres Element ist der Ladefaktor zu berücksichtigen, der abhängig von einer möglichen ein- oder beidseitig entladenden Anhängertechnik eine unterschiedliche kapazitive Zielauslastung für die Planung vorgibt.

Der Hintergrund der Differenzierung auf Basis der Beidseitigkeit liegt in der Tatsache, dass in großen Routenzugsystemen, in denen einseitig entladende Anhänger

6 Dimensionierung von Planungsvarianten

eingesetzt werden, oftmals reine links- oder rechts-entladende Routen gebildet werden. Da dies mit einem Flexibilitätsverlust bezüglich der Tourenbildung einhergeht, muss davon ausgegangen werden, dass es in diesem Fall häufiger zu Leerfahrten kommt, und damit das System eine geringere kapazitive Auslastung erreichen wird als ein mit beidseitig entladenden Routenzuganhängern realisiertes System.

Auf Basis der ermittelten Anzahl von GLT-Bereitstellungen pro Tour und der Anzahl von Touren pro Routenzugfahrer pro Tag kann die GLT-Transportleistung pro Routenzugfahrer und Tag ermittelt werden. Eine Division des aus den Randbedingungen der Planungsaufgabe bekannten GLT-Durchsatzes pro Tag durch die ermittelte GLT-Transportleistung pro Routenzugfahrer und Tag ergibt schlussendlich die gewünschte Anzahl von Routenzugfahrern. Hierzu ist anzumerken, dass sich die Angabe zur Anzahl der Routenzugfahrer auf eine Schicht bezieht und sich daher in logischer Konsequenz bei der Arbeit im Mehrschichtbetrieb eine höhere Anzahl erforderlicher Routenzugfahrer ergibt.

Da die Betrachtung der Berechnung der Anzahl der weiteren Systemelemente nicht auf dem bisherigen Detaillierungsgrad erfolgen kann, und einige Parameter durch geringen Aufwand aus der Anzahl der Routenzugfahrer abgeleitet werden können, wird das Berechnungsvorgehen weiterer Systemelemente in Tabelle 6-7 skizziert.

Tabelle 6-7: Übersicht über Berechnungsvorgehen zur Ermittlung der Anzahl der Systemelemente

Systemelement	Berechnungsvorgehen zur Ermittlung der erforderlichen Anzahl des betrachteten Systemelements
Zugfahrzeuge	<ul style="list-style-type: none"> • Berechnung auf Basis der Anzahl der Routenzugfahrer • Multiplikation mit Faktor abhängig vom Beladungsprozess (Umkuppeln = 1, Umsteigen = i.d.R. 2) • In großen Routenzugsystemen kann beim Beladungsprozess „Umsteigen“ durch Pooling der Zugfahrzeuge ein Multiplikationsfaktor < 2 erreicht werden.
Ergonomische Handhabungshilfen	<ul style="list-style-type: none"> • Berechnung analog der Anzahl der Zugfahrzeuge • Bei Bildung separater Schwerlast-Routen kann die Anzahl der erforderlichen Handhabungshilfen deutlich reduziert werden
Routenzuganhänger	<ul style="list-style-type: none"> • Transportwagen-Konzept <ul style="list-style-type: none"> ○ Pro Stellplatz an den Senken wird ein Anhänger benötigt ○ Zu addieren ist das Produkt aus der Anzahl der Zugfahrzeuge und der Anhängerzahl pro Anhänger, um die gerade in Fahrt oder Beladung befindlichen Anhänger zu berücksichtigen ○ Zusätzlich sind als Spielmasse im Bahnhof (insbesondere bei unterschiedlichen Ladungsträgergrößen) ca. 50 % der unter Punkt 2 berechneten Anhängerzahl zu berücksichtigen • Ein-/ Aufschubkonzept oder Rollenverschiebesystem <ul style="list-style-type: none"> ○ Berechnung auf Basis der Anzahl Zugfahrzeuge ○ Multiplikation mit Anzahl von Anhängern pro Routenzug ○ Multiplikation mit Faktor 2, falls Beladungsprozess Umkuppeln gewählt ○ In großen Routenzugsystemen kann beim Beladungsprozess „Umsteigen“ durch Pooling der Zugfahrzeuge ein Multiplikationsfaktor < 2 erreicht werden.

Transporthilfsmittel (THM)	<ul style="list-style-type: none"> • Transportwagen-Konzept <ul style="list-style-type: none"> ○ Es werden i.d.R. keine Transporthilfsmittel benötigt ○ Ausnahme ist ein Sonderprozess, bei dem nicht rollbare KLT-Regale auf Anhänger aufgesetzt werden • Ein-/ Aufschubkonzept oder Rollenverschiebesystem <ul style="list-style-type: none"> ○ Pro Stellplatz an den Senken wird ein Anhänger benötigt ○ Zu addieren ist das Produkt aus Gesamt-Anhängerzahl und Transporthilfsmittel-Kapazität pro Anhänger, um die gerade in Fahrt oder Beladung befindlichen THM zu berücksichtigen ○ Die in Punkt 2 berechnete Anzahl von THM beim Beladungsprozess „Einschieben von THM durch Routenzugfahrer“ ist mit dem Faktor 2 zu multiplizieren, um die auf den Pufferflächen vorzuhaltenden THM zu berücksichtigen
Routenzugstellplätze an der Quelle	<ul style="list-style-type: none"> • Berechnung auf Basis der Anzahl der Zugfahrzeuge • Multiplikation mit Faktor 2, falls der Beladungsprozess Umkuppeln gewählt wurde • Für Automatik-Systeme werden keine „Routenzugstellplätze“ einkalkuliert; das korrespondierende Systemelement sind hier die „Übergabepunkte“ an der Quelle
Logistikmitarbeiter an der Quelle (pro Schicht)	<ul style="list-style-type: none"> • Separate Berechnung des Zeitbedarfs für die Beladung pro Tour eines Routenzugs auf Basis von MTM • Berechnung erfolgt analog zur Berechnung der Anzahl der Routenzugfahrer unter Berücksichtigung von MTM-Verteilzeit-Zuschlagsatz, Routenzug-Touren pro Tag und Arbeitszeit pro Tag
Gabelstapler	<ul style="list-style-type: none"> • Entspricht der Anzahl der Logistikmitarbeiter, falls Beladungsprozess mit Staplerfahrer verwendet wird
Übergabepunkte / Beladeeinrichtungen an der Quelle	<ul style="list-style-type: none"> • Berechnung erfolgt auf Basis der ermittelten Belegungszeit des Übergabepunkts (reine Prozesszeit bei Automatiksystemen) • Division der Belegungszeit pro Beladung durch die Ziel-Auslastung (Sicherheit) • Division der Zykluszeit des Routenzugs durch die sicherheitsbeaufschlagte Belegungszeit des Übergabepunkts pro Beladevorgang

6.4 Berechnung des Flächenbedarfs

In der Logistikplanung kommt dem benötigten Flächenbedarf eine große Bedeutung zu, da in der Mehrzahl der Unternehmen Flächen knapp sind. Weiterhin erfolgt in vielen Unternehmen die Anmietung kostenintensiver externer Lagerflächen, die durch eine flächeneffiziente Gestaltung eines Routenzugsystems reduziert werden könnten. Die im Folgenden vorgestellte Logik zur Flächenberechnung auf Basis parametrisierbarer Layouts betrachtet vier unterschiedliche Flächentypen: die Quellfläche zur Bereitstellung von Materialien (siehe Abschnitt 6.4.1), die Fahrwegsflächen abseits und an Bereitstellorten (siehe Abschnitt 6.4.2 und 6.4.3) sowie die benötigte Fläche zur Bereitstellung an den Senken (siehe Abschnitt 6.4.4). In Abbildung 6-18 werden die verschiedenen Flächentypen dargestellt. An dieser Stelle ist anzumerken, dass mit der vorgestellten Logik eine Berechnung des Flächenbedarfs möglich ist; inwieweit eine Berücksichtigung der unterschiedlichen Flächenarten anzuraten ist, muss in jedem Planungsfall gesondert entschieden werden.

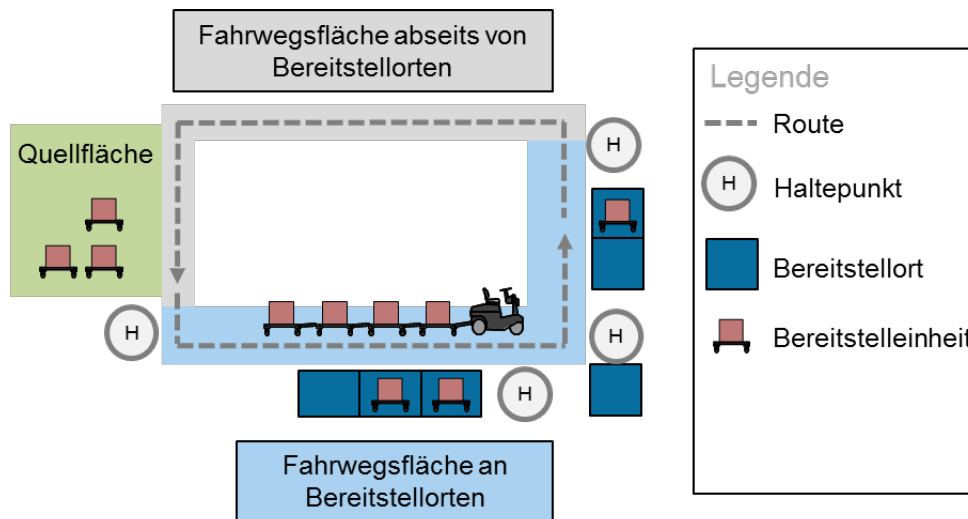


Abbildung 6-18: Darstellung der verschiedenen Flächentypen (vgl. [VDI-5586])

6.4.1 Flächenbedarf an der Quelle

Für die Berechnung des Flächenbedarfs an der Quelle werden verschiedene Szenarien betrachtet. Die zu der nachfolgenden Aufstellung der Szenarien zugehörigen parametrisierbaren Layouts sind in Anhang A einsehbar.

1. Direkte Beladung mit Gabelstapler
2. Eigenbeladung durch Routenzugfahrer
3. Eigenbeladung durch Routenzugfahrer ohne Rangierbereich Gabelstapler
4. Beladung Niederflurkommissionierer
5. Rollenverschiebesystem: Ein U-Gebinde pro Routenzug
6. Rollenverschiebesystem: Beladung an Übergabepunkt von Fördertechnik
7. Rollenverschiebesystem: Übernahme von parallelen Rollenbahnen
8. Rollenverschiebesystem: Übernahme von I-Gebinde
9. Automatisierte Beladungstechnik – Paralleler LG/VG-Tausch
10. Automatisierte Beladungstechnik – Sequenzieller LG/VG-Tausch

Exemplarisch folgt eine detaillierte Betrachtung des parametrisierbaren Layouts „Eigenbeladung durch Routenzugfahrer“, wie es in Abbildung 6-19 dargestellt ist, inklusive der verwendeten Berechnungslogik. Der rot markierte Bereich repräsentiert den Platzbedarf für die Beladung eines Routenzugs.

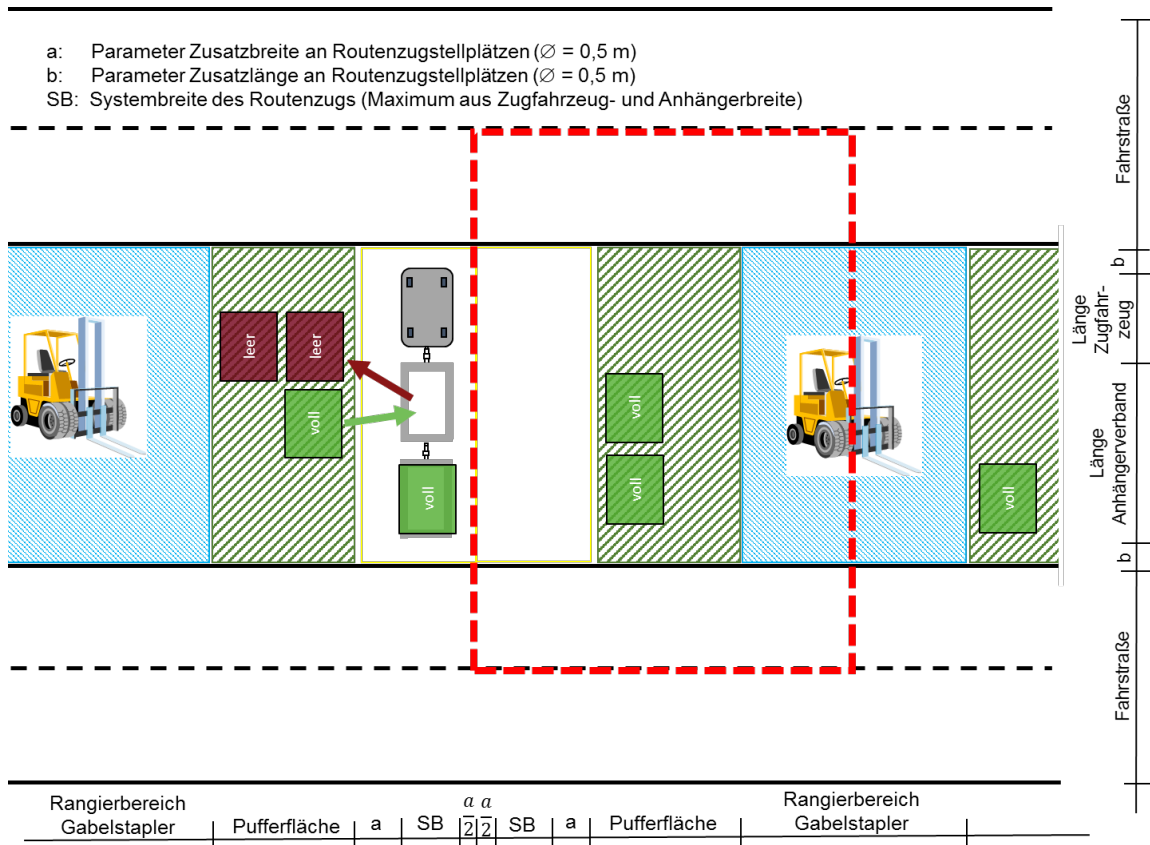


Abbildung 6-19: Parametrisierbares Layout zur Darstellung des Szenarios "Eigenbeladung durch Routenzugfahrer"

In diesem Beladungsprozess erfolgt der Austausch von Voll- und Leergut durch den Routenzugfahrer. Dabei steht ihm eine Pufferfläche zur Verfügung, auf der Leergut abgegeben und Vollgut bezogen werden kann. Für den Abtransport des Leerguts von der Pufferfläche steht ein Gabelstapler zur Verfügung. Dieser stellt gleichzeitig die Versorgung des Routenzugfahrers mit Vollgut sicher. Als Routenzugtechnik werden Transportwagen sowie Ein-/ Aufschubkonzepte verwendet. Im Fall des Transportwagens belädt der Logistikmitarbeiter den Anhänger selbst mit Ladungsträgern. Die Beladung von GLT geschieht hierbei mit dem Gabelstapler, die von einzelnen KLT wird von Hand durchgeführt. Den Anhängerverband stellt der Routenzugfahrer dabei durch Aneinanderkuppeln der Anhänger zusammen. Beim Ein-/ Aufschubkonzept bleibt der Anhängerverband bestehen; es werden separate Transporthilfsmittel (THM) mit Ladungsträgern beladen. Auch hier erfolgt die Beladung von GLT mit einem Gabelstapler, die von einzelnen KLT hingegen ohne.

Die benötigte Fläche an der Quelle setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Für die Gesamtbreite müssen die Breite der Pufferfläche, die maximale Systembreite des Routenzugs, die Hälfte des Rangierbereichs des Gabelstaplers, sowie Sicherheitsabstände berücksichtigt werden. Analog werden für die Gesamtlänge die Hälfte der Fahrwegbreite, die Länge des Anhängerverbands und des Zugfahrzeugs

sowie ein Sicherheitsabstand angesetzt. Bei den Werten für die Sicherheitsabstände handelt es sich um Mittelwerte aus durchgeführten Prozessaufnahmen, die jedoch unternehmensspezifisch angepasst werden können. Die Berechnung der Fläche an der Quelle lässt sich somit mit folgender Formel durchführen:

$$A_{Quelle} = \left[\frac{3}{2} * a + SB + d + \frac{1}{2} * e \right] * [l_{Anh} * g + l_{Zfz} + b] \quad (6-3)$$

a: Zusatzbreite (Sicherheitsabstand)

b: Zusatzlänge (Sicherheitsabstand)

SB: Maximale Breite des Systems Routenzug

d: Breite der Pufferfläche

e: Breite Rangierbereich des Gabelstaplers

l_{Anh} : Länge eines Anhängers

g: Anzahl der verwendeten Anhänger

l_{Zfz} : Länge des Zugfahrzeugs

6.4.2 Fläche für Fahrwege abseits von Bereitstellflächen

Für die Berechnung der Fahrwegfläche abseits von Bereitstellorten werden die Länge der Fahrwege sowie die Fahrwegbreite benötigt. Die Fahrweglänge wird dabei als gegeben gesehen. Für die Fahrwegbreite werden die technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR A1.8) herangezogen [Bau-12], die aus sicherheitstechnischen Überlegungen Minimalbreiten für unterschiedliche Fahrstraßentypen festlegen.

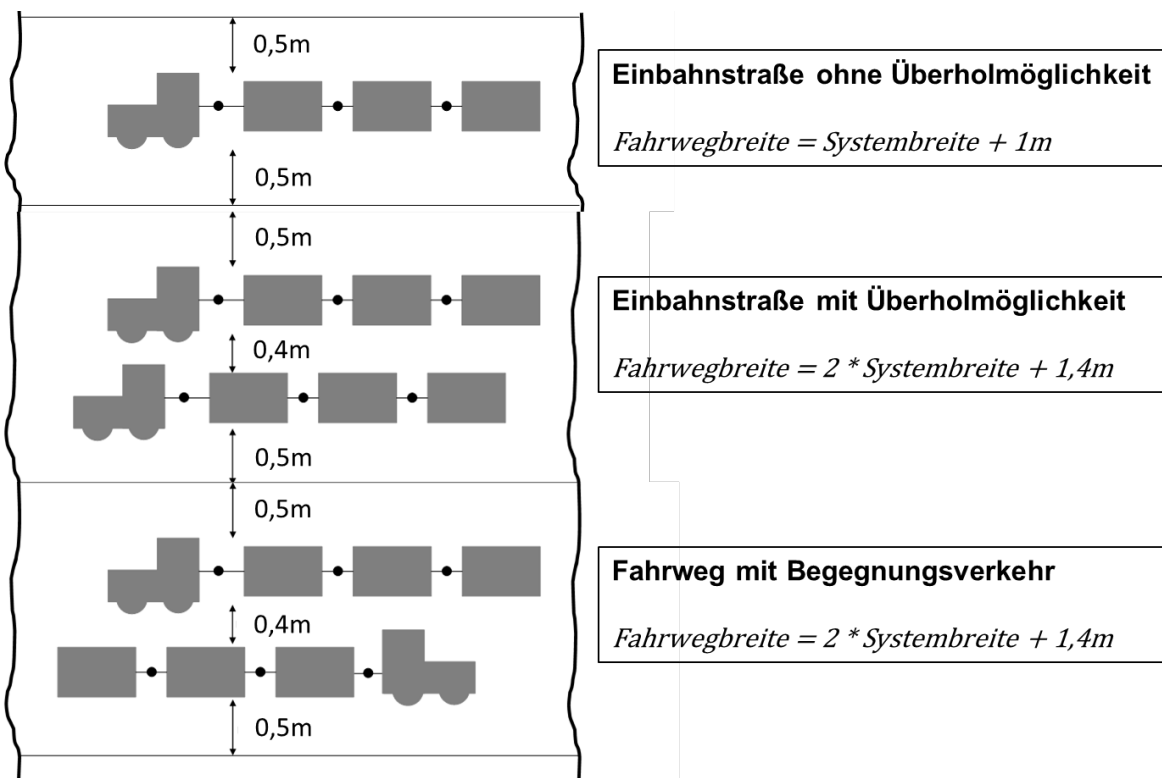


Abbildung 6-20: Berechnung der Fahrwegbreite für 3 Typen von Fahrstraßen

Bei den Fahrstraßentypen können drei Fälle unterschieden werden – Einbahnstraße ohne Überholen, Einbahnstraße mit Überholen und Begegnungsverkehr. Abbildung 6-20 zeigt die drei Fahrwegtypen sowie die zur Ermittlung der Fahrwegbreite angewendeten Berechnungsvorschriften. Die Systembreite bezeichnet in allen Fällen den Maximalwert aus dem Vergleich von Anhänger- und Zugfahrzeugbreite des Routenzugs.

6.4.3 Fläche für Fahrwege an Bereitstellflächen

Neben der Flächenberechnung für Fahrwege abseits der Bereitstellung erfolgt entsprechend die Flächenberechnung für Fahrwege bei Bereitstellprozessen. Dabei kann die Berechnung in erster Linie anhand der verwendeten Anhängertechnik unterschieden werden. Für Transportwagen und Ein-/ Aufschubkonzepte können die vier nachfolgenden Fälle unterschieden werden, anhand derer sich die Flächenberechnung ergibt:

- Einbahnstraße ohne Überholen
- Einbahnstraßen mit erlaubtem Überholen oder Begegnungsverkehr
- Fahrstraßen mit Überholen auf separater Fahrspur
- Fahrstraßen mit möglichem gleichzeitigen Entladen nebeneinander

Die Beschreibung der Berechnung der benötigten Fahrwegfläche erfolgt beispielhaft für den Fall „Einbahnstraße ohne Überholen“ und der Routenzugtechnik „Transportwagen“. Abbildung 6-21 stellt das Szenario vereinfacht dar:

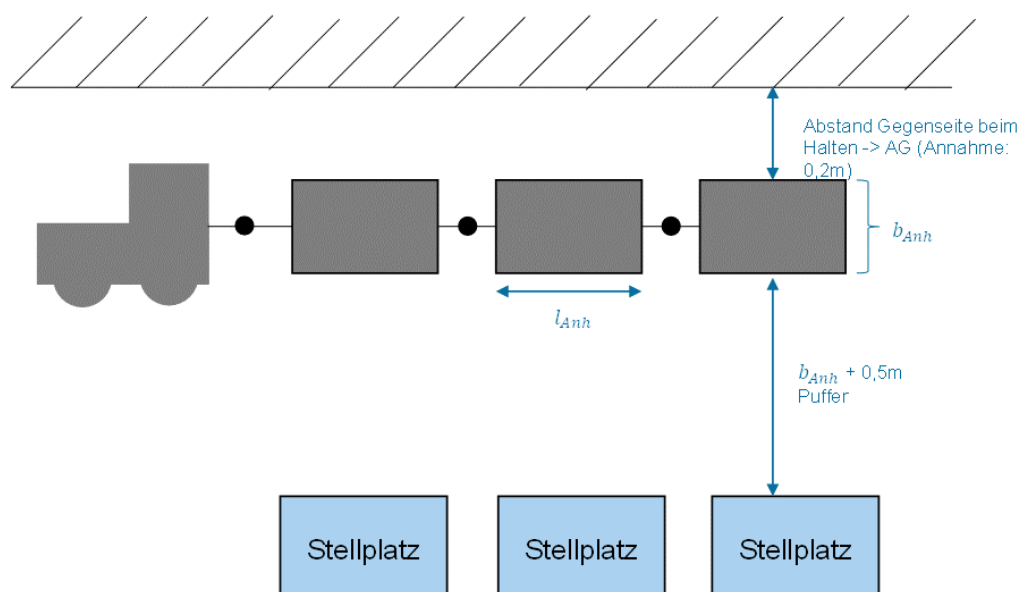


Abbildung 6-21: Darstellung des Szenarios "Einbahnstraße ohne Überholen" bei Bereitstellung mittels Transportwagen

Die nötige Fahrwegbreite ergibt sich in diesem Fall zu:

$$\text{Fahrwegbreite} = A_G + \text{Systembreite} + RB \quad (6-4)$$

Der Parameter A_G bezeichnet den Abstand von der Gegenseite beim Halten des Routenzugs, für den in Prozessaufnahmen und Expertengesprächen ein Durchschnittswert von 0,2 m ermittelt wurde. Die Systembreite kennzeichnet analog zum vorigen Fall das Maximum aus Anhänger- und Zugfahrzeugbreite. RB bezeichnet die nötige Rangierbreite, um den Ladungsträger vom Routenzug zum Stellplatz zu bewegen. Dieser Parameter unterscheidet sich in seiner Berechnung abhängig von der verwendeten Routenzugtechnik (Transportwagen, Ein-/ Aufschubkonzept). Im Fall der Transportwagentechnik muss durch die Möglichkeit des Drehens innerhalb des Anhängerverbands nur die Breite des Anhängers zuzüglich gewisser Sicherheitsabstände berücksichtigt werden. Dahingegen ist beim Ein-/ Aufschubkonzept das Herausziehen und Drehen des zur Bereitstellung eingesetzten Transporthilfsmittels erforderlich; zur Berechnung des Faktors RB wird daher die Diagonale der Grundfläche des Transportguts herangezogen. In beiden Fällen wird eine Zusatzbreite als Puffer vorgesehen, die auf Mittelwerten aus Prozessaufnahmen basiert.

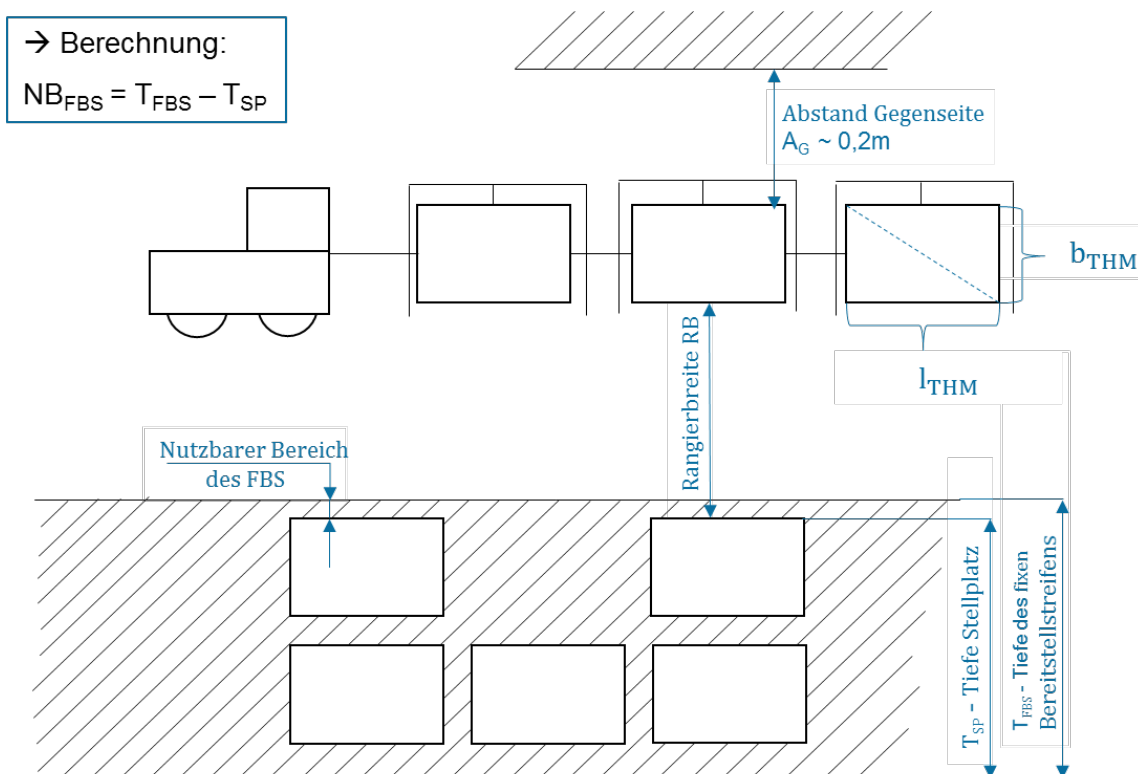


Abbildung 6-22: Darstellung zur Berechnung des nutzbaren Bereitstellungstreifens

In einigen Routenzugsystemen existieren – beispielsweise aufgrund von fest in der Struktur vorgesehenen KLT-Regalen – fix vorgegebene Bereitstellungstreifen, die

unabhängig von der Routenzugtechnik vorgehalten werden. In diesem Fall kann, abhängig von der Tiefe des fixen Bereitstellstreifens sowie der Tiefe des Stellplatzes, ein Teil des Bereitstellstreifens für das Rangieren des Ladungsträgers bei der Bereitstellung verwendet werden. Dabei muss sichergestellt werden, dass die Differenz aus der theoretisch erforderlichen Rangierbreite und dem nutzbaren Bereich des Bereitstellstreifens nicht kleiner als die Zusatzbreite ist. Zum besseren Verständnis ist das Szenario des nutzbaren Bereitstellstreifens in Abbildung 6-22 dargestellt.

Beim Rollenverschiebesystem ergeben sich drei Fälle, die zu betrachten sind:

- Einbahnstraße mit Möglichkeit zum Überholen bei der Bereitstellung
- Einbahnstraße ohne Überholen
- Begegnungsverkehr

Im Gegensatz zu den anderen Routenzugtechniken entfällt beim Rollenverschiebesystem der Parameter für den Abstand von der Gegenseite beim Halten. Da der Routenzug beispielsweise über eine Führung im Boden direkt an das Rollenverschiebesystem geführt wird, steht auf der Gegenseite bereits durch die Vorschrift der Berufsgenossenschaft (siehe Abschnitt 6.4.2) mehr als genug Platz zur Verfügung. Abbildung 6-23 stellt das Layout für den Fall „Einbahnstraße ohne Überholen“ dar:

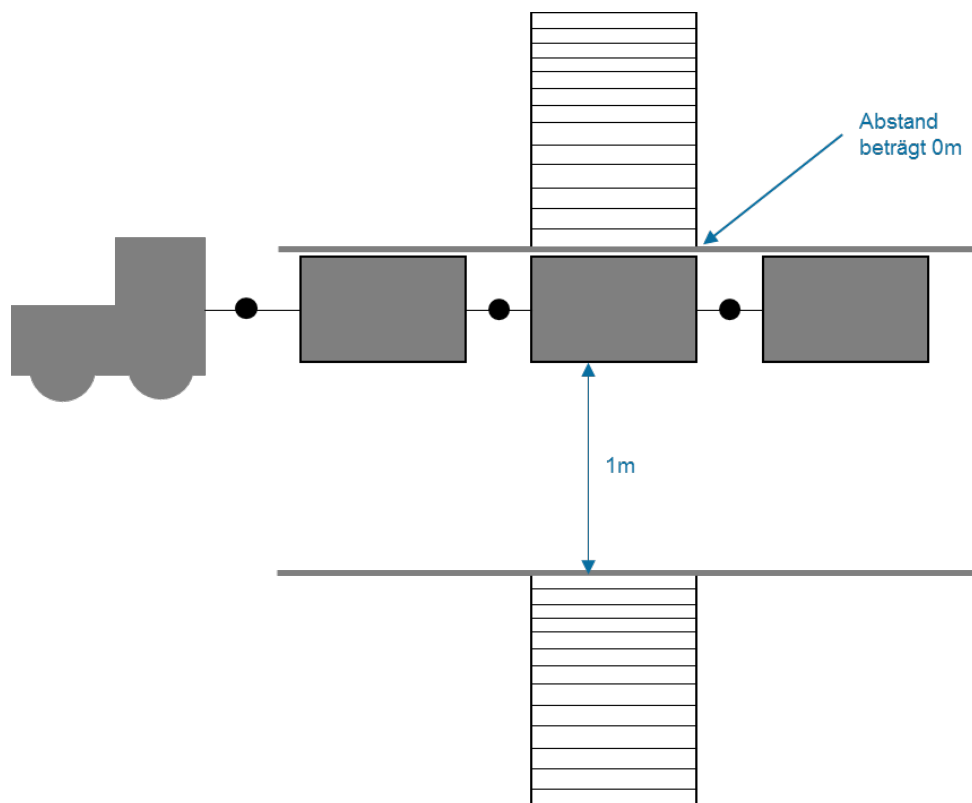


Abbildung 6-23: Darstellung des Szenarios "Einbahnstraße ohne Überholen" bei Bereitstellung mit Rollenverschiebesystem

Für die Berechnung der benötigten Fahrwegbreite bei Bereitstellung mit dem Rollenverschiebesystem wird die Vorschrift der BAuA herangezogen [Bau-12]. Die Formeln sind in diesem Fall identisch mit den in Abbildung 6-20 angegebenen Formeln.

6.4.4 Flächenbedarf für die Bereitstellung

Als letzte Teilfläche wird der Flächenbedarf für die Bereitstellung betrachtet. Dabei ergibt sich auf Basis des verwendeten Anstellprinzips ein unterschiedlicher Flächenbedarf. Im einfachsten Fall wird nur ein Behälter angestellt; dabei kann zwischen einer Anstellung mit oder ohne Endanschlag unterschieden werden, wie Abbildung 6-24 zeigt:

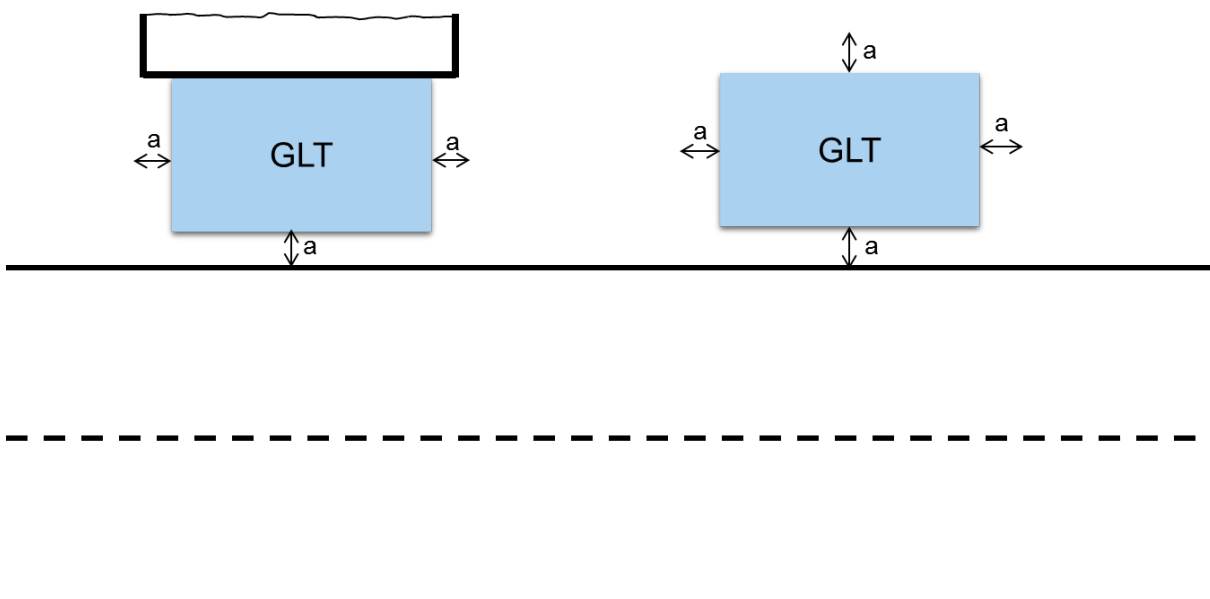


Abbildung 6-24: Anstellung im 1-Behälter-Prinzip mit Endanschlag (links) und ohne (rechts)

Für die Berechnung werden die Abmaße des verwendeten GLT inklusive eines Rangierabstands a verwendet. Dieser ist auf Basis von Prozessaufnahmen und Interviews mit Logistikplanern auf einen Durchschnittswert von 10 cm festgelegt worden, da der Routenzugfahrer für die Positionierung eines Ladungsträgers zwischen anderen Ladungsträgern einen gewissen Spielraum benötigt. Erfolgt eine Anstellung im 2-Behälter-Prinzip, so kann diese nebeneinander oder hintereinander erfolgen wie in Abbildung 6-25 dargestellt:

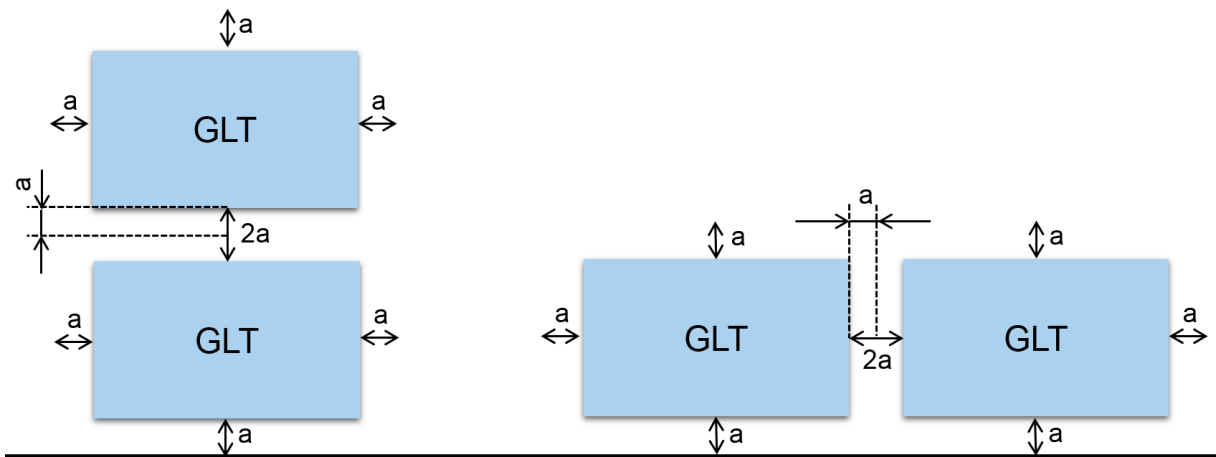


Abbildung 6-25: Anstellung im 2-Behälter-Prinzip hintereinander (links) und nebeneinander (rechts)

Auf Basis der beiden Anordnungen im 2-Behälter-Prinzip können weitere Anordnungen für Anstellprinzipien mit weiteren Behältern abgeleitet werden. Für die Berechnung der Bereitstellfläche werden analog zum 1-Behälter-Prinzip die Abmaße des verwendeten Ladungsträgers sowie die Sicherheitsabstände verwendet und entsprechend miteinander verknüpft.

6.5 Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsrechnung

Basierend auf der Bestimmung der erforderlichen Anzahl von Systemelementen und der Berechnung des Flächenbedarfs wird in diesem Abschnitt eine Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt. Im ersten Schritt erfolgt die Berechnung der Investition (siehe Abschnitt 6.5.1) und der jährlichen laufenden Kosten (siehe Abschnitt 6.5.2) der Planungsvarianten. Darauf aufbauend werden im Abschnitt 6.5.3 im Rahmen einer dynamischen Investitionsrechnung die gesamten Projektkosten ermittelt.

6.5.1 Berechnung der Investitionen

Die Berechnung der Investitionen hängt in erster Linie von belastbaren Kostensätzen für die einzelnen Systemelemente ab. Das Vorhalten und Aktualisieren von Stammdaten – die neben den Kostensätzen ebenfalls Leistungsdaten, Abmessungen und

6 Dimensionierung von Planungsvarianten

ähnliche Informationen umfassen – ist daher ein Schlüsselfaktor für die Anwendbarkeit der Vorgehensmethodik. Im Rahmen der Ermittlung geeigneter Stammdaten sind insbesondere unternehmensspezifische Rahmenbedingungen wie beispielsweise existierende Rahmentarifverträge mit Flurförderzeugherstellern zu berücksichtigen. Die Summe aller Investitionen $I_{v,ges}$ für eine Planungsvariante v ergibt sich durch die Formel (6-5).

$$I_{Gesamt,v} = \sum_{s=1}^t I_{s,v} = \sum_{s=1}^t i_s * n_{s,v} \quad (6-5)$$

$I_{Gesamt,v}$: Summe Investitionen für Planungsvariante v [€]	$n_{s,v}$: Anzahl der Einheiten für Systemelement s für Planungsvariante v
$I_{s,v}$: Investitionen für alle Einheiten des Systemelements s der Planungsvariante v [€]	s : Index des Systemelements (z. B. Zugfahrzeug, Anhänger)
i_s : Investition pro einzeltem Systemelement s [€]	t : Anzahl der unterschiedlichen betrachteten Systemelemente
v : Index der Planungsvariante	

Erklärend ist anzumerken, dass es sich bei den Systemelementen s nicht ausschließlich um technische Systemelemente handelt. Da auch der Flächenbedarf eines Routenzugprojekts initiale Kosten zu Projektbeginn verursachen kann, werden Flächen analog der technischen Systemelemente behandelt. Die zu verwendenden Kalkulationssätze pro Quadratmeter variieren stark zwischen unterschiedlichen Unternehmen und sind im Rahmen einer Planung zwingend zu hinterfragen, da die Flächenkosten einen erheblichen Einfluss auf die finanzielle Vorteilhaftigkeit einer Planungsvariante haben können. Ein möglicher Ansatz zur Ermittlung geeigneter Kalkulationssätze für Flächenkosten kann in der in vielen Unternehmen üblichen Anmietung externer Lagerkapazitäten liegen. Eine Verringerung des Flächenbedarfs – beispielsweise für die Beladung im Bahnhof – könnte zu einer direkten Verringerung der erforderlichen externen Lagerkapazitäten führen und sollte daher bei der Systemgestaltung des Routenzugsystems ebenfalls in die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einfließen.

Darüber hinaus ist festzulegen, für welche Flächentypen und in welcher Höhe eine monetäre Quantifizierung von Flächeneinsparungen gerechtfertigt ist. Während in einer gewachsenen Struktur beispielsweise eine Planungsvariante mit geringerer erforderlicher Fahrwegbreite nur in Einzelfällen (z. B. Realisierbarkeit einer reinen FTS-Spur) in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen werden kann, ist eine

Berücksichtigung bei einer Greenfield-Planung (wenn keine restriktiven Unternehmens-Richtlinien existieren) deutlich besser zu begründen.

Generell wird für die Berücksichtigung von Flächen bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung empfohlen, nicht die – in großen Systemen exorbitanten – absoluten Flächen-Investitionen zu veranschlagen, sondern den im Vergleich zu der Planungsvariante mit den geringsten Flächen-Investitionen erforderlichen Zusatz-Invest für Flächen in die Berechnung aufzunehmen. Da auch ohne die Einführung eines Routenzugsystems Fahrwege und Stellplätze für Ladungsträger erforderlich sind, ist dieser Ansatz praxistauglich und macht eine Analyse der Zusammensetzung der Investitionen deutlich nachvollziehbarer.

6.5.2 Berechnung der jährlichen Kosten

Aufgrund unterschiedlicher Kalkulationsgrundlagen erfolgt die Berechnung der laufenden Kosten pro Jahr separat für die Oberkategorien der Personal-, Strom- und Wartungskosten.

Die Kalkulation der Personalkosten $K_{\text{Personal},v}$ der Planungsvariante v erfolgt auf Basis der Formel (6-6).

$$K_{\text{Personal},v} = k_{\text{Personal}} * h_a * n_{\text{Personal},v} \quad (6-6)$$

$K_{\text{Personal},v}$: Personalkosten pro Jahr für die Planungsvariante v [€/a]	$n_{\text{Personal},v}$: Personalbedarf (parallel erforderliche MA) der Planungsvariante v
k_{Personal} : Kalkulatorischer Personalkostensatz pro Stunde [€/h]	h_a : Arbeitsstunden pro Jahr [h/a]
v : Index der Planungsvariante	

Für die Berechnung der Energiekosten $K_{\text{Energie},v}$ einer Planungsvariante v wird die Formel (6-7) verwendet.

$$K_{Energie,v} = \sum_{s=1}^t e_s * k_e * h_a * n_{s,v} \quad (6-7)$$

$K_{Energie,v}$:	Summe Energiekosten pro Jahr für die Planungsvariante v [€]	$n_{s,v}$:	Anzahl der Einheiten für Systemelement s für Planungsvariante v
k_e :	Kalkulatorischer Stromkostensatz pro Stunde [€/kWh]	s :	Index des Systemelements (z.B. Zugfahrzeug, Anhänger)
e_s :	Energieverbrauch des Systemelements s pro Stunde nach VDI-Zyklus [kWh/h]	t :	Anzahl der unterschiedlichen betrachteten Systemelemente
h_a :	Arbeitsstunden pro Jahr [h]	v :	Index der Planungsvariante

Die Berechnung der Wartungskosten $K_{Wartung,v}$ einer Planungsvariante v erfolgt separat für alle Systemelemente auf Basis eines prozentualen Kalkulationsfaktors, der in Abhängigkeit der technischen Komplexität der Systemelemente einen Anteil der Investitionen als jährliche Wartungskosten veranschlagt (siehe Formel (6-8)).

$$K_{Wartung,v} = \sum_{s=1}^t i_s * w_s * n_{s,v} \quad (6-8)$$

$K_{Wartung,v}$:	Summe Wartungskosten pro Jahr für die Planungsvariante v [€/a]	$n_{s,v}$:	Anzahl der Einheiten für Systemelement s für Planungsvariante v
w_s :	Kalkulationsfaktor der jährlich für die Wartung des Systemelements s zu veranschlagenden Investitionen [%]	s :	Index des Systemelements (z.B. Zugfahrzeug, Anhänger)
i_s :	Investition pro einzelner Systemelement s [€]	t :	Anzahl der unterschiedlichen betrachteten Systemelemente
v :	Index der Planungsvariante		

6.5.3 Dynamische Investitionsrechnung zur Ermittlung der Projektkosten

Basierend auf den in den vorangegangenen Abschnitten bestimmten Investitionen und jährlichen laufenden Kosten wird eine dynamische Investitionsrechnung zur Ermittlung der Projektkosten durchgeführt. Das Berechnungsergebnis hängt von den – in Abhängigkeit der Unternehmensphilosophie stark abweichenden – Vorgabewerten

für die anzunehmende Projektlaufzeit und die kalkulatorische Verzinsung ab. Darüber hinaus wird eine jährliche prozentuale Steigerung der Personalkosten in der Berechnung berücksichtigt. Der mit Formel (6-9) berechnete Barwert der Projektkosten $B_{PK,v}$ berücksichtigt eine Abdiskontierung von in der Zukunft liegenden Zahlungsströmen auf den Zeitpunkt des Projektbeginns.

$$B_{PK,v} = I_{Gesamt,v} + \sum_{k=1}^{L_p} \frac{K_{Personal,v} * (1 + s_p)^k}{(1 + i)^k} + \sum_{k=1}^{L_p} \frac{K_{Energie,v} + K_{Wartung,v}}{(1 + i)^k} \quad (6-9)$$

$B_{PK,v}$:	Barwert der Projektkosten der Planungsvariante v [€]	L_p :	Projektlaufzeit [a]
$I_{Gesamt,v}$:	Summe Investitionen für Planungsvariante v [€]	k :	Index der Periode
$K_{Personal,v}$:	Personalkosten pro Jahr für Planungsvariante v [€/a]	i :	Kalkulatorischer Zinssatz [%]
$K_{Energie,v}$:	Summe Energiekosten pro Jahr für Planungsvariante v [€]	s_p :	Prozentuale Personalkostensteigerung pro Jahr [%]
$K_{Wartung,v}$:	Summe Betriebskosten pro Jahr für Planungsvariante v [€/a]	v :	Index der Planungsvariante

Die in seltenen Fällen aus unternehmenspolitischen Gründen für Investitionsentscheidungen herangezogene Kennzahl der Lebenszykluskosten, in der keine Abdiskontierung zukünftiger Zahlungsströme erfolgt, kann unter Verwendung von Formel (6-9) durch Wahl des Wertes null für den Zinssatz i erfolgen.

6.6 Ergebnis

Die in diesem Kapitel vorgestellten Teilelemente ermöglichen durch die Berechnung der erforderlichen Anzahl von Systemelementen (z. B. Routenzugfahrern, Zugfahrzeugen und Anhängern) sowie durch die Ermittlung des Flächenbedarfs und die Durchführung einer dynamischen Investitionsrechnung eine vollständige Dimensionierung von Routenzugsystemen.

Die exakt beschriebenen Logiken bieten – wie in der demonstratorischen softwarebasierten Umsetzung der Vorgehensmethodik gezeigt (siehe Kapitel 9) – die Basis zur Durchführung der gesamten Dimensionierung in definierten, automatisierbaren Berechnungsschritten. Neben der beträchtlichen Reduktion des Zeitaufwands kann

gleichzeitig ein deutlich gesteigerter Detaillierungsgrad in der Berechnung der systemrelevanten Kennzahlen erreicht werden.

Durch die zeiteffiziente Dimensionierung ist damit der Grundstein für die Anwendbarkeit der Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen gelegt. Die Vorgehensmethodik – deren Stärke insbesondere in der einfachen Bildung alternativer Planungsvarianten und in dem schnellen Erkenntnisgewinn durch kurze Iterationszyklen liegt – kann erst durch die entwickelte Dimensionierungslogik vollumfänglich eingesetzt werden.

7 Experimentelle Untersuchungen zur Ergonomie in Routenzugsystemen

Als eines der zentralen Elemente einer ganzheitlichen Bewertung von Routenzugsystemen wurde der Themenkomplex Ergonomie im Forschungsprojekt IntegRoute detailliert untersucht. In Abschnitt 7.1 wird dargestellt, warum sich für die Durchführung umfangreicher Versuchsreihen zur Ergonomie in Routenzugsystemen entschieden wurde. Nach der Erläuterung des Versuchsdesigns in Abschnitt 7.2 erfolgt im Abschnitt 7.3 eine detaillierte Auswertung der durchgeführten Versuchsreihen.









Zentrale Inhalte des vorliegenden Kapitels wurden im Rahmen der Masterarbeiten von Frau Jennifer Heiß („Analyse der Einflussfaktoren auf die Ergonomie von Routenzugsystemen und Entwicklung einer Bewertungsmethodik auf Basis von Probandenstudien zu Handkräften“; [fml-16c]) und Herrn Patrick Gangkofner („Identifikation von Einflussfaktoren auf die Handkräfte beim Betrieb von Routenzügen auf Basis von Probandenstudien und Analyse der technischen Wirkzusammenhänge“; [fml-16b]) erarbeitet. Einzelne Elemente der durchgeführten Untersuchungen wurden in einem Beitrag im Tagungsband der 11. Hamburger Staplertagung veröffentlicht [Keu-16d].

7.1 Motivation der Untersuchungen

Durch die manuelle Handhabung von GLT mit Gewichten von 500 kg und mehr ergeben sich erhebliche physische Belastungen für Routenzugfahrer. Durch eine ergonomische Gestaltung von Routenzugsystemen kann zum einen die physische Belastung von Routenzugfahrern gesenkt werden. Zum anderen ergeben sich bei der Besetzung von Arbeitsplätzen mit geringer körperlicher Belastung deutlich weniger Einschränkungen, so dass dort auch leistungsgewandelte Mitarbeiter eingesetzt werden können. Dies ermöglicht insbesondere im Kontext des demographischen Wandels und der damit verbundenen älter werdenden Belegschaft einen flexibleren Personaleinsatz im Unternehmen.

In Kooperation mit dem Volkswagen-Konzern und dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) fanden orientierende Messungen der von Routenzugfahrern aufzubringenden Handkräfte statt. Am Lehrstuhl fml wurde anschließend eine Beurteilung der dabei betrachteten Arbeitsplätze durchgeführt. Dabei wurde mit dem Multiple-Lasten-Tool (MLT), welches auf den Leitmerkmalmethoden der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin [Bun-01] aufbaut, ein sehr verbreitetes Bewertungsverfahren genutzt. Das Multiple-Lasten-Tool wurde

im Rahmen des KoBRA-Projekts (Kooperationsprogramm zu normativem Management von Belastungen und Risiken bei körperlicher Arbeit) am Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt entwickelt [Bru-10] und kann durch die kombinierte Betrachtung von Umsetz- sowie Zieh- und Schiebevorgängen in der Logistik vielfältig eingesetzt werden. Zusätzlich wurden die im Volkswagen-Konzern aufgenommenen Messwerte anhand der ISO 11228-2 beurteilt; die Ergebnisse sind in Abbildung 7-1 gegenübergestellt.

Zu manipulierender Wagen-Typ	Leitmerkmalmethode (Multiples Lastentool)	Losbrechkraft [N] (Initial Force F_{P95})
Wagen mit 4 Lenkrollen	26,1 	366 
Wagen mit 1 Bockrolle	23,0 	262 
Wagen mit 2 Bockrollen	23,0 	273 
Anhänger mit Rollenbahn	23,0 	155 

Gesamtgewicht: 500kg; Frequenz: 1 / 5min

Grenzwert ISO-11228: 270 N

Abbildung 7-1: Vergleich einer klassischen Ergonomiebewertung mit Kraftmessungen an unterschiedlichen Routenzugtechniken [Keu-16]

Während sich bei den etablierten Verfahren nur geringe Unterschiede in der Bewertung der Ergonomie ergeben, zeigen die vom Routenzugfahrer aufzubringenden Handkräfte eine deutliche Abhängigkeit der Belastung von der eingesetzten Routenzugtechnik. Aufgrund der nur sehr begrenzten Berücksichtigung dieser Faktoren in der Leitmerkmalmethode stellen in der entwickelten Vorgehensmethodik die vom Mitarbeiter aufzubringenden Handkräfte das zentrale Element der Bewertung der Ergonomie dar.

Die einfachste – und von vielen Unternehmen verwendete – Möglichkeit zur Messung der von Routenzugfahrern aufzubringenden Kräfte ist der Einsatz von Federwaagen. Hierfür wird eine Federwaage am Handschiebe- bzw. Transportwagen befestigt, welcher dann unter gleichmäßiger Kraftaufbringung aus dem Stand in Bewegung gebracht wird. Aufgrund des unkomplizierten Messaufbaus können Messungen auf geraden Streckenabschnitten und beim Anfahren ohne großen Aufwand umgesetzt werden. Über einen gleichmäßigen Bewegungsablauf können dabei Kraftspitzen vermieden und dadurch reproduzierbare Ergebnisse erzeugt werden. Die Untersuchung von Kurvenfahrten, Steuertätigkeiten oder Abbremsvorgängen ist mit Federwaagen jedoch nicht möglich, da die für diese Fahrmanöver erforderlichen Seitenführungskräfte durch den eindimensionalen Kraftsensor einer Federwaage nicht berücksichtigt werden können. In Abbildung 7-2 ist der Kraftverlauf mit Kraftkomponenten in drei Raumachsen für einen Handschiebewagen mit vier Lenkrollen bei einer

Kurvenfahrt abgebildet. Hierbei ist zu erkennen, dass die größten Kräfte in diesem Fall nicht beim Anfahren, sondern im Verlauf der Fahrt bei Steuertätigkeiten während der Kurvenfahrt auftreten.

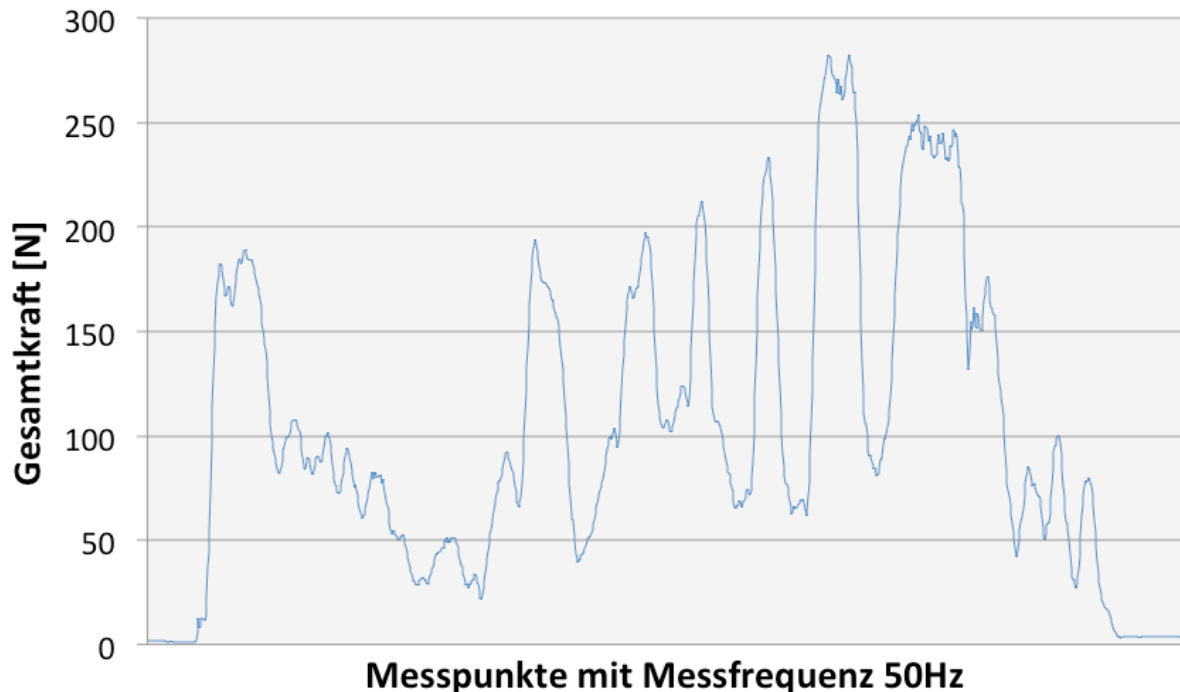


Abbildung 7-2: Verlauf der Gesamtkraft beider Hände während einer Kurvenfahrt mit vier Lenkrollen [Keu-16c]

Die bei Kurvenfahrten auftretenden Lastspitzen machen die Schwierigkeit von mit Federwaagen durchgeführten Kraftmessungen deutlich. Für eine realistische Ermittlung der von Mitarbeitern in Routenzugprozessen aufzubringenden Handkräfte rät Glitsch daher zu dem Einsatz von Drei-Achs-Kraftmesssystemen [Gli-13c].

In unterschiedlichen Unternehmen durchgeführte explorative Kraftmessungen ermöglichen die exakte Ermittlung der in den spezifischen Einsatzszenarien von Routenzugfahrern aufzubringenden Handkräfte (vgl. [Gli-13], [Gli-13b]). Ein direkter Vergleich der Messergebnisse aus den mit verschiedenen Probanden und Routenzugtechniken durchgeführten Messungen ist äußerst schwierig. Grund hierfür ist die Vielzahl der abweichenden Randbedingungen, Spezifika der Versuchsdurchführungen sowie der Konstitution und Arbeitsweise der Probanden, die eine belastbare Identifikation von Wirkzusammenhängen aus den Messdaten unmöglich machen.

Mit dem Ziel differenzierte Aussagen zu den bei verschiedenen technischen Ausführungen von Routenzuganhängern auftretenden Handkräften treffen zu können, wurden im Rahmen des Forschungsprojekts umfangreiche Probandenstudien

durchgeführt. Hierbei wurden die von Mitarbeitern aufzubringenden Handkräfte bei gezielter Variation einzelner technischer Parameter unter gleichbleibenden Randbedingungen gemessen. Um personenabhängige Unterschiede wie Geschlecht, Anthropometrie und Arbeitsausführung abbilden zu können, nahmen 42 Versuchspersonen an den Probandenversuchen teil. Im Probandenkollektiv befanden sich neun Frauen, und es wurde eine Altersspanne von 16 bis 58 Jahren abgedeckt.

7.2 Versuchsdesign

Im Folgenden wird das Konzept für die am Lehrstuhl fml durchgeführten Kraftmessungen erläutert. Anschließend werden in Abschnitt 7.2.2 bis 7.2.4 die verwendete Messtechnik, die Versuchsgegenstände und zwei Versuchsparcours vorgestellt, bevor auf zwei Versuchsreihen im Detail eingegangen wird.

7.2.1 Grundkonzept

In einer ersten Versuchsreihe sollten die zentralen Faktoren, welche sich auf die erforderlichen Kräfte beim Ziehen und Schieben von Handschiebewagen auswirken, festgestellt werden. Hierfür standen ein weiblicher und ein männlicher Proband zur Verfügung, und es wurden Versuche mit über 580 verschiedenen Konfigurationen durchgeführt. Die verwendeten Versuchsobjekte werden in Abschnitt 7.2.3 detailliert vorgestellt. Um eine statistische Absicherung der zentralen Erkenntnisse aus der ersten Versuchsreihe zu ermöglichen, hat im Februar 2016 eine zweite Versuchsreihe stattgefunden. Diese umfasste eine geringere Anzahl zu testender Einflussfaktoren und Faktorstufen, dafür mit 40 Probanden eine deutlich höhere Zahl an Versuchspersonen. Die Versuchsobjekte, welche in dieser Untersuchung zum Einsatz kamen, werden in Abschnitt 7.2.6 genauer erläutert.

Die Handkraftmessungen am Lehrstuhl fml befassten sich mit der Bereitstellung von GLT mit Transportwagen und Handschiebewagen für Ein-/ Aufschubkonzepte. Die Bereitstellung von GLT über ein Rollenverschiebesystem wurde in vom Autor begleiteten Messreihen bereits von *Glitsch und Ellegast* hinlänglich untersucht [Gli-13] und daher nicht gesondert betrachtet.

7.2.2 Messtechnik

Für die Messungen kam das Handkraftmesssystem 9809A der Firma Kistler zum Einsatz, siehe Abbildung 7-3. Bei diesem messen fünf Sensoren je Griff mit einer Abtastfrequenz von 50 Hertz Kräfte in allen drei Raumachsen; die Bedienung und Speicherung der Messwerte erfolgt über den mitgelieferten Datenlogger [Kis-16]. Um

impulsartige Kräfteinwirkungen in der Auswertung berücksichtigen zu können, wurde die Inertialsensorik eines Smartphones zur Beschleunigungsmessung eingesetzt. Eine Eigenkonstruktion diente zur Befestigung der Messgeräte und ermöglichte eine stufenlose Höhenverstellung der Griffe sowie vier horizontale Griffabstände.



Abbildung 7-3: Kraftmessgriffe, Datenlogger und Smartphone [fml-16c]

7.2.3 Versuchsobjekte

Für den Versuchsaufbau wurde eine 4Dflexiplat der Firma KMK Miller mit 1200 mm x 800 mm Grundfläche verwendet, welche für Transportwagen und Ein-/ Aufschubkonzepte zum Einsatz kam. Zusätzlich wurden von der Firma LR Intralogistik GmbH zwei weitere Grundplatten mit einer Größe von 1200 mm x 1000 mm und 1600 mm x 1200 mm zur Verfügung gestellt, welche als Handschiebewagen für Ein-/ Aufschubkonzepte in die Messungen aufgenommen wurden. Die für die Versuche relevanten Rollenarrangements ergaben sich aus Fachgesprächen sowie Recherchen bei Herstellern und auf Fachmessen. Die für Ein-/ Aufschubkonzepte und Transportwagen ausgewählten Rollenarrangements sind in Tabelle 6-4 dargestellt.

Tabelle 7-1: Die untersuchten Rollenarrangements für Handschiebewagen und Transportwagen [fml-16d]

Nr.	Wagentyp	Bezeichnung
1	Handschiebewagen	2 Lenkrollen, 2 Bockrollen (quer)
2	Handschiebewagen	4 Lenkrollen
3	Handschiebewagen	3 Lenkrollen, 1 Bockrolle
4	Handschiebewagen	4 Bockrollen
5	Transportwagen	2 Lenkrollen, 2 Bockrollen (längs)
6	Transportwagen	2 Mittelachs-Bockrollen + je 1 Lenkrolle vorn und hinten
7	Transportwagen	4 Lenkrollen, 2 Mittelachs-Bockrollen (außen)
8	Transportwagen	Ziehen und Schieben: 4 Lenkrollen, 1 Bockrolle Fahrbetrieb: 4 Lenkrollen, 2 Mittelachs-Bockrollen (außen)
9	Transportwagen	4 Lenkrollen, 2 Mittelachs-Bockrollen (mittig)

Für eine grafische Darstellung der Rollenanordnungen 1 bis 8 sei auf Abbildung 6-3 auf der Seite 69 verwiesen. Die Rollenanordnung 9 mit vier Lenkrollen und zwei innen an der Mittelachse liegenden Bockrollen konnte in dem festgelegten Versuchsparcours nicht praxistypisch gehandhabt werden. Bei dieser Anordnung führten in den definierten Versuchsabschnitten erforderliche, aus der Bewegung heraus eingeleitete, Kurvenfahrten zu einem ausgeprägten seitlichen Versetzen der Bockrollen. Die Versuche wurden planmäßig durchgeführt, jedoch flossen die Ergebnisse nicht in die Auswertung ein.

Das minimale Gesamtgewicht in den Versuchen wurde vom Leergewicht der Grundplatte (1200 mm x 800 mm) in Kombination mit dem Messequipment und den sechs schwersten Rollen bestimmt. Dieses lag bei 125 kg; zusätzlich wurden durch unterschiedliche Ladungsträger Gesamtgewichte von 250 kg, 400 kg, 500 kg und 800 kg in den Versuchen realisiert. Der Gewichtsunterschied verschiedener Rollenausführungen und -anzahlen wurde durch den Einsatz eines Zusatzgewichts jeweils ausgeglichen, so dass die fünf angestrebten Gesamtgewichte in den Versuchskonfigurationen gleichermaßen erreicht werden konnten. Für die mittlere und größere Grundplatte ergaben sich höhere Leergewichte, sodass das niedrigste Versuchsgewicht für die mittlere Grundplatte bei 160 kg lag. Bei der größten Grundplatte ergab sich mit allen Messanbauten bereits ein Gewicht von 200 kg. Daher wurden für diese Grundplatte keine Messungen bei 250 kg durchgeführt, da der Gewichtsunterschied nur sehr gering ausgefallen wäre. In Tabelle 7-2 ist eine Übersicht der Grundplattengrößen und des in den Versuchen aufgenommenen Gesamtgewichts dargestellt.

Tabelle 7-2: Grundplattengröße und genutztes Gesamtgewicht [fml-16c]

Größe der Grundplatte \ Gesamtgewicht	125 kg	160 kg	200 kg	250 kg	400 kg	500 kg	800 kg
1200 x 800 mm	●			●	●	●	●
1200 x 1000 mm		●		●	●	●	●
1600 x 1200 mm			●		●	●	●

Die zu testenden Rollen schlossen vier verschiedene Rollenmaterialien, drei Lenkgehäuse, drei Rollendurchmesser und verschiedene Kissenformen ein. Die Auswahl wurde in Zusammenarbeit mit Experten des Rollenherstellers Wicke getroffen [Bod-15], [Mat-15]. Als Rollenmaterial wurden Polyamid, Polyurethan mit einer Shorehärte von 96 und 75 sowie Vollgummi gewählt. Die Rollendurchmesser beliefen sich auf 200 mm, 160 mm und 125 mm. Die Kissenform unterschied sich bei Polyurethanrollen; hier waren flache und ballige Ausführungen möglich. Bei flachen

Kissen wurden zudem eine dicke und eine dünne Kissenstärke unterschieden. Insgesamt wurden drei Lenkgehäuse verwendet; hierunter zwei Lenkgehäuse mit Kugellagern, wobei eines davon gehärtet war, sowie ein Lenkgehäuse mit Präzisions-Rillenkugellagern. Bockrollen wurden nicht verwendet; stattdessen kamen Lenkrollen mit Richtungsfeststellern zum Einsatz.

Die in Kooperation mit dem Volkswagen-Konzern und dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) durchgeführten Voruntersuchungen kamen zu dem Schluss, dass verschiedene Ausführungen praxistypischer Industrieböden keinen nachweisbaren Einfluss auf die zu erwartenden Kräfte beim Ziehen und Schieben haben [Gli-13b]. Somit wurde der Einflussfaktor des Bodenbelags konstant gehalten und alle Versuche auf glattem Estrich durchgeführt.

7.2.4 Versuchsparcours

Um die Kraftmessungen möglichst nah an praxistypischen Handhabungsschritten von Transportwagen und Handschiebewagen für Routenzuganhänger zu orientieren, wurden in verschiedenen Unternehmen Prozessaufnahmen durchgeführt. Die dokumentierten Arbeitsabläufe wurden zu typischen Vorgehensweisen bei der Bereitstellung zusammengefasst und bildeten die Grundlage für die Gestaltung der Versuchsparcours. Da kein allgemeingültiger Prozess für einen Behältertausch abgebildet werden kann, setzte sich jeder Parcours aus mehreren Tätigkeitsabschnitten zusammen, welche separat ausgewertet wurden. Abhängig von Routenzugtechnik und -prozess kann ein Behältertausch so aus verschiedenen Tätigkeitsabschnitten zusammengesetzt werden.

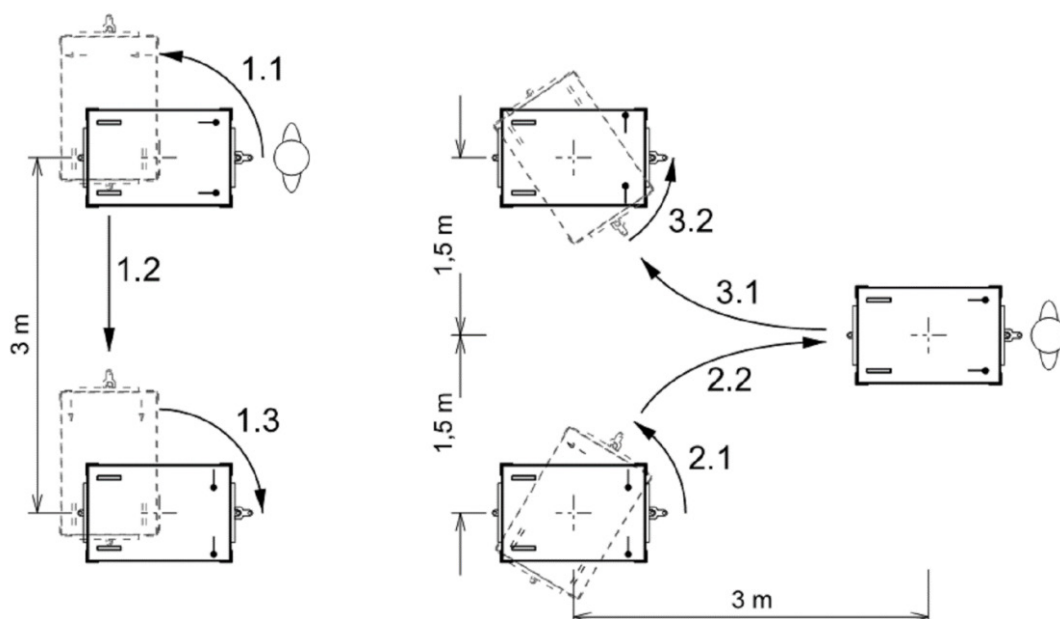


Abbildung 7-4: Testparcours für Transportwagen [fml-16d]

Für Transportwagen und Ein-/ Aufschubkonzepte wurden zwei separate Parcours erstellt, da sich die Handhabungsschritte dieser Konzepte stark voneinander unterscheiden. Der Voll-/ Leerguttausch in einem Transportwagenprozess ließ sich direkt in einem Parcours mit drei Abschnitten abbilden. Für einen Transportwagen mit zwei Lenk- und zwei Bockrollen ist der Parcours in Abbildung 7-4 dargestellt.

Kupplungsvorgänge wurden in den Versuchen nicht betrachtet. Der Parcours für Transportwagen beginnt daher mit einem abgekuppelten Wagen, dessen Rollen in Fahrtrichtung des Routenzugs ausgerichtet sind. Zunächst wird die Vollgutabgabe dargestellt, indem der Transportwagen auf der Stelle um 90° gedreht (1.1) und anschließend drei Meter geradeaus geschoben wird (1.2). Auf dem Abgabestellplatz erfolgt eine weitere Drehung um 90° (1.3), so dass der Transportwagen auf der Endposition zum Stehen kommt.

Bei einem Voll-/ Leerguttausch muss zunächst das Leergut vom Abgabestellplatz entfernt werden. Hierfür wird der Transportwagen auf der Stelle gedreht (2.1) und auf die Seite gezogen (2.2). Von dort wird das Leergut nach Abgabe des vollen Transportwagens auf den freien Platz im Routenzug geschoben (3.1) und auf der Stelle so gedreht (3.2), dass er in den Verbund eingekuppelt werden kann.

Für die Rollenordnung mit vier Lenkrollen und einer Bockrolle wurde ein weiterer Parcoursabschnitt gebildet. Diese Rollenordnung kommt nur bei angehobener Deichsel nach dem Abkuppeln zum Einsatz. Während die Deichsel in der Verbundfahrt gesenkt ist, fährt der Transportwagen mit vier Lenkrollen und zwei außenliegenden Bockrollen. Am Bereitstellort heben sich die beiden Bockrollen und eine zusätzliche Bockrolle senkt sich quer zur bisherigen Fahrtrichtung sobald die Deichsel angehoben wird. Somit kann der Transportwagen, ohne dass eine Drehung erforderlich ist, geradeaus auf den Abgabestellplatz geschoben werden (Bewegung 4 in Abbildung 7-5).

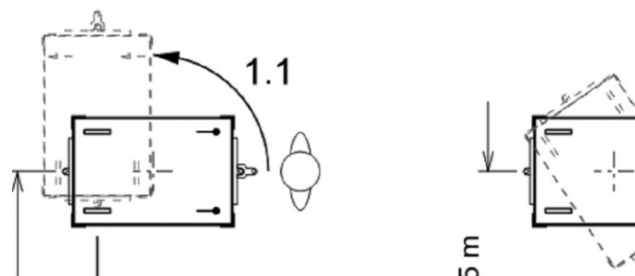


Abbildung 7-5: Testparcours für vier Lenkrollen und eine Bockrolle bei Transportwagen [fml-16d]

Für Ein-/ Aufschubkonzepte kann kein allgemeingültiger Ablauf für den 1:1-Tausch von Vollgut gegen Leergut im Parcours abgebildet werden, da die erforderlichen

Handhabungsschritte stark davon abhängen, welche Routenzugtechnik und Rollen-anordnung zum Einsatz kommt. Während bei E-, C-, H- und B-Frames die Entnahme des Handschiebewagens nur ziehend möglich ist, kann ein Handschiebewagen aus einem U-Frame auch geschoben werden. Somit musste zunächst für jede Technik und Rollen-anordnung analysiert werden, welche Handhabungsschritte für einen Voll-/ Leerguttausch erforderlich sind. Beispielhaft sind diese in Abbildung 7-6 links für einen E-Frame dargestellt: Da das Leergut den Stellplatz belegt, wird es in einer 90°-Kurve zur Seite gezogen (1) und anschließend das Vollgut vom Routenzug entnommen. Dies geschieht durch Ziehen (2.1), bevor es über eine weitere 90°-Kurve auf den Stellplatz geschoben wird (2.2). Durch diese Drehung wird sichergestellt, dass der Handschiebewagen mit der Entnahmeseite zum Werker (am unteren Rand der Abbildung 7-6 dargestellt) abgestellt wird. Im letzten Schritt wird das Leergut über eine 90°-Kurve in den Routenzughänger geschoben (3).

Bei Verwendung eines U-Frames erfolgt die Handhabung des Leerguts auf gleiche Weise; für die Abgabe des Vollguts ergibt sich jedoch eine andere Möglichkeit (siehe Abbildung 7-6 rechts). Wenn der Handschiebewagen im Bahnhof in der richtigen Orientierung auf den Routenzug geladen wurde, ist es möglich, ihn durch einen Schiebevorgang (2) auf der Abgabeposition bereitzustellen.

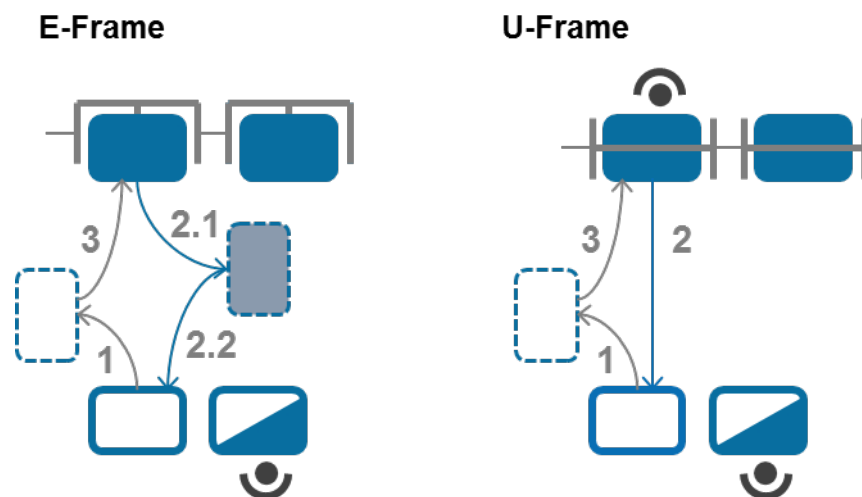


Abbildung 7-6: Handhabungsschritte beim 1:1-Behältertausch bei E-Frame und U-Frame [fml-16c]

In der Parcourserstellung flossen zusätzlich zu den unterschiedlichen Bewegungsrichtungen – Ziehen und Schieben sowie Kurven- und Geradeausfahrt – die Ausgangsstellung der Rollen für jeden Abschnitt als Variable ein. So unterscheiden sich beispielsweise die beiden gezogenen Kurven bei der Bereitstellung mit E-Frames: Während die Ausgangsrollenstellung für den ersten Leergutschritt (1) 180° zur Fahrtrichtung ist, sind die Rollen bei einem nicht ausgehobenen Handschiebewagen, wenn dieser aus dem Routenzug entnommen wird, 90° zur Fahrtrichtung gedreht

7 Experimentelle Untersuchungen zur Ergonomie in Routenzugsystemen

(Vorgangsschritt 2.1). Werden Handschiebewagen mit vier Bockrollen in einem U-Frame eingesetzt, ist ein Voll-/ Leerguttausch nur möglich, wenn im Routenzug ein freier Anhänger mitgeführt wird. Dieser Anhänger kommt für die Übernahme des Leerguts direkt vor dem passenden Stellplatz zum Stehen, woraufhin das Leergut in den U-Frame gezogen und ausgehoben wird. Nach Positionierung des bereitzustellenden Handschiebewagens mit dem Vollgut direkt vor dem freigewordenen Stellplatz, kann die Bereitstellung in einem geraden Schiebevorgang erfolgen (vgl. Vorgangsschritt 2 in Abbildung 7-6 rechts).

Zur Abbildung aller Technik- und Prozessvarianten für Ein-/ Aufschubkonzepte wurde ein Parcours mit sechs Abschnitten entworfen, wie er in Abbildung 7-7 abgebildet ist:

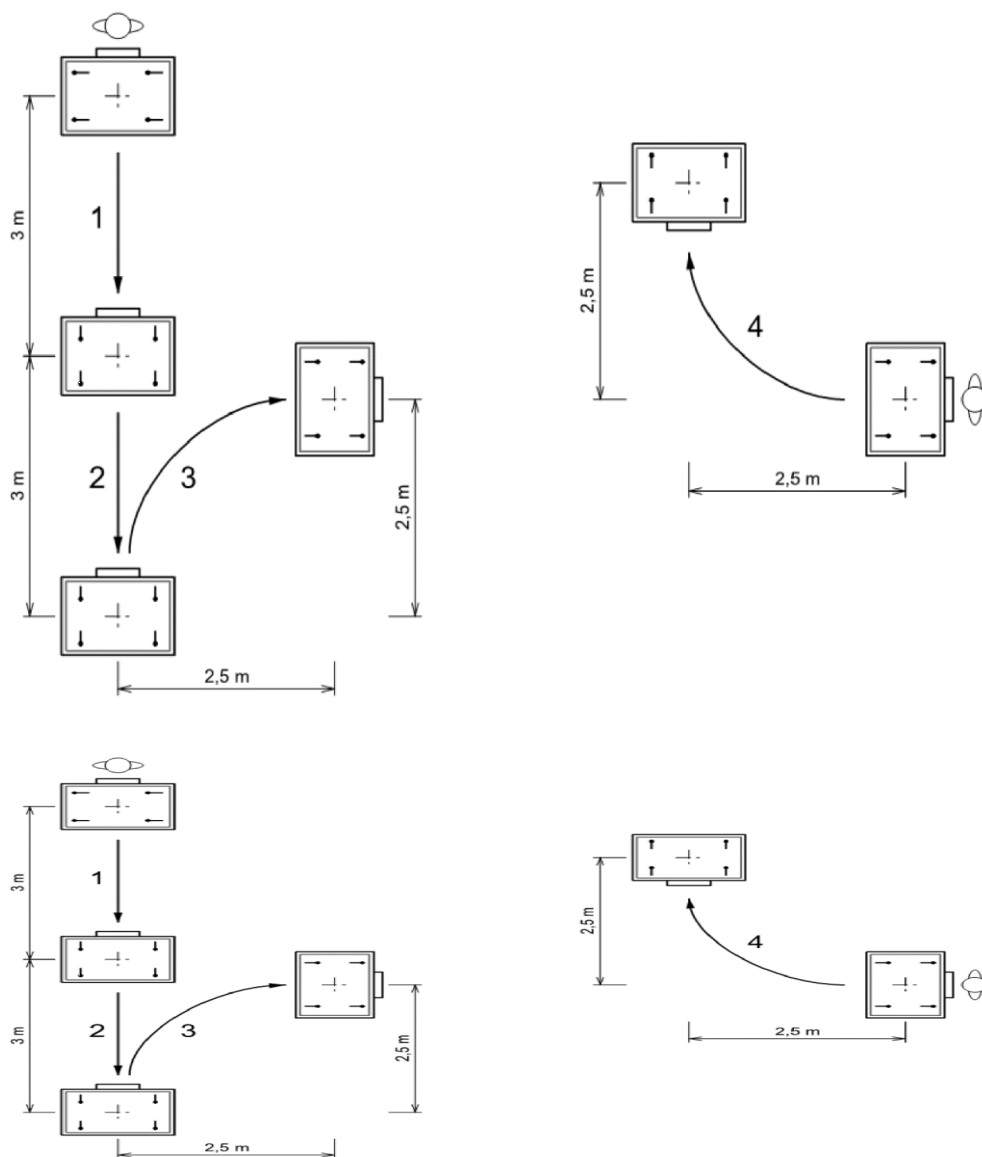


Abbildung 7-7: Versuchsparcours für Ein-/ Aufschubkonzepte [fml-16d]

Einen Sonderfall stellen Konfigurationen mit vier Bockrollen dar; da mit dieser Rollenordnung keine Kurven gefahren werden können, wurde hierfür ein siebter Abschnitt gebildet. Hierbei erfolgte ein Ziehen und Schieben über eine Strecke von drei Metern (siehe Tätigkeit 7 in Abbildung 7-7).

7.2.5 Probandenstudie mit acht Einflussfaktoren und 35 Faktorstufen

In einer ersten Versuchsreihe wurden die in der Versuchsvorbereitung identifizierten Einflussfaktoren in allen gewählten Faktorstufen in den Messungen berücksichtigt. Die Einflussfaktoren und die Anzahl ihrer Faktorstufen können Tabelle 7-3 entnommen werden.

Tabelle 7-3: Einflussfaktoren und Anzahl der Faktorstufen in der ersten Versuchsreihe

Einflussfaktor	Anzahl Faktorstufen
Versuchsperson	2
Gesamtgewicht	7
Rollenanordnung	10
Rollenmaterial	4
Rollendurchmesser	3
Kissenform und -stärke	3
Art des Lenkgehäuses	3
Grundplattengröße	3

Aufgrund der hohen Anzahl der Faktorstufen war eine vollfaktorielle Versuchsdurchführung nicht darstellbar. Daher wurden Standardeinstellungen – beispielsweise die kleine Grundplatte mit balligen Polyurethanrollen mit 96 Shore, einem Durchmesser von 200 mm und einem Lenkgehäuse mit gehärtetem Kugellager – definiert, welche mit allen Gewichten und Rollenordnungen kombiniert wurden. Dieses Vorgehen führte durch die Fokussierung auf die wesentlichen Realisierungsformen zu einer deutlichen Reduktion der Versuchsanzahl und ermöglichte dadurch die vollfaktorielle Untersuchung der zu analysierenden Einflussparameter. Andere Lenkgehäuse oder Rollenmaterialien wurden z. B. nur mit drei Rollenordnungen gemessen. Insgesamt erfolgten in dieser Versuchsreihe Messungen für über 580 Konfigurationen, die in einem Laborbuch dokumentiert wurden.

Im Laborbuch wurde beispielsweise festgehalten, wenn ein Handschiebewagen während der Versuchsfahrt nicht exakt in die Markierungen der einzelnen Parcourspositionen manövriert werden konnte. Für Ein-/ Aufschubkonzepte wurde vermerkt, wie viele Felder im sechsteiligen Parcours nicht getroffen worden sind. Bei Transportwagen wurde aufgrund des um 50 Prozent kürzeren Parcours das Verfehlen einer

Parcoursposition zweifach gewertet. Zusätzlich gab es Abzüge, wenn Markierungen für Stellen überfahren wurden, an denen in der Praxis ein weiterer Routenzuganhänger oder Handschiebewagen stehen würde.

Die zwei Versuchspersonen führten für jede Konfiguration mehrere Wiederholungen der Messung durch. Bei der kleinsten Grundplatte fanden jeweils vier Wiederholungen statt; für die mittlere und große Grundplatte wurde der Versuchsparcours dreimal absolviert. Die festgelegte Anzahl von Wiederholungen ergab sich aus der durch die sechs Parcoursabschnitte erhaltenen 18 Messungen pro Konfiguration und Proband, die nach Experteneinschätzung eine ausreichende Grundlage für die Ableitung der zu zeigenden Effekte bietet [Sch-15].

7.2.6 Probandenstudie mit 40 Personen

Die Auswertungen im Anschluss an die erste Versuchsreihe ergaben Anhaltspunkte für die Auswahl der zu testenden Konfigurationen in einer weiteren Versuchsreihe mit einer größeren Zahl von Probanden. Für die nachfolgenden Untersuchungen waren dabei folgende Erkenntnisse von besonderem Interesse:

- Die Vibrationsbelastung durch Polyamidrollen wird als störender empfunden als bei anderen Materialien. Auch die Kennzahl der Fahrruhe erreicht bei Polyamidrollen die höchsten Werte. (siehe Abschnitt 7.3.2)
- Die erforderlichen Kräfte werden durch den Rollendurchmesser nicht signifikant beeinflusst. (siehe Abschnitt 7.3.3)
- Die Rollenanzahl mit vier Lenkrollen ist schwer zu manövrieren; Indikatoren hierfür sind die subjektive Einschätzung der Probanden wie auch die Treffgenauigkeit im Parcours. (siehe Abschnitt 7.3.5)
- Bei Verwendung von ein oder zwei Bockrollen bei Ein-/ Aufschubkonzepten statt einer Anordnung mit vier Lenkrollen ist die erforderliche Kraft zum Anfahren bzw. für Richtungsänderungen geringer. (siehe Abschnitt 7.3.5)
- Die Vorgangsdauer für Ein-/ Aufschubkonzepte mit vier Lenkrollen ist höher als es bei der Verwendung von Bockrollen der Fall ist. (siehe Abschnitt 7.3.5)

In Folge wurden vier Arbeitshypothesen aufgestellt, welche durch die zweite Versuchsreihe verifiziert werden sollten:

- **Arbeitshypothese 1:** Bei Ein-/ Aufschubkonzepten kann die Vorgangsdauer durch den Einsatz von Bockrollen reduziert werden. Dabei besteht zwischen den Rollenanzahlungen mit einer und zwei Bockrollen kein signifikanter Unterschied.

- **Arbeitshypothese 2:** Bei Ein-/ Aufschubkonzepten können die erforderlichen Kräfte durch den Einsatz von Bockrollen reduziert werden. Dabei besteht zwischen den Rollenordnungen mit einer und zwei Bockrollen kein signifikanter Unterschied.
- **Arbeitshypothese 3:** Polyamidrollen führen zu einer signifikant höheren Fahrruhe als es bei Polyurethanrollen mit einer Shorehärte von 96 der Fall ist.
- **Arbeitshypothese 4:** Der subjektive Eindruck der Vibrationsbelastung durch Polyamidrollen ist störender als bei Polyurethanrollen mit einer Shorehärte von 96.

Um diese Hypothesen in Versuchen verifizieren zu können, wurden Polyamid und Polyurethan (96 Shore) als Rollenmaterial für die zweite Versuchsreihe ausgewählt. Anordnungen für Transportwagen wurden nicht betrachtet; die Versuche beschränkten sich auf die Anordnungen von vier Lenkrollen, drei Lenkrollen und einer Bockrolle sowie zwei Lenk- und zwei Bockrollen für Ein-/ Aufschubkonzepte. Es kam der gleiche Parcours zum Einsatz wie in der ersten Versuchsreihe; aus Zeitgründen wurde jedoch auf den letzten Abschnitt, welcher nur für einen speziellen Prozess bei Verwendung eines B-Frames relevant ist, verzichtet. Für alle Versuchskonfigurationen wurden einheitlich ein Rollendurchmesser von 200 mm, ein Lenkgehäuse mit gehärtetem Kugellager sowie eine Grundplatte der Größe von 1200 mm x 800 mm verwendet.

Da bei einem Gewicht von 125 kg in der ersten Versuchsreihe festgestellt wurde, dass die auftretenden Belastungen weit unterhalb empfohlener Grenzwerte lagen, wurde diese Gewichtsklasse nicht in der zweiten Versuchsreihe betrachtet. Auch die Gewichtsklasse von 800 kg wurde aus den Versuchen ausgeschlossen, um kein Verletzungsrisiko für weniger erfahrene Versuchspersonen einzugehen. Die Probanden wurden in zwei Gruppen eingeteilt, wobei die erste Gruppe Versuche mit einem Gesamtgewicht von 400 kg und 500 kg durchführte, die zweite Gruppe mit 250 kg und 500 kg. Die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der ersten Versuchsreihe war durch die Verwendung der gleichen Gesamtgewichte gegeben.

Die Versuchsdauer von 90 Minuten gestaltete sich für jeden Probanden gleich: Nach einer kurzen Erläuterung zum Hintergrund der Messungen und einer Einführung in das Messequipment wurde ihnen ein Fragebogen (Ausschnitte siehe Abbildung 7-8) vorgestellt. Mit diesem Fragebogen konnte nach jeder Konfiguration die Einschätzung zur Vibrationsbelastung, dem Kraftaufwand und der Manövrierbarkeit des Handschiebewagens abgegeben werden.

1. Versuch								
Wie präzise lässt sich der Handschiebewagen durch den Parcours manövrieren?								
<i>sehr unpräzise</i>	1	2	3	4	5	6	7	<i>sehr präzise</i>
Haben Sie während der Fahrt störende Vibrationen wahrgenommen?								
<i>gar nicht</i>	1	2	3	4	5	6	7	<i>sehr stark</i>
Können Sie sich vorstellen, die erforderliche Kraft für diesen Parcours 8 Stunden lang alle 5 Minuten aufzubringen?								
<i>sehr unwahrscheinlich</i>	1	2	3	4	5	6	7	<i>sehr wahrscheinlich</i>

Abbildung 7-8: Fragebogen Schiebeversuche [fml-16c]

Für jeden Probanden fanden Messungen mit neun Konfigurationen statt. Diese setzten sich aus den Kombinationen der beiden Rollenmaterialien für vier Lenkrollen sowie zwei Lenk- und zwei Bockrollen für beide Gesamtgewichte zusammen. Zusätzlich erfolgte ein Versuch mit drei Lenkrollen und einer Bockrolle bei 500 kg mit Polyurethanrollen. Nach Beendigung aller Versuchsdurchführungen erhielten die Probanden einen weiteren Fragebogen mit vier Fragen. Hierbei bewerteten sie die Vibrationsbelastungen der beiden Rollenmaterialien und gaben ihr bevorzugtes Rollenmaterial sowie die bevorzugte Rollenordnung an.

7.3 Auswertung der Untersuchungen

Nach der Durchführung der Kraftmessungen wurden aus den Rohdaten Kennzahlen gebildet; dieser Vorgang wird in Abschnitt 7.3.1 erläutert. Anschließend werden der Einfluss des Rollenmaterials, des Rollendurchmessers, des Lenkgehäuses, der Rollenordnung und der Grundplatte auf diese Kennzahlen untersucht. In Abschnitt 7.3.7 wird zudem auf technikabhängige Aspekte, wie eine Unterstützung bei der ersten Beschleunigung bei der Entnahme von Handschiebewagen aus Routenzuganhängern, eingegangen. Soweit nicht anders erwähnt, beziehen sich die ausgewerteten Daten auf eine Grundplattengröße von 1200 mm x 800 mm, die verwendeten Rollen hatten einen Durchmesser von 200 mm, und es kam ein Lenkgehäuse mit gehärtetem Kugellager zum Einsatz.

7.3.1 Vorgehen bei der Analyse der Messdaten

Zur Analyse der Messdaten sollte jeder der bis zu sechs Tätigkeitsabschnitte eines Versuchsparcours einzeln betrachtet werden. Die Messdaten wurden hierzu in die Software Matlab eingelesen, aus den einzelnen Sensormesswerten die Gesamtkraft

berechnet und diese zur Abschnittsbildung genutzt. Abschließend wurden für jeden Versuchsabschnitt Kennzahlen berechnet. Dabei handelt es sich für die Kraft der rechten und der linken Hand sowie für die Gesamtkraft jeweils um die Parameter Mittelwert, Median, 95. Perzentil, Maximum, Minimum und Varianz. Auch die Anzahl einzelner Messpunkte in einem Abschnitt, aus der sich über die Messfrequenz von 50 Hz die Länge dieses Abschnitts berechnen lässt, sowie eine auf Basis der Gesamtkraft definierte Kennzahl zur Fahrruhe wurden ermittelt.

Zur Beurteilung der physischen Belastung von Routenzugfahrern sind insbesondere die Initial und Sustained Force und eine Kennzahl zur Vibrationsbelastung relevant. Auch die Dauer der Tätigkeit hat einen entscheidenden Einfluss. Die Initial Force wird in der ISO 11228-2 als die Kraft definiert, die aufgebracht werden muss, um ein Objekt in Bewegung zu bringen oder die Fahrtrichtung zu ändern. Die Sustained Force ist erforderlich, um ein Objekt bei konstanter Geschwindigkeit in Bewegung zu halten. [ISO11228-2] Um die Initial und Sustained Force im Sinn der ISO 11228-2 angeben zu können, wurden die Definitionen des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung verwendet. Diese legt für die Berechnung der Initial Force das 95. Perzentil der Gesamtkraft beider Hände sowie das 50. Perzentil für die Sustained Force fest. [Gli-13]

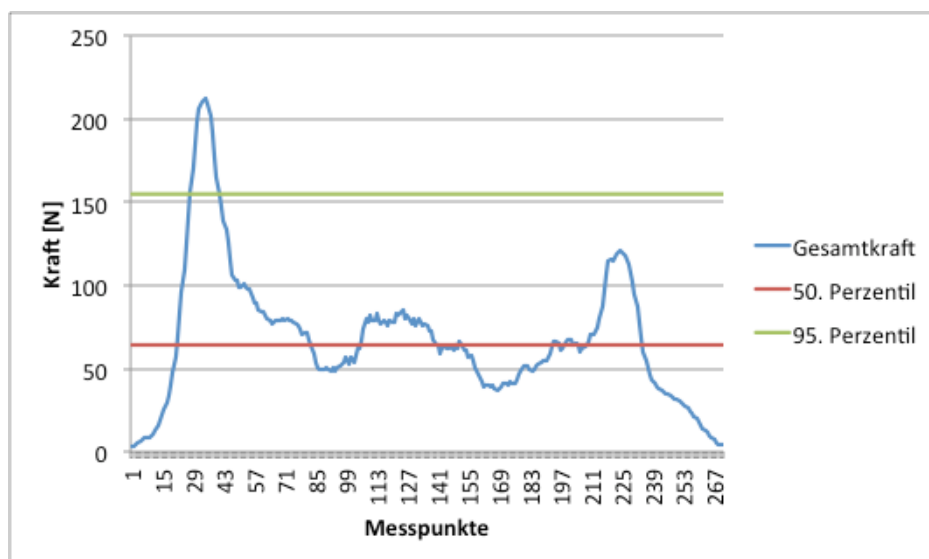


Abbildung 7-9: Veranschaulichung Kraftperzentile für Initial und Sustained Force (vgl. [Gli-13])

In Abbildung 7-9 ist exemplarisch der Kraftverlauf einer Messung abgebildet. Hier ist beim Anfahren eine Kraftspitze zu erkennen, welche jedoch stark von der jeweiligen Arbeitsausführung abhängt. Das 95. Kraftperzentil stellt somit eine passende Kennzahl für die Initial Force dar, da so – anders als bei Verwendung der Maximalkraft – kurzzeitige Ausreißer keinen zu großen Einfluss auf die Kennzahl haben. [Gli-15]

Während der ersten Versuchsreihe meldeten die Probanden bei verschiedenen Konfigurationen störende Vibrationen und Stöße im Verlauf der Versuchsdurchführung. Um diesen subjektiven Eindruck messbar zu machen, wurde eine Kennzahl entwickelt, welche sich aus den Schwankungen im Gesamtkraftverlauf, siehe Abbildung 7-10, berechnet.

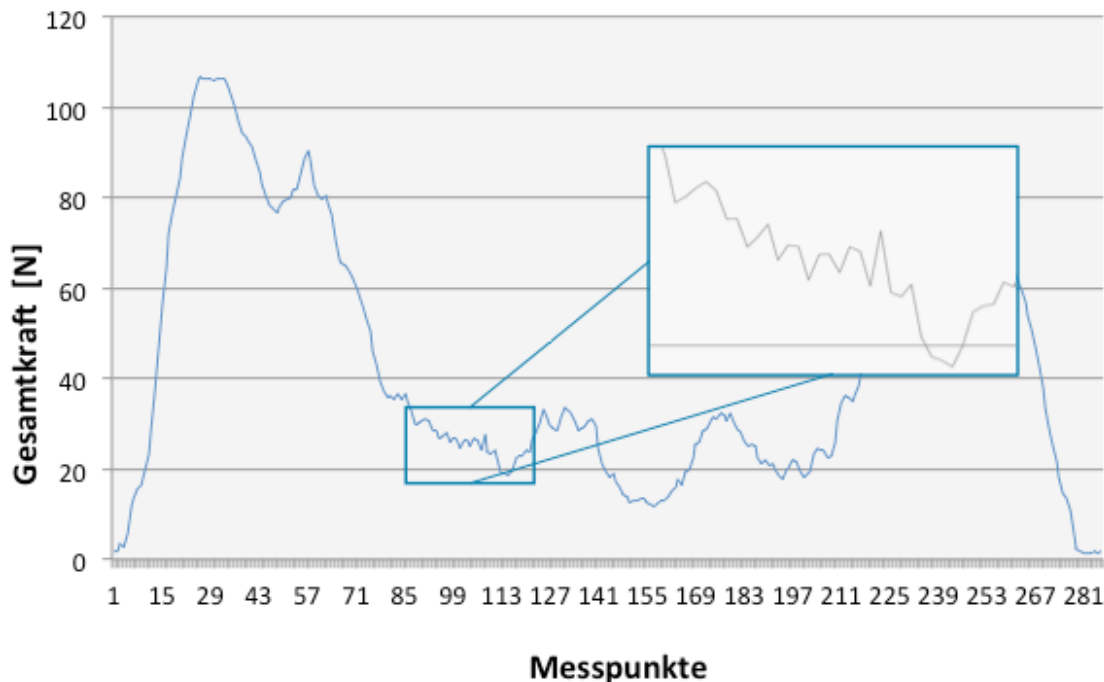


Abbildung 7-10: Veranschaulichung der Schwankungen im Kraftverlauf [fml-16c]

Die auf Basis der Formel (6-5) berechnete Kennzahl beschreibt die Abweichung der Gesamtkraft $y(n)$ vom gleitenden Mittelwert der Gesamtkraft über drei Messpunkte. Für diese Abweichung wird der Mittelwert (MW) über den gesamten Abschnitt gebildet und über den Mittelwert der Gesamtkraft für den Abschnitt normiert. Über eine Normierung der Kennzahl mit dem Multiplikator 4000 liegen die Werte der Kennzahl zwischen 0 und 100; basierend auf Probandeneinschätzungen ist für Werte über 30 von einer spürbaren Beeinträchtigung auszugehen. [Keu-16c]

$$\frac{MW \left| y(n) - \frac{1}{3} \sum_{i=n-1}^{n+1} y(i) \right|}{MW(y(n))} * 4000 \quad (7-1)$$

7.3.2 Einfluss des Rollenmaterials

Abbildung 7-11 zeigt die Mittelwerte der Initial Force für verschiedene Rollenmaterialien. Die Messungen erfolgten mit fünf verschiedenen Gewichtsstufen und drei 120

Rollenanordnungen. Dabei handelte es sich um die Anordnung „zwei Lenk- und zwei Bockrollen“ für Transportwagen, sowie die Anordnungen „vier Lenkrollen“ und „zwei Lenk- und zwei Bockrollen“ für Ein-/ Aufschubkonzepte.

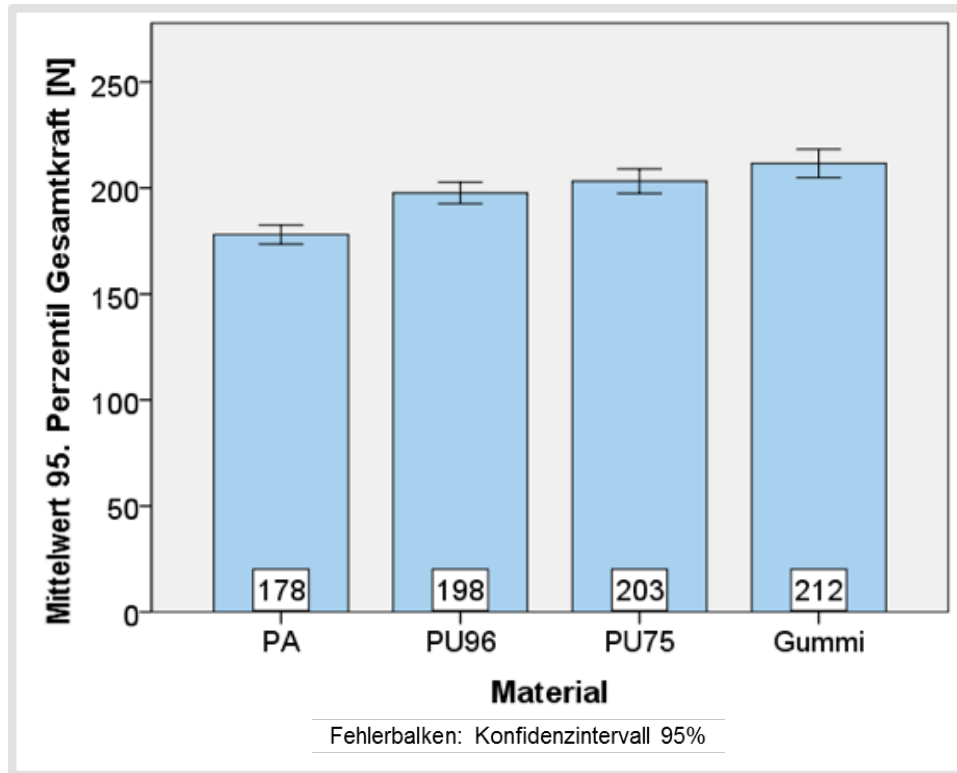


Abbildung 7-11: Initial Force in Abhängigkeit des Rollenmaterials ($n = 2448$ Messungen) [Keu-16c]

Das Rollenmaterial hat einen signifikanten Einfluss auf die Initial Force ($H(3) = 56,892$; $p = 0,000$), da es einen deutlichen Unterschied zwischen den Werten der Initial Force für Polyamidrollen und denen anderer Rollenmaterialien gibt. Die in Klammern angegebene Notation basiert auf dem Kruskal-Wallis-Test und gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit p die Nullhypothese H_0 zutrifft ($H_0 =$ Die Verteilung der Initial Force ist für alle Rollenmaterialien identisch). Der Wert von $p = 0,000$ sagt damit aus, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von unter 0,1 Prozent kein Zusammenhang zwischen dem Rollenmaterial und der gemessenen Initial Force besteht (vgl. [Hat-13]). Die Unterschiede in der Initial Force lassen sich erklären, da Anfahren sowie Richtungsänderungen bei harten Rollen mit weniger Kraftaufwand möglich sind. Der Grund hierfür liegt in der geringeren Verformungsarbeit, welche im Rollenbelag verrichtet werden muss.

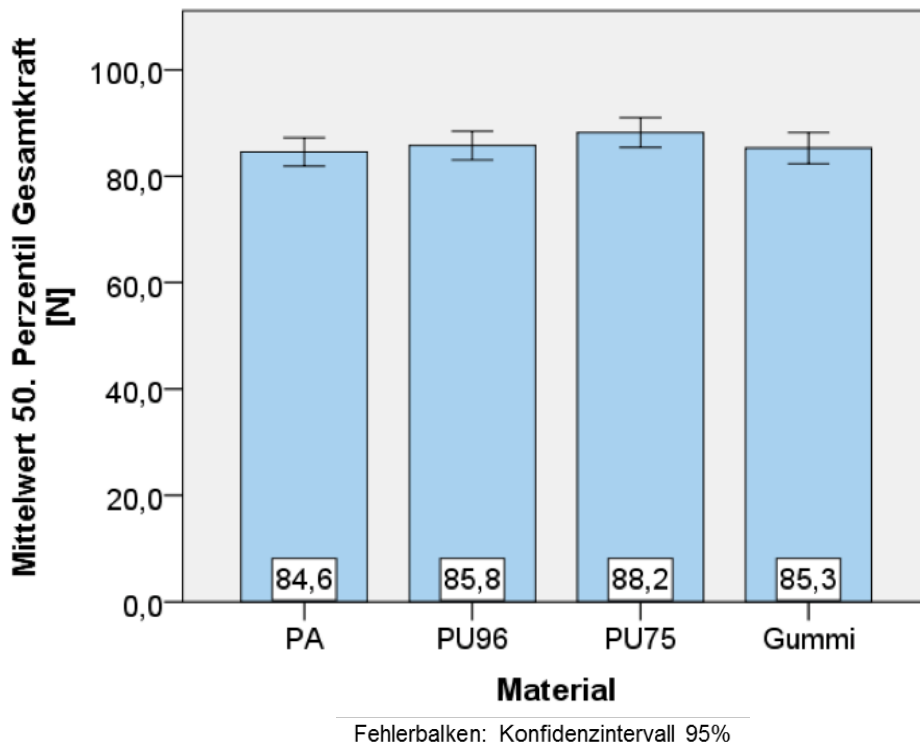


Abbildung 7-12: Sustained Force in Abhängigkeit des Rollenmaterials (n = 2448 Messungen) [fml-16b]

Dagegen konnte für die in Abbildung 7-12 dargestellte Sustained Force kein signifikanter Zusammenhang mit dem Rollenmaterial festgestellt werden ($H(3) = 3,896$; $p = 0,273$). Der erwähnte Effekt, dass bei weicheren Materialien zum Anfahren mehr Verformungsarbeit im Kissen geleistet werden muss, zeigt – sobald die Rolle einmal in Bewegung ist – eine positive Auswirkung: Das verformte Material strebt in seine Ausgangsform zurück und unterstützt so die Rollbewegung, wodurch weniger Kraft erforderlich ist, um den Wagen in Bewegung zu halten. Somit ergeben sich für alle Rollenmaterialien ähnliche Werte für die Sustained Force.

Auf die Vorgangsdauer hingegen hat das Rollenmaterial einen signifikanten Einfluss ($H(3) = 40,88$; $p = 0,000$). Für Polyamid ergeben sich signifikant kürzere Vorgangsdauern als für die anderen drei Materialien (jeweils mit $p = 0,000$). Im Vergleich zu Vollgummi, dem Material mit der längsten Vorgangsdauer, wird mit Polyamidrollen 9,7 Prozent weniger Zeit benötigt, wie Abbildung 7-13 zu entnehmen ist.

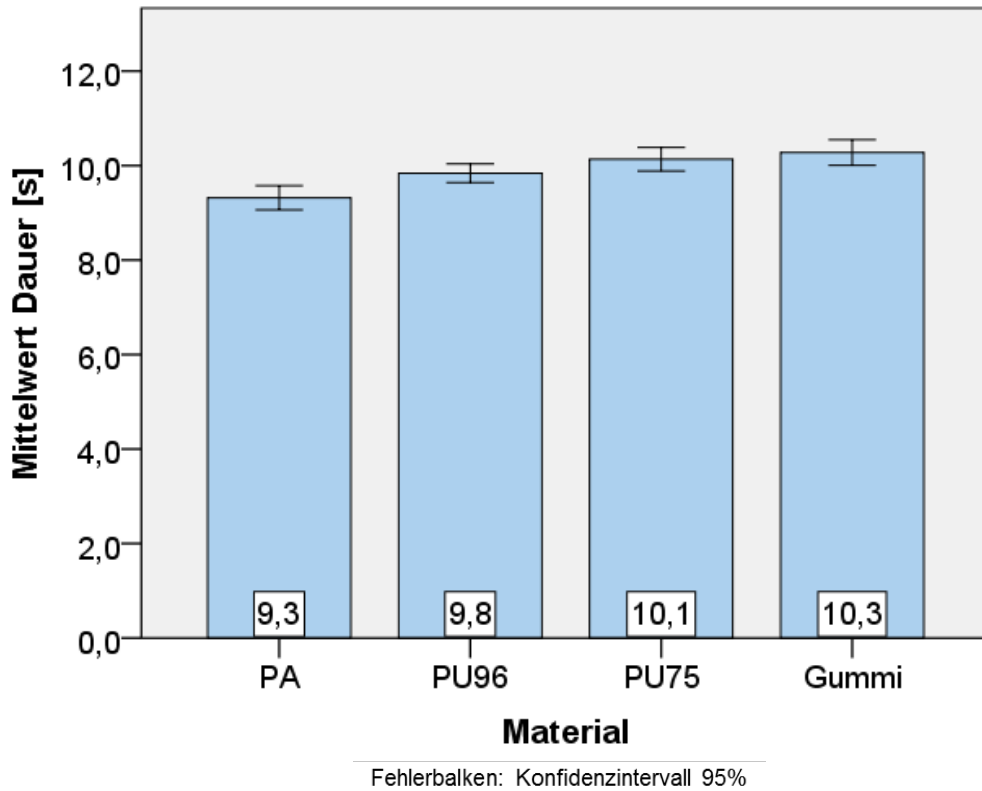


Abbildung 7-13: Abschnittsdauer in Abhängigkeit des Rollenmaterials [fml-16b]

Die bereits bei der Initial Force festzustellende Tendenz, dass harte Rollen geringere Werte erreichen, setzt sich auch bei der Vorgangsdauer fort. Die Ausführungszeiten sinken, da der geringe Rollwiderstand der harten Rollen ein schnelleres Anfahren ermöglicht. Gleichzeitig bestätigen diese Ergebnisse, dass eine langsamere und daher kraftsparende Arbeitsweise nicht der Grund für die niedrigen Werte der Initial Force bei Polyamidrollen war.

Die in Abschnitt 7.3.1 eingeführte Kennzahl der Fahrruhe ist in Abbildung 7-14 in Abhängigkeit von Rollenmaterial und Gewicht dargestellt. In die Grafik flossen Messergebnisse aus Versuchen mit zehn verschiedenen Rollenarrangements für Ein-/ Aufschubkonzepte und Transportwagen sowie fünf verschiedenen Gewichtsstufen ein.

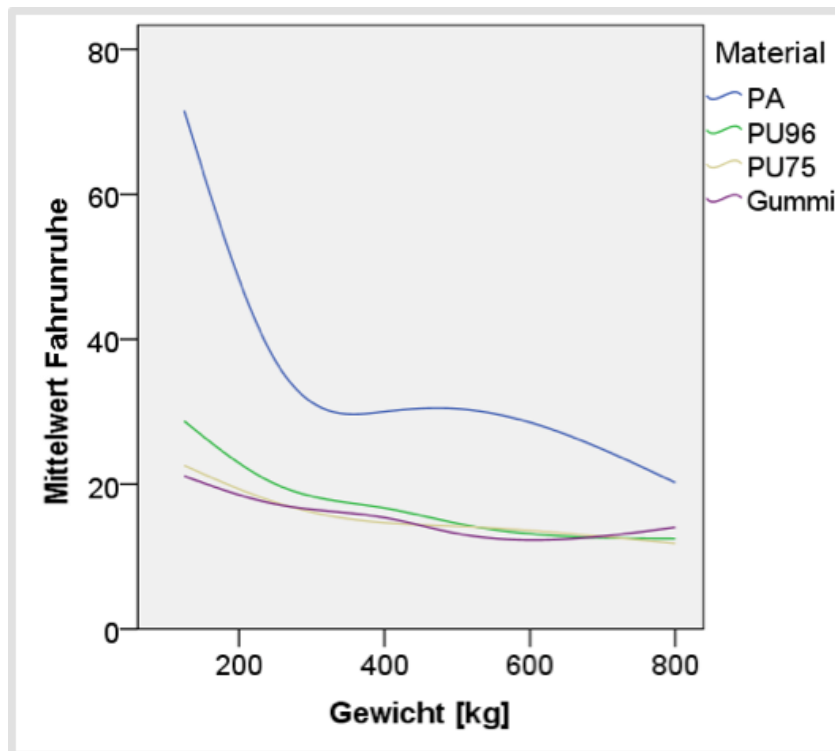


Abbildung 7-14: Fahrruhe in Abhängigkeit des Rollenmaterials (n = 4226 Messungen) [Keu-16c]

Es konnte festgestellt werden, dass das Rollenmaterial einen signifikanten Einfluss auf die Fahrruhe hat ($H(3) = 1275,6$; $p = 0,000$). Die geringere Dämpfung in harten Rollen führt zu einer höheren Fahrruhe; besonders ausgeprägt ist dies bei Polyamidrollen. Auch das Gewicht wirkt sich dämpfend auf die Fahrruhe aus; daher sinkt die Kennzahl mit steigendem Gewicht.

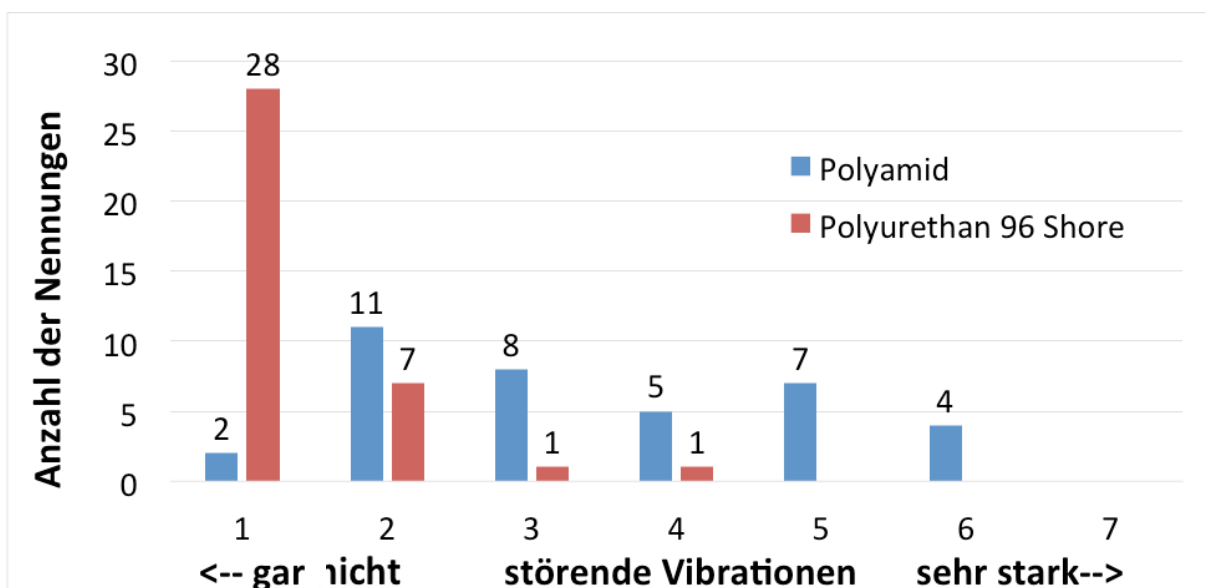


Abbildung 7-15: Bewertung der Vibrationsbelastung durch Probanden (vgl. [fml-16b])

Dies wird ebenso von einer Befragung von 37 Probanden im Anschluss an die Versuche mit jeder einzelnen Konfiguration bestätigt. In Abbildung 7-15 sind die Angaben zur Wahrnehmung störender Vibrationen abhängig vom Rollenmaterial dargestellt.

Hierbei lag die mittlere Bewertung von Polyurethanrollen mit 1,3 deutlich niedriger als bei Polyamidrollen, welche eine mittlere Bewertung von 2,9 erhielten. Somit konnten die Arbeitshypothesen 3 und 4 bestätigt werden, da sowohl die Fahrruhe wie auch der subjektive Eindruck der Vibrationsbelastung durch Polyamidrollen deutlich höher ist als durch Polyurethanrollen mit einer Shorehärte von 96. In der zweiten Versuchsreihe wurden die Probanden zu ihrem bevorzugten Rollenmaterial befragt; die Antworten können Abbildung 7-16 entnommen werden.

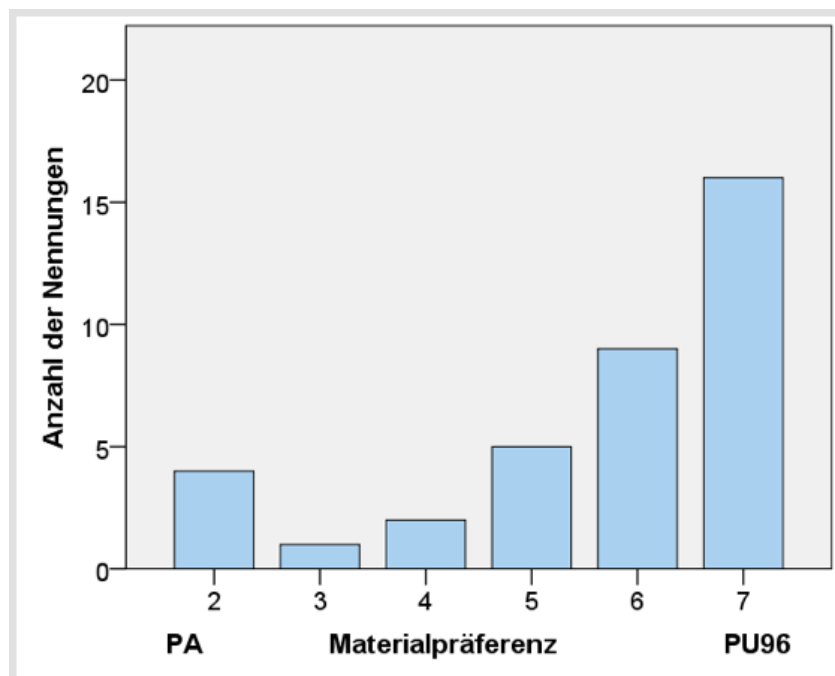


Abbildung 7-16: Materialpräferenz der Probanden (n = 37 Probanden) [Keu-16c]

Da die Mehrheit der Probanden Polyurethanrollen gegenüber Polyamidrollen bevorzugt, wird deutlich, dass die erforderliche Kraft nicht das alleinige Entscheidungskriterium darstellt. Vielmehr fließen auch andere Faktoren in die Entscheidung mit ein, wie beispielsweise die Fahrruhe. Ein Einfluss weiterer Aspekte, welche im Rahmen der Messungen nicht eingehender betrachtet wurden, ist nicht auszuschließen. Beispielhaft ist die unterschiedliche Geräuscentwicklung der Rollen während der Fahrt zu nennen.

7.3.3 Einfluss des Rollendurchmessers

Die Untersuchung verschiedener Rollendurchmesser und deren Einfluss auf die Messergebnisse wurde auf Basis von Messungen mit Polyurethanrollen mit einer Härte von 96 Shore für Ein-/ Aufschubkonzepte mit vier Lenkrollen sowie zwei Lenk- und zwei Bockrollen untersucht. Abbildung 7-17 zeigt den Zusammenhang von Initial Force und Rollendurchmesser. Anhand des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman konnte kein signifikanter Unterschied der Initial Force bei verschiedenen Rollendurchmessern festgestellt werden ($r = 0,09$; $p = 0,711$).

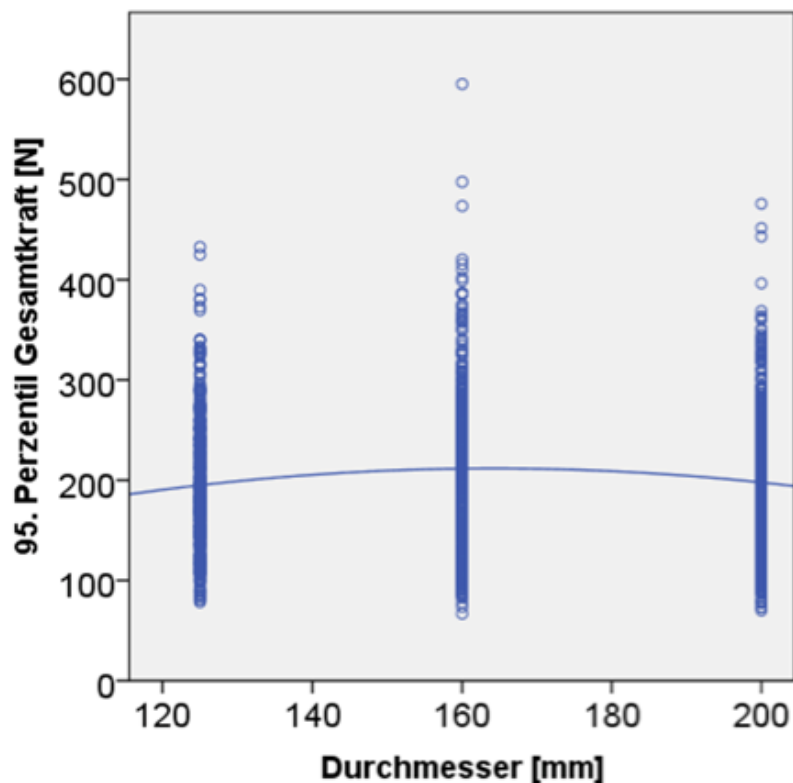


Abbildung 7-17: Initial Force in Abhängigkeit vom Rollendurchmesser ($n = 1548$ Messungen) [Keu-16c]

In den Vorversuchen des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung ergab sich ebenfalls kein Zusammenhang zwischen Rollendurchmesser und erforderlichen Kräften [Gli-13b]. In Vorbesprechungen, beispielsweise mit Rollenherstellern, wurde die Vermutung geäußert, dass bei kleineren Rollendurchmessern deutlich höhere Kräfte zu erwarten wären [Bod-15]. Dies konnte nicht bestätigt werden; jedoch ist festzuhalten, dass alle Messungen auf ebenem Boden durchgeführt wurden. Eine einfachere Handhabbarkeit von Wagen mit größerem Rollendurchmesser beim Überfahren von Schwellen, Dehnfugen, Schlaglöchern oder anderen Unebenheiten ist zu vermuten.

7.3.4 Einfluss des Lenkgehäuses

Die verschiedenen Lenkgehäuse wurden für Polyurethanrollen mit einer Härte von 96 Shore und einem Rollendurchmesser von 200 mm verglichen. Abbildung 7-18 zeigt die Initial Force, welche signifikant vom gewählten Lenkgehäuse abhängt ($H(2) = 13,274$, $p = 0,001$). Dabei unterscheiden sich insbesondere die beiden Lenkgehäuse mit Kugellagern ($p = 0,002$), wobei die Losbrechkraft bei Verwendung des gehärteten Kugellagers um 7,5 Prozent geringer ausfällt.

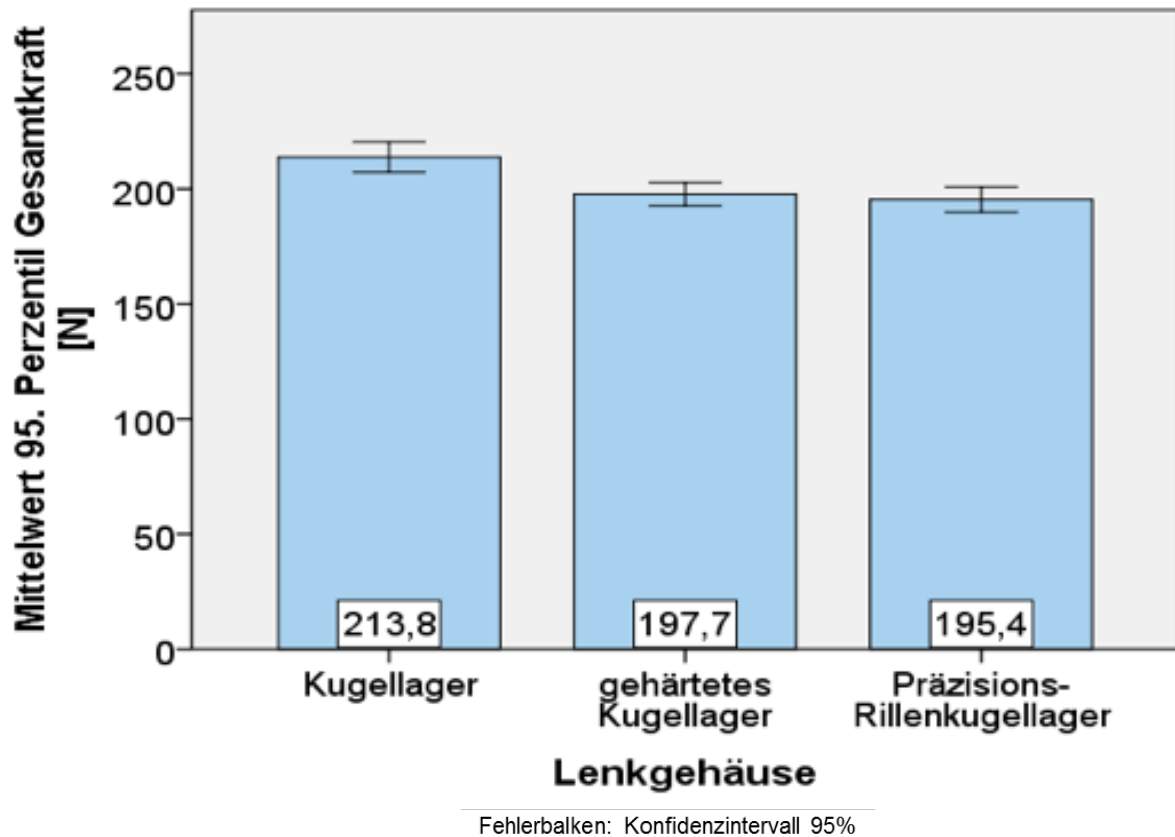


Abbildung 7-18: Initial Force in Abhängigkeit des Lenkgehäuses ($n = 1902$) [fml-16b]

Der geringere Drehwiderstand bei Einsatz gehärteter Kugellager erlaubt im Vergleich zu der einfacheren Ausführung ein Anfahren sowie Richtungsänderungen mit deutlich niedrigeren Kräften. Die weitere Reduzierung des Anfahrwiderstands durch Verwendung eines hochwertigen Präzisions-Rillenkugellagers fällt vergleichsweise gering aus.

Auch bei der Vibrationsbelastung, dargestellt durch die Kennzahl der Fahrruhe in Abbildung 7-19, ergeben sich signifikante Zusammenhänge mit dem verwendeten Lenkgehäuse ($H(2) = 11,536$; $p = 0,003$). Dabei unterscheidet sich das einfachste untersuchte Lenkgehäuse signifikant von den beiden höherwertig gelagerten Lenkgehäusen (jeweils $p = 0,000$). Der Grund hierfür ist in den besseren

Dämpfungseigenschaften aufgrund der höheren Materialstärke des verbauten Stahlblechs sowie der allgemein stabileren Bauform der beiden höherwertigen Lenkgehäuse zu sehen.

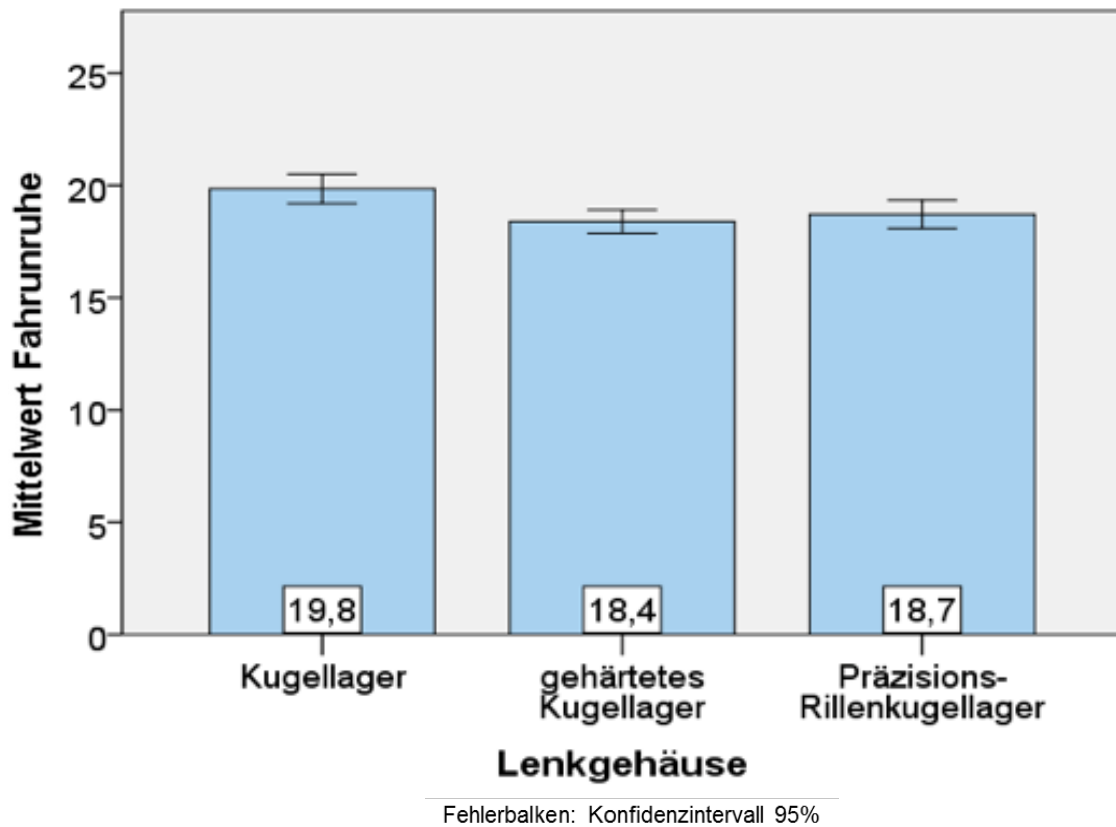


Abbildung 7-19: Fahrruhe in Abhängigkeit des Lenkgehäuses ($n = 1902$) [fml-16b]

7.3.5 Einfluss der Rollenordnung

Im Folgenden wird zuerst auf die verschiedenen Rollenordnungen bei Transportwagen eingegangen, bevor diese für Ein-/ Aufschubkonzepte analysiert werden. Die Initial Force für drei Rollenordnungen bei Transportwagen ist in Abbildung 7-20 dargestellt. Die ermittelten Werte für die Initial Force liegen dabei nah beieinander. Im Vergleich zur klassischen Anordnung mit zwei Lenk- und zwei Bockrollen kann mit der Rautenanordnung die Initial Force nur um 7 Prozent gesenkt werden. Aufgrund der hohen Streuung der Werte ist daher kein signifikanter Zusammenhang nachweisbar ($H(2) = 2,249$; $p = 0,325$).

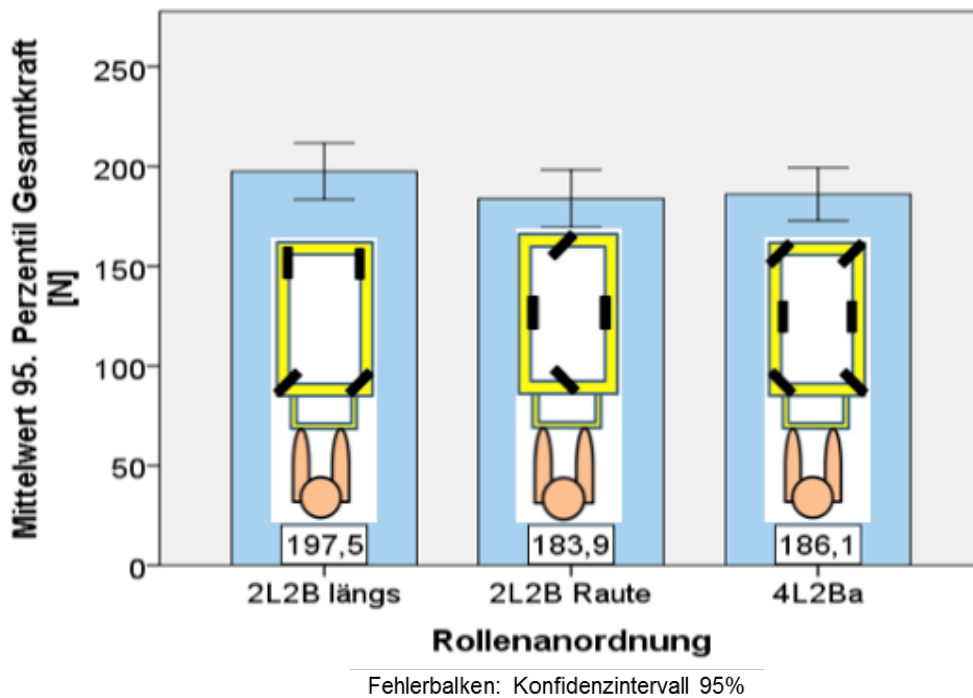


Abbildung 7-20: Initial Force in Abhängigkeit der Transportwagenkonfigurationen ($n = 363$ Messungen) [fml-16b]

Bereits in der Versuchsdurchführung fiel die Rautenanordnung positiv auf, da sie aufgrund des im Mittelpunkt der Grundplatte liegenden Schwerpunkts eine gute Manövrierfähigkeit bot. Auch bei der Anordnung mit vier Lenkrollen und zwei außenliegenden Bockrollen befindet sich der Schwerpunkt in der Mitte der Grundplatte, jedoch war hier die Steuerung mit der Rautenanordnung noch intuitiver möglich. Durch die einfache Manövrierbarkeit und die somit geringeren Steuertätigkeiten erklärt sich der niedrigere Wert der Initial Force für diese beiden Rollenordnungen.

Für die Vorgangsdauer ließ sich ein signifikanter Einfluss der Rollenordnung nachweisen ($H(2) = 19,720$; $p = 0,000$). Die kürzeste Vorgangsdauer ergibt sich für die Rautenanordnung. Im Vergleich zur Rollenordnung mit vier Lenk- und zwei außenliegenden Bockrollen konnten dabei 13 Prozent der Zeit eingespart werden, wie Abbildung 7-21 veranschaulicht.

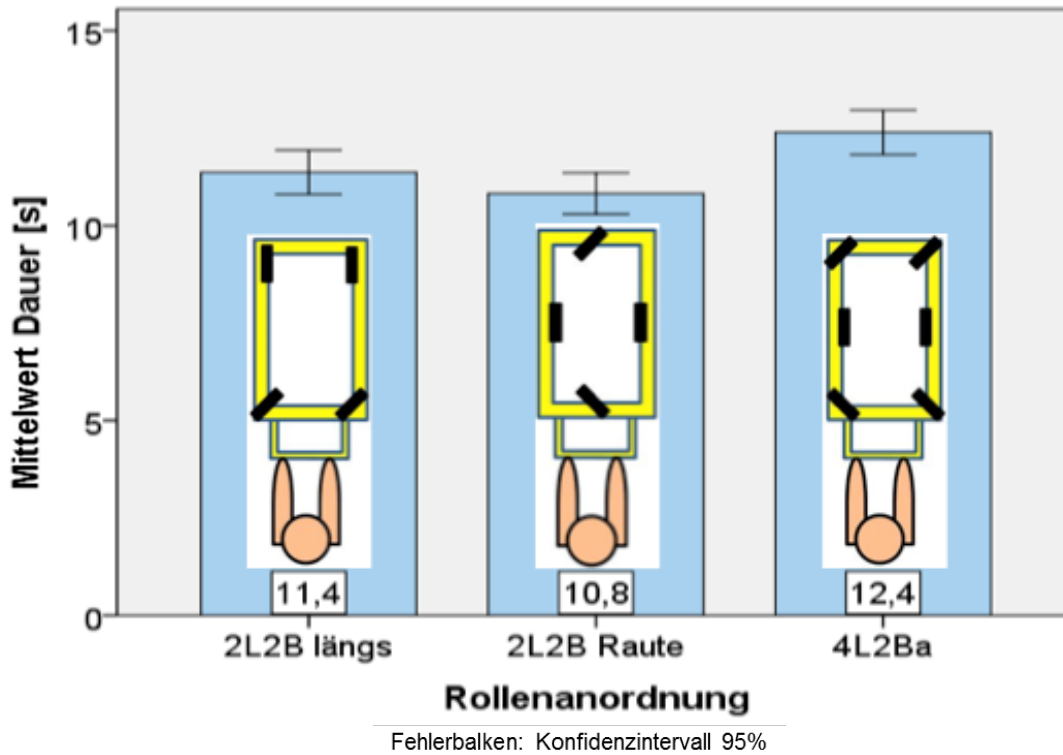


Abbildung 7-21: Abschnittsdauer in Abhängigkeit der Transportwagenkonfiguration ($n = 363$ Messungen) [fml-16b]

Auch bei der Betrachtung der Vorgangsdauer ist der Grund in der guten Manövrierbarkeit der Rautenanordnung zu sehen, wobei die gewöhnungsbedürftige Steuerung der Anordnung mit vier Lenk- und zwei Bockrollen in den Versuchen zu längeren Fahrzeiten führte.

Die Rollenanordnungen bei Handschiebewagen für Ein-/ Aufschubkonzepte haben ebenfalls signifikanten Einfluss auf die Vorgangszeiten ($H(2) = 56,272$; $p = 0,000$). Die Vorgangsdauer ist bei ausschließlicher Verwendung von Lenkrollen deutlich höher als beim Einsatz einer oder mehrerer Bockrollen. In Abbildung 7-22 ist die Vorgangsdauer für ein Gesamtgewicht von 500 kg und Polyurethanrollen mit einer Härte von 96 Shore dargestellt. Hiermit konnte die Arbeitshypothese 1 – die Vorgangsdauer kann durch den Einsatz von Bockrollen reduziert werden; dabei existiert zwischen den Rollenanordnungen mit einer und zwei Bockrollen kein signifikanter Unterschied – bestätigt werden.

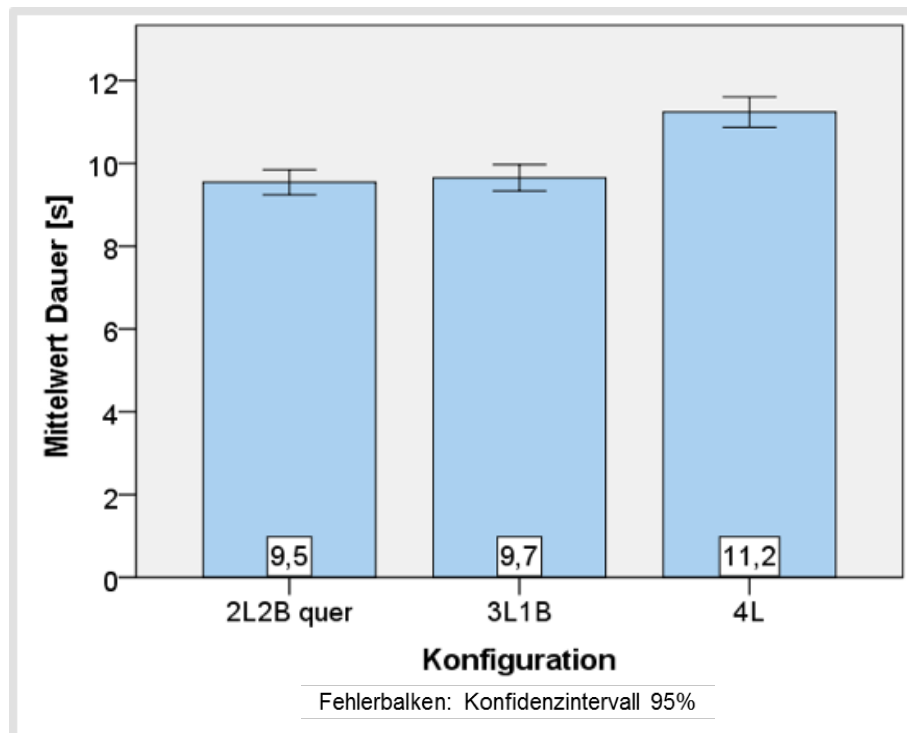


Abbildung 7-22: Vorgangsdauer in Abhängigkeit der Rollenanzahl (n = 600 Messungen) [Keu-16c]

Wie in Abschnitt 7.2.5 erwähnt, wurde in der ersten Versuchsreihe notiert, wie häufig während der Versuchsfahrt Parcoursmarkierungen nicht exakt angefahren werden konnten. Die daraus berechnete Trefferquote, welche in Abbildung 7-23 dargestellt ist, hängt ebenfalls stark von der Rollenanzahl ab. Dabei konnte bei Verwendung von Bockrollen eine hohe Trefferquote erzielt werden. Bei der Anordnung mit vier Lenkrollen konnten jedoch in nahezu 30 Prozent der Versuche weniger als zwei Drittel der Positionsmarkierungen korrekt angesteuert werden.

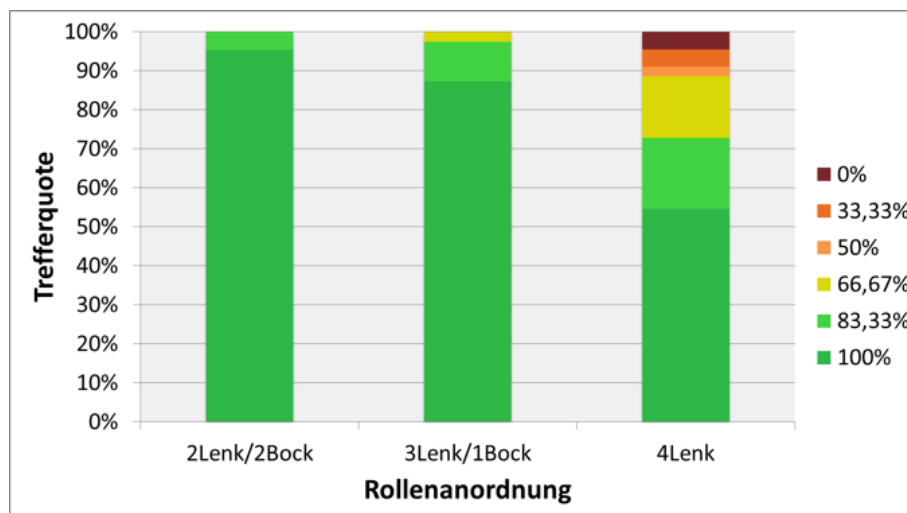


Abbildung 7-23: Trefferquote in Abhängigkeit der Rollenanzahl (n = 132 Versuchskonfigurationen) [Keu-16c]

Daraufhin gaben in der zweiten Versuchsreihe 37 Versuchspersonen in einem Fragebogen ihre Einschätzung ab, wie präzise sie den Handschiebewagen während der Versuchsdurchführung manövrieren konnten. Die Ergebnisse können Abbildung 7-24 entnommen werden.

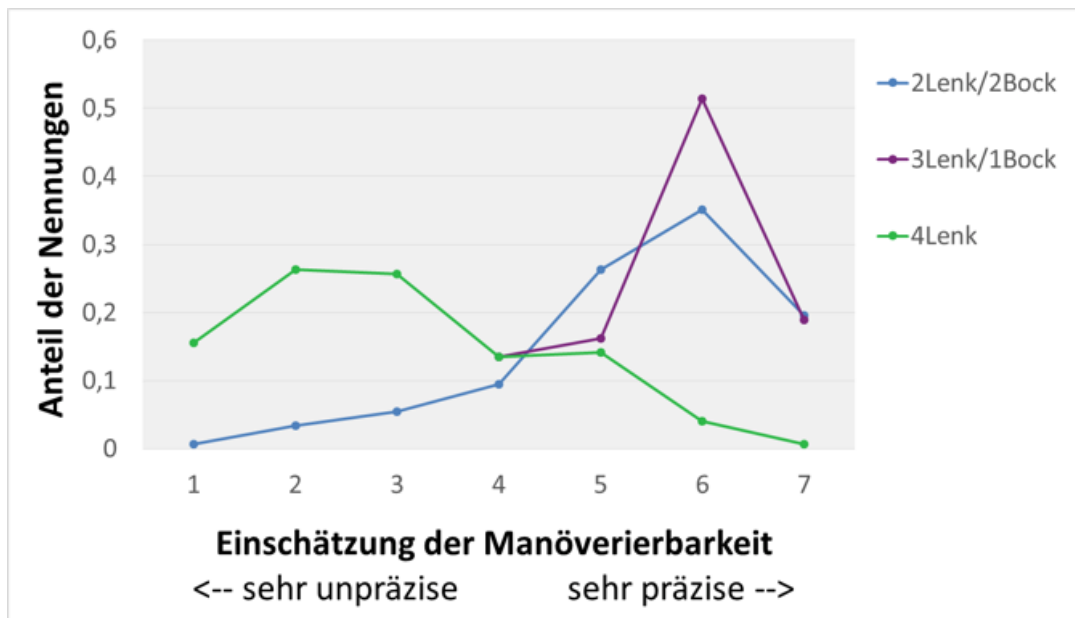


Abbildung 7-24: *Einschätzung der Manövrierbarkeit in Abhängigkeit der Rollenordnungen (n = 333 Versuchskonfigurationen) [Keu-16c]*

Eine Varianzanalyse weist hier einen signifikanten Unterschied in der Einschätzung der Manövrierbarkeit der Anordnung mit vier Lenkrollen im Vergleich zu den beiden anderen Rollenordnungen auf ($F(2,330) = 144,364$; $p = 0,000$). Dabei wurden Anordnungen mit Bockrollen als deutlich präziser manövrierbar bewertet als die Anordnung mit vier Lenkrollen.

Bockrollen erleichtern das Einhalten des vorgesehenen Fahrwegs, da sie ein Ausbrechen des Handschiebewagens erschweren. Somit können sowohl der Kraftaufwand für korrigierende Steuertätigkeiten wie auch unnötige Wege reduziert werden. Auch die Unfallgefahr sinkt, da ein Handschiebewagen mit Bockrollen vom Routenzugfahrer besser unter Kontrolle gehalten werden kann und daher Kollisionen besser vermieden werden.

Abbildung 7-25 zeigt für Handschiebewagen (Gewicht 500 kg) mit Polyurethanrollen mit einer Härte von 96 Shore die aufgebrachte Initial Force von 40 Versuchspersonen in Abhängigkeit der Rollenordnung; ein statistisch signifikanter Zusammenhang konnte nicht nachgewiesen werden.

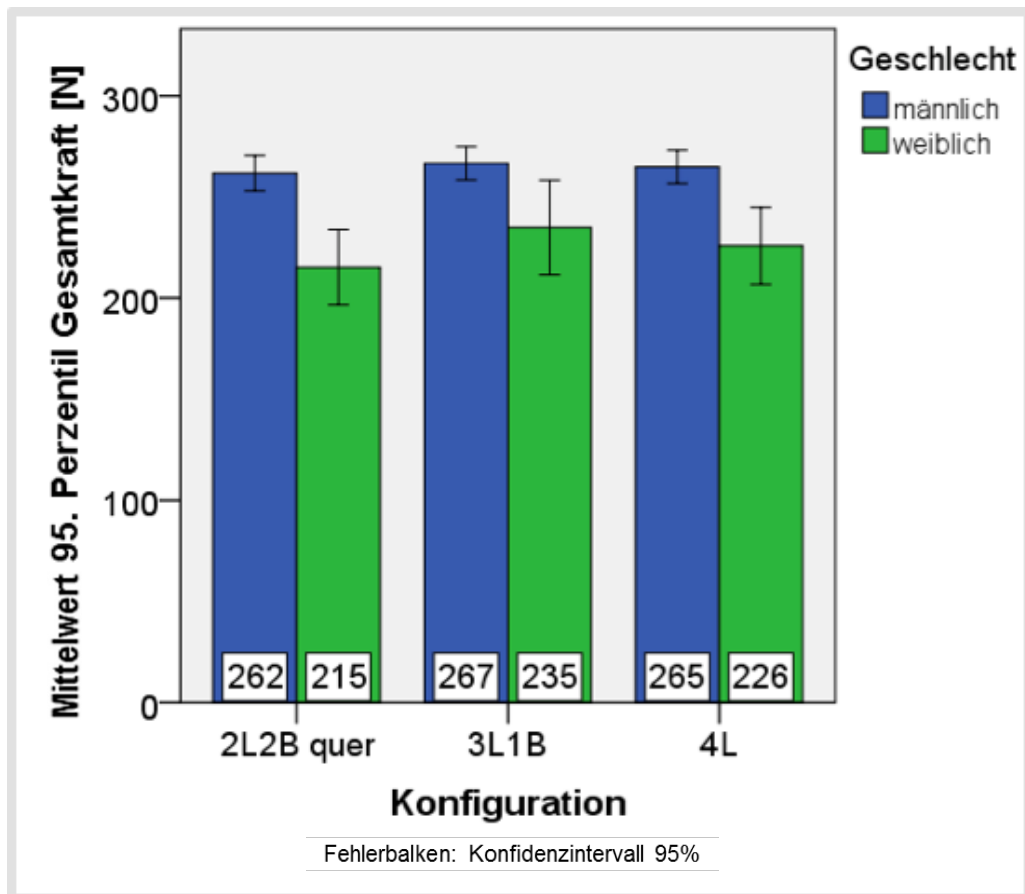


Abbildung 7-25: Initial Force in Abhängigkeit der Rollenanzahl (n = 600 Messungen) [Keu-16c]

Eine Befragung der Probanden ergab trotz ähnlicher Werte der Initial Force eine klare Präferenz der Anordnungen mit einer oder zwei Bockrollen. Während unter 37 Befragten keine Nennung der Anordnung mit vier Lenkrollen erfolgte, sprachen sich über 75 Prozent der Probanden für die Anordnung mit drei Lenkrollen und einer Bockrolle aus. Die übrigen Teilnehmer wählten zwei Lenk- und zwei Bockrollen.

Nach Einschätzung der Autoren sind die unauffälligen Werte der Initial Force bei vier Lenkrollen dadurch begründet, dass die Probanden bei dieser Anordnung zu einer deutlich reduzierten Geschwindigkeit bei der Arbeitsausführung tendieren. Bei ersten Fahrversuchen mit vier Lenkrollen konnten die Probanden feststellen, dass ein einmal ausgebrochener Wagen nur sehr schwer wieder eingefangen werden kann. Durch eine sehr vorsichtige und gleichmäßige Arbeitsweise wurde nachfolgend versucht, ein Ausbrechen des Handschiebewagens von vornherein zu verhindern. Durch die daher reduzierte Beschleunigung des Wagens wurden in direkter Konsequenz geringere Handkräfte gemessen. Die vor Beginn der zweiten Versuchsreihe aufgestellte Arbeitshypothese 2, welche die Reduktion von Kräften durch den Einsatz von Bockrollen postuliert, kann damit auf Basis der durchgeführten Messungen nicht verifiziert werden.

Mit steigender Erfahrung beim Handling von Handschiebewagen konnte von den Probanden der ersten Versuchsreihe beim Handling von Handschiebewagen mit vier Lenkrollen die Ausführungsgeschwindigkeit und damit die aufzubringenden Kräfte derart dosiert werden, dass kein Ausbrechen des Wagens drohte. Die Initial Force der Probanden, die Versuche mit einer größeren Zahl von Konfigurationen und Versuchswiederholungen absolviert haben, sind für Handschiebewagen mit Polyurethanrollen mit einer Härte von 96 Shore und einem Gesamtgewicht von 500 kg in Abbildung 7-26 dargestellt. Die Initial Force erreicht in diesem Fall für die Rollenordnung mit vier Lenkrollen den mit Abstand höchsten Wert.

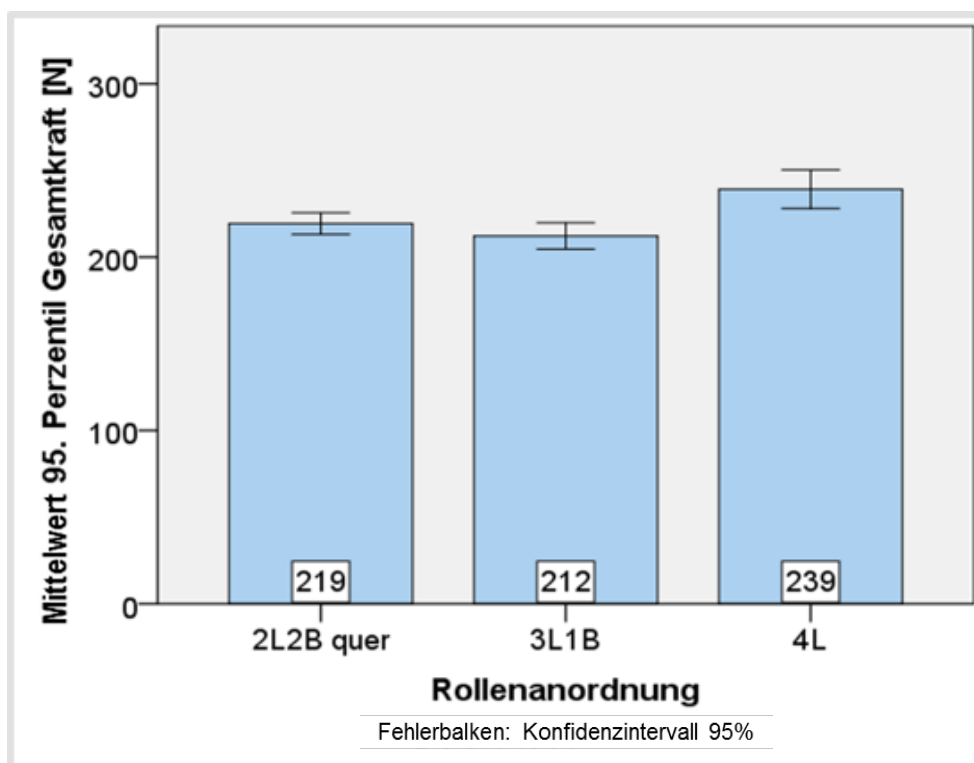


Abbildung 7-26: Initial Force in Abhängigkeit der Rollenordnung ($n = 192$ Messungen) [Keu-16c]

Die skizzierten Unterschiede zwischen Probanden mit unterschiedlicher Erfahrung machen zudem die Schwierigkeiten beim Vergleich verschiedener Kraftmessungen deutlich. Auch wenn bei zwei Messreihen Rahmenbedingungen, Messequipment und Versuchsablauf gleich gehalten werden, können verschiedene Versuchspersonen zu deutlich abweichenden Messwerten führen. Neben einer unterschiedlichen körperlichen Konstitution können die Abweichungen in einer anderen, vom Probanden als angenehmer empfundenen Arbeitsweise und -intensität begründet sein [Keu-16c].

Aus diesem Grund ist die Festlegung einer allgemeingültigen Kraftobergrenze in Unternehmen mit gewissen Herausforderungen verbunden. Da durch unterschiedliche Versuchspersonen nur eine eingeschränkte Vergleichbarkeit von Messwerten

gegeben ist, ist eine exakte Überprüfung der Einhaltung einer vorgegebenen Kraftobergrenze an unterschiedlichen Standorten eines Unternehmens nur schwer realisierbar.

7.3.6 Einfluss der Größe der Grundplatte

Um den Einfluss der Größe der Grundplatte zu untersuchen wurden in der ersten Versuchsreihe Messungen auf dem Parcours für Ein-/ Aufschubkonzepte mit zwei Lenk- und zwei Bockrollen sowie vier Lenkrollen durchgeführt. Da nur für die Gewichte von 400 kg, 500 kg und 800 kg mit allen Grundplattengrößen Messungen möglich waren, fließen in die Auswertung nur diese drei Gewichtsklassen ein.

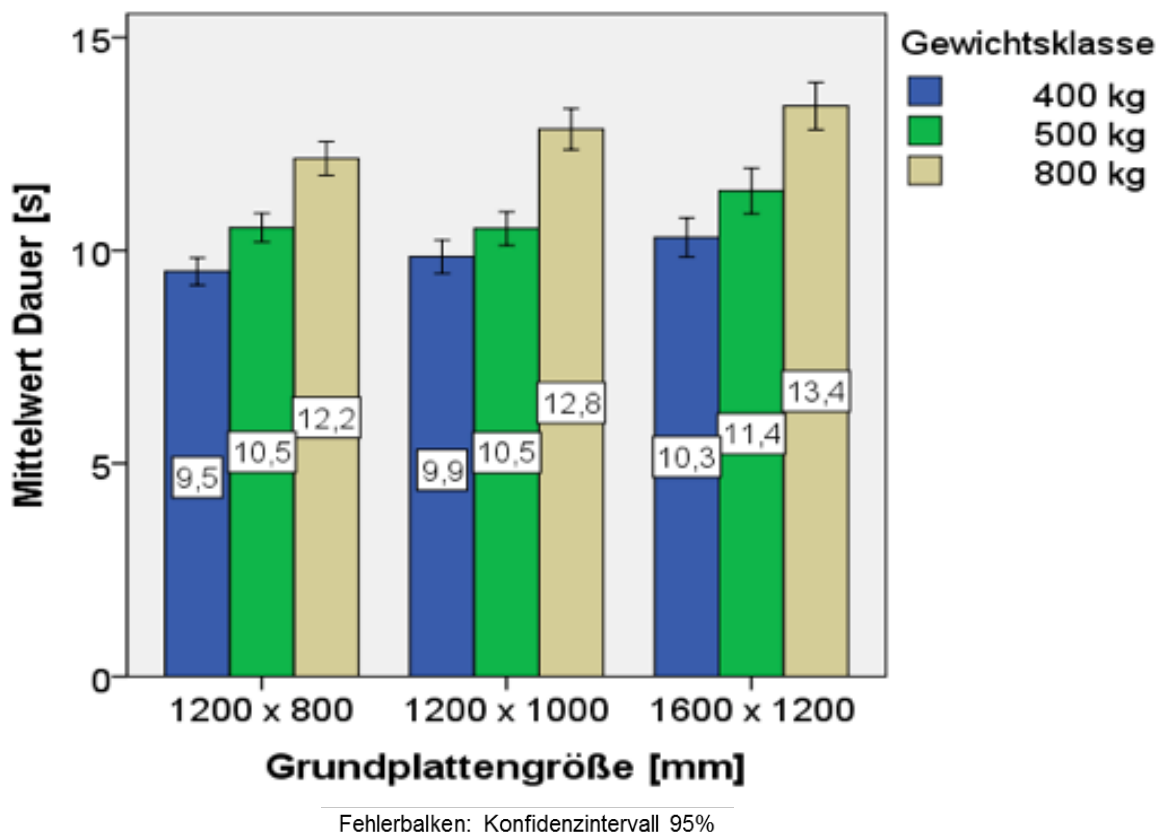


Abbildung 7-27: Vorgangsdauer in Abhängigkeit des Gesamtgewichts und der Grundplattengröße (n = 780 Messungen) (vgl. [fml-16b])

In Abbildung 7-27 sind die Vorgangsdauern für die verschiedenen Gewichtsklassen in Abhängigkeit der Grundplattengröße dargestellt. Zwischen der Grundplattengröße und der Vorgangsdauer konnte ein signifikanter Zusammenhang ermittelt werden ($H(2) = 20,513$; $p = 0,000$). Insbesondere für die größte Grundplatte (1600 mm x 1200 mm) ergeben sich deutlich längere Vorgangsdauern als bei der kleinen Grundplatte mit 1200 mm x 800 mm ($p = 0,000$). Selbst mit der mittleren Grundplatte (1200 mm x

1000 mm) können die Abschnitte noch signifikant schneller absolviert werden als mit der größten ($p = 0,028$).

Die längere Versuchsdauer ergibt sich aus der größeren Abmessung des Handschiebewagens. Da die meisten Versuche mit der 4Dflexiplat (1200 mm x 800 mm) durchgeführt wurden, waren die Abstände der einzelnen Parcourspositionen für diese Grundplattengröße gestaltet. Die Zielmarkierungen hatten die Maße 1400 mm x 1000 mm und die Kurven einen Radius von 2,5 m. Insbesondere der Kurvenradius stellte bei einer Breite des Handschiebewagens von 1,6 m eine Herausforderung beim Manövrieren dar.

Auch auf die Initial Force hat die Grundplattengröße entscheidenden Einfluss ($H(2) = 53,666$; $p = 0,000$), siehe Abbildung 7-28. Dabei erfordert die größte Grundplatte etwa 10 Prozent weniger Kraft, um in Bewegung gebracht zu werden als die kleinste Grundplatte.

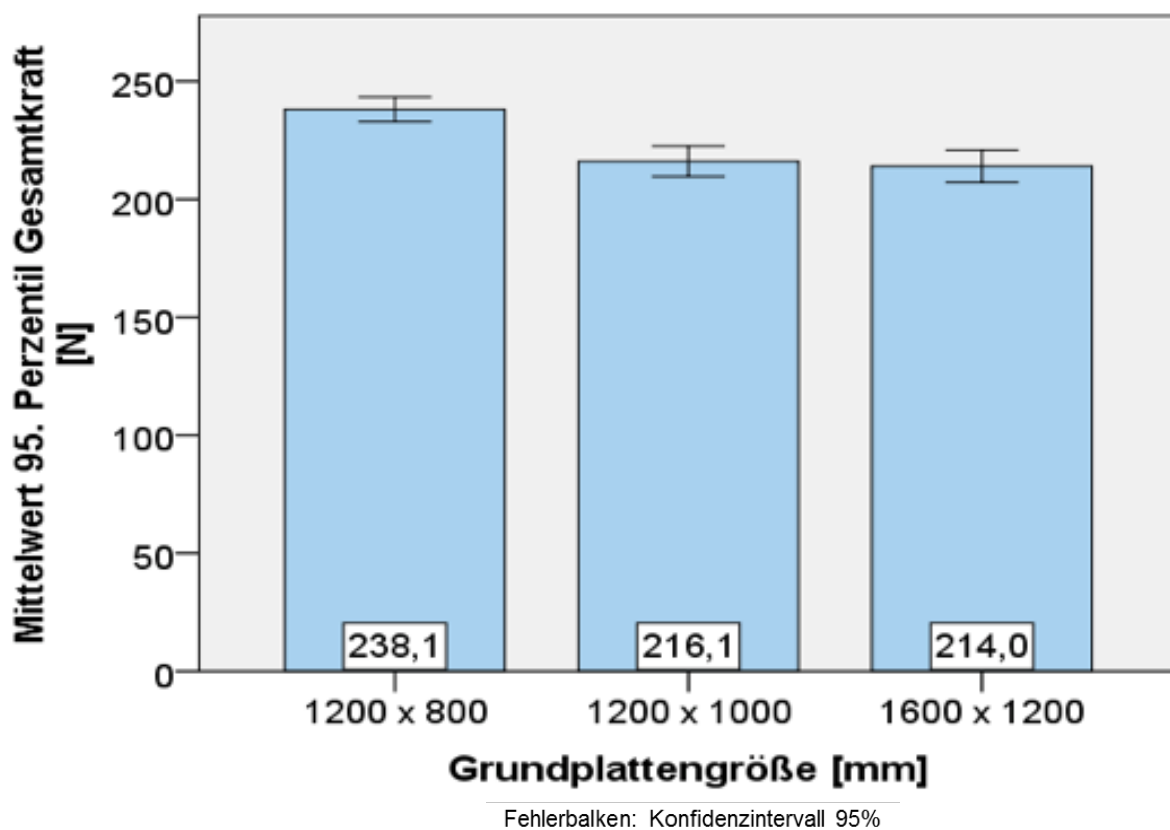


Abbildung 7-28: Initial Force in Abhängigkeit der Grundplattengröße ($n = 780$ Messungen) (vgl. [fml-16b])

Die geringeren Kräfte bei den größeren Grundplatten lassen sich durch den längeren Hebelarm von der Griffposition zur Drehachse begründen. Dieser Effekt erlaubt das Steuern bei der Kurvenfahrt mit weniger Kraftaufwand und erleichtert es, den

Handschiebewagen unter Kontrolle zu halten, wie beispielsweise beim Anfahren mit verdrehten Rollen.

7.3.7 Vergleich unterschiedlicher Routenzugtechniken

Für Ein-/ Aufschubkonzepte gibt es abhängig von der gewählten Technik die Möglichkeit einer Auswurfunterstützung, welche dem Routenzugfahrer die erste Beschleunigung des Handschiebewagens bei der Entnahme aus dem Routenzuganhänger erleichtert. Diese kann, wie bei einem E-Frame aus Abbildung 7-29, aktiv erfolgen oder über einen Höhenunterschied, wie beispielsweise beim B-Frame in Abbildung 7-30.



Abbildung 7-29: E-Frame der Firma Still [LRI-16b]

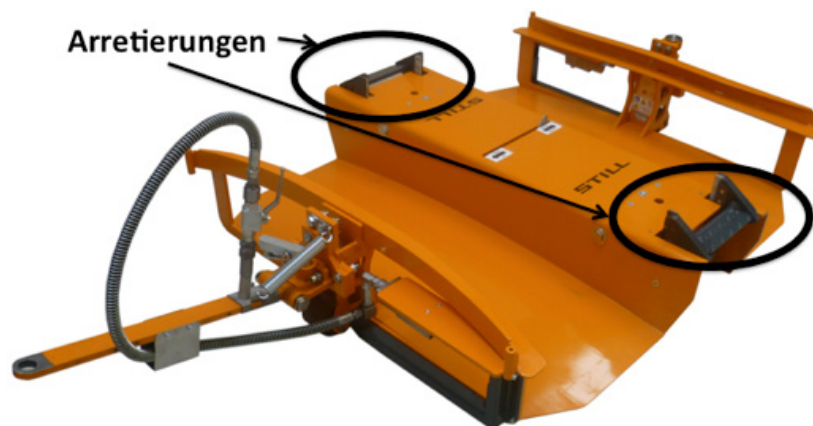


Abbildung 7-30: B-Frame der Firma Still [LRI-16]

Messungen an diesen beiden Routenzuganhängern waren im Rahmen des Projekts IntegRoute im Oktober 2015 im Showroom der Firma LR Intralogistik GmbH in Wörth a.d. Isar möglich. Mit den Messungen konnten dabei vier verschiedene Tätigkeiten abgebildet werden. Es handelte sich um das Anfahren aus dem Stand mit unterschiedlichen Rollenausrichtungen, die Entnahme aus einem E-Frame mit Auswurfunterstützung sowie das Auffahren auf die offene bzw. geschlossene Seite eines

B-Frames mit anschließender Entnahme des Handschiebewagens. Anhand der Messergebnisse konnte quantifiziert werden, wie ausgeprägt der Effekt dieser Routenzuganhänger bei der Unterstützung der ersten Beschleunigung bei der Entnahme eines Handschiebewagens ist. Hierfür wurden für zwei Versuchspersonen jeweils das Anfahren aus dem Stand und die Entnahme des Handschiebewagens aus dem Anhänger verglichen. Die Ergebnisse für den E-Frame können Abbildung 7-31 entnommen werden. Durch den Einsatz eines E-Frame konnte die Initial Force im Vergleich zum Anfahren aus dem Stand auf 68,4 Prozent gesenkt werden.

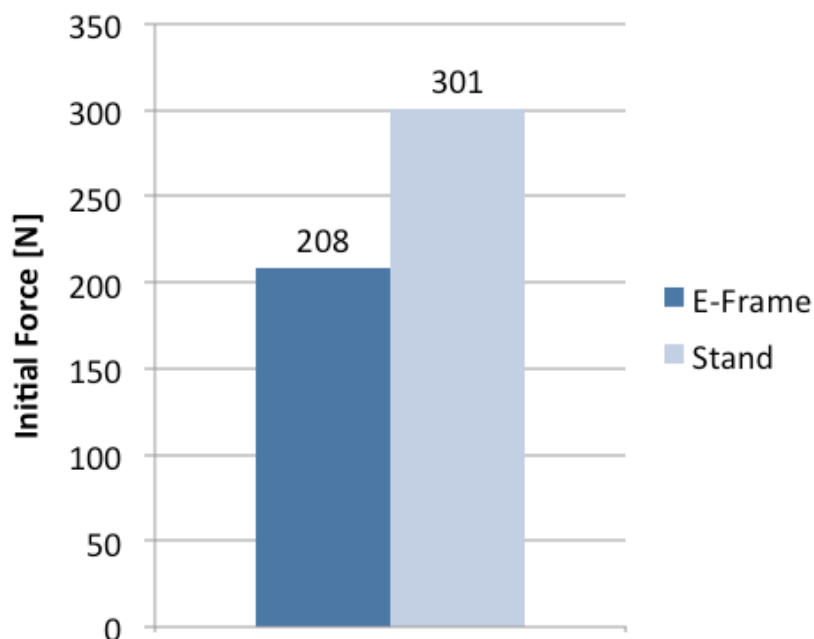


Abbildung 7-31: Initial Force bei E-Frame-Auswurf und Anfahren aus dem Stand [fml-16c]

Bei einem B-Frame erfolgt keine aktive Unterstützung durch einen Mechanismus; der Handschiebewagen steht jedoch auf einer leicht erhöhten Plattform, so dass die potentielle Energie beim Entnehmen in kinetische Energie umgewandelt wird und die Beschleunigung des Wagens unterstützt. Dadurch kann die erforderliche Kraft auf 77,3 Prozent der zum Anfahren aus dem Stand erforderlichen Kraft gesenkt werden.

Um Transportwagen und Ein-/ Aufschubkonzepte zu vergleichen, eignet sich die Betrachtung der beiden Rollenanordnungen mit zwei Lenk- und zwei Bockrollen (Längs- und Querausrichtung der Bockrollen). Die Initial Force, gemessen in der ersten Versuchsreihe, ist in Abbildung 7-32 dargestellt.

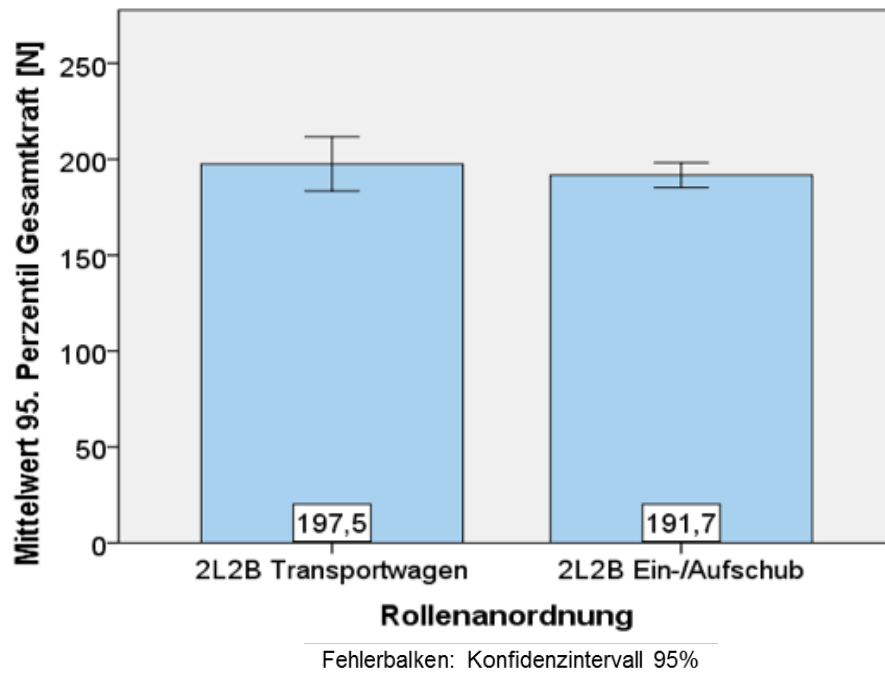


Abbildung 7-32: Initial Force für Transportwagen und Ein-/ Aufschubkonzept ($n = 423$ Messungen)

Der etwas geringere Wert für die Initial Force bei Ein-/ Aufschubkonzepten lässt sich unter anderem mit Drehungen aus dem Stand erklären. Im Transportwagenparcours ist im ersten Abschnitt eine Drehung um 90° erforderlich, bei der die Rollenausrichtung die Bewegung erschwert. Für diesen Handhabungsvorgang sind hohe Kräfte erforderlich. Da der Transportwagenprozess nur aus halb so vielen Abschnitten besteht wie der für Ein-/ Aufschubkonzepte, fallen diese verhältnismäßig stark ins Gewicht.

7.4 Ergebnis

Über die Ergebnisse der Kraftmessungen konnten die aufzubringenden Kräfte beim Ziehen und Schieben von Handschiebewagen für diverse Handhabungsabschnitte, Konfigurationen und Gewichte ermittelt werden. Durch die generierte Datenbasis kann ein belastbarer Vergleich der Ergonomie unterschiedlicher Gestaltungsalternativen von bei der Planung eines Routenzugsystems zu berücksichtigenden Elementen erfolgen. Dies legt die Grundlage für eine detaillierte Bewertung der Ergonomie von Routenzugsystemen unter Einbeziehung diverser prozessualer und technischer Ausprägungen.

8 Ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten

In den vorangegangenen Kapiteln wurden der entwickelten Vorgehensmethodik folgend die Ermittlung der Randbedingungen einer Planungsaufgabe sowie die auf den Randbedingungen aufbauende Bildung und vollständige Dimensionierung von Planungsvarianten thematisiert. Mit dem Ziel eine Vielzahl von Planungsvarianten auf Basis der unterschiedlichen für die Planungsentscheidung relevanten Themenfelder zu vergleichen, wird im vorliegenden Kapitel eine Methodik zur ganzheitlichen Bewertung von Planungsvarianten entwickelt.

Da nur eine begrenzte Anzahl unterschiedlicher Kennzahlen vom Anwender des Planungsvorgehens gegeneinander abgewogen werden kann, wird zur Realisierung der ganzheitlichen Bewertung eine in Abschnitt 8.1 vorgestellte unterstützende Bewertungsmethodik verwendet. Diese ist als Erweiterung des Vergleichs von Planungsvarianten zu verstehen und bietet eine gute Möglichkeit zur Vorselektion bei einer hohen Anzahl von Varianten; auf die direkte Beurteilung und Abwägung der zentralen Kennzahlen durch den Logistikplaner sollte jedoch nicht gänzlich verzichtet werden. Die Vielzahl von für die Bewertung von Planungsvarianten relevanten Kennzahlen können prinzipiell in monetär quantifizierbare Kriterien (siehe Abschnitt 8.2) und nicht monetär quantifizierbare Kriterien (siehe Abschnitt 8.3) unterschieden werden. Zentrale Elemente des vorliegenden Kapitels wurden bereits im Rahmen eines Beitrags in der Industrie 4.0 Management veröffentlicht [Keu-16e].

8.1 Methodik zur ganzheitlichen Bewertung

Für die Konzeption der Bewertungsmethodik zur Realisierung der ganzheitlichen Bewertung werden der Analytische Hierarchieprozess nach Saaty (siehe [Saa-90]), verschiedene Derivate der Nutzwertanalyse wie das Multi-Kriterien-Modell nach Ghandforoush (siehe [Gha-85]) sowie die Data Envelopment Analyse (siehe [Sei-99]) untersucht. Aufgrund der zentralen Forderung nach einer Nachvollziehbarkeit der berechneten Ergebnisse durch den Logistikplaner können mathematisch aufwendige Verfahren – deren Anwendung aufgrund von Matrixmultiplikationen o. Ä. nur effizient mit Computersystemen erfolgen kann – aus der Betrachtung ausgeschlossen werden. Weiterhin wird eine direkte Aggregation von monetären und nicht monetären Kennzahlen zu einer übergeordneten Kennzahl für die Akzeptanz der Bewertungsmethodik als kritisch eingestuft. Da aus diesem Grund die angesprochene Aggregation zu einem möglichst späten Zeitpunkt in der Berechnung erfolgen soll,

8 Ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten

wird das Multi-Kriterien-Modell nach Ghandforoush als Grundlage für die Methodik zur ganzheitlichen Bewertung von Planungsvarianten verwendet.

Das Multi-Kriterien-Modell nach Ghandforoush ermöglicht – basierend auf projektspezifisch anpassbaren Gewichtungsfaktoren – die große Zahl an zu betrachtenden Einzel-Kennzahlen in drei separaten Bewertungsdimensionen zu behandeln und erst im letzten Berechnungsschritt zu einem Gesamtpunktwert zu aggregieren (vgl. Abbildung 8-1).

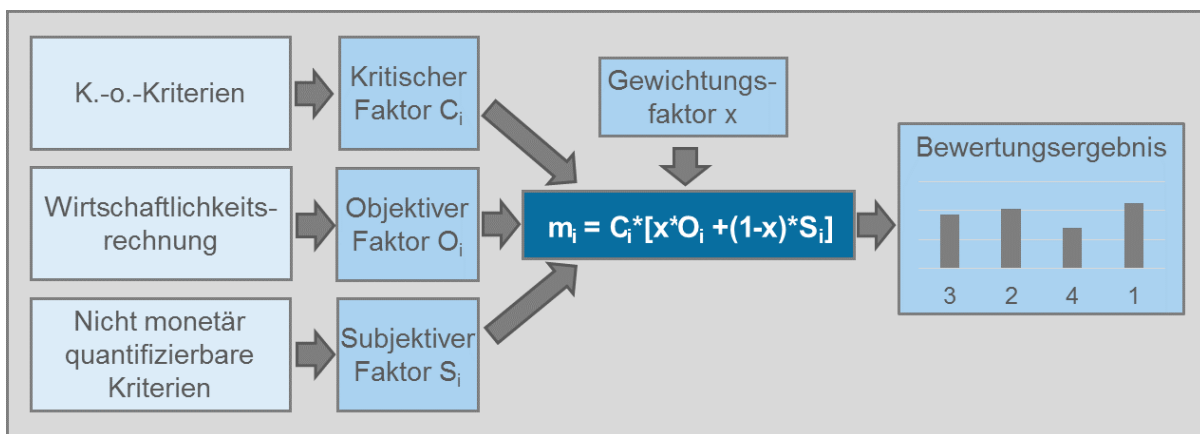


Abbildung 8-1: Ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten (i) unter Verwendung des Multi-Kriterien-Modells nach Ghandforoush (vgl. [Keu-16])

Aus den drei Bewertungsdimensionen, die in den nachfolgenden Abschnitten genauer beleuchtet werden, wird jeweils ein resultierender Faktor berechnet:

- Auf Basis der in Abschnitt 6.1 betrachteten K.-o.-Kriterien wird der kritische Faktor C_i für jede Planungsvariante (i) bestimmt.
- Aufbauend auf der in Abschnitt 6.5 durchgeführten Wirtschaftlichkeitsrechnung wird der objektive Faktor O_i berechnet (siehe Abschnitt 8.2).
- Aus der Vielzahl von nicht monetär quantifizierbaren Bewertungskriterien erfolgt in Abschnitt 8.3 die Berechnung des subjektiven Faktors S_i .

Der kritische Faktor kann die Werte 0 oder 1 annehmen und führt bei Nicht-Erfüllung eines der in Abschnitt 6.1 betrachteten K.-o.-Kriterien durch Bewertung der Planungsvariante (i) mit 0 Punkten zum direkten Ausschluss der jeweiligen Planungsvariante. Bei der Berechnung des objektiven und subjektiven Faktors wird durch die Normierung von Zwischenergebnissen erreicht, dass – unabhängig von der Anzahl der Planungsvarianten – 100 Bewertungspunkte in Abhängigkeit des Grads der Zielerfüllung unter den Planungsvarianten verteilt werden. Es handelt sich daher um ein relatives Maß zum Vergleich verschiedener Planungsvarianten und kann nicht zur absoluten Bewertung einer einzelnen Planungsvariante eingesetzt werden.

Unter Verwendung des vom Anwender der Methodik zu bestimmenden Gewichtungsfaktors x , der die unternehmensspezifische Abwägung einer Wirtschaftlichkeitsrechnung und der Summe der nicht monetär quantifizierbaren Kriterien ausdrückt, erfolgt die Berechnung des Gesamtbewertungsfaktors m_i einer Planungsvariante.

8.2 Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Im Multi-Kriterien-Modell nach Ghandforoush wird der Aspekt der Wirtschaftlichkeit in Form des objektiven Faktors O_i ausgedrückt, dessen Berechnung nachfolgend dargestellt wird. Als Endergebnis der in Abschnitt 6.5 vorgestellten Wirtschaftlichkeitsrechnung wird auf Basis einer dynamischen Investitionsrechnung der Barwert der Projektkosten berechnet, in dem in der Zukunft liegende Zahlungsströme auf den Projektstartzeitpunkt abdiskontiert werden (vgl. [Bru-09]). Im Regelfall sollte diese Kennzahl für die Bestimmung des objektiven Faktors verwendet werden, da es sich bei dieser nach Einschätzung der Autoren um die aussagekräftigste Kennzahl handelt. Durch die Abdiskontierung zukünftiger Zahlungsströme wird die mit der Investitionsentscheidung verbundene zukünftige Kapitalbindung in sinnvoller Weise berücksichtigt. In Ausnahmefällen kann dennoch aus unternehmenspolitischen Gründen die Bewertung der Wirtschaftlichkeit rein auf der Höhe der Investitionen erfolgen oder auf Basis der Lebenszykluskosten, bei denen zukünftige Zahlungsströme ohne Abdiskontierung zu den Investitionen zu Projektbeginn addiert werden.

Abhängig von den skizzierten Überlegungen wird in der Berechnung des objektiven Faktors O_i auf Basis von Formel (8-1) als wirtschaftliche Kenngröße a_i der Barwert der Projektkosten oder eine der beiden weiteren erwähnten Kennzahlen verwendet.

$$O_i = \frac{1}{a_i * \sum_{j=1}^n \frac{1}{a_j}} \quad (8-1)$$

8.3 Bewertung nicht monetär quantifizierbarer Aspekte

Auf Basis einer Befragung von 24 Routenzug-Experten wurden fünf zentrale Oberkategorien für die Bewertung der nicht monetär quantifizierbaren Aspekte von Routenzugsystemen definiert, die in den nachfolgenden Abschnitten genauer beleuchtet werden:

- Ergonomie (siehe Abschnitt 8.3.1)
- Fahreigenschaften der Routenzuganhänger (siehe Abschnitt 8.3.2)
- Robustheit von Prozess und Technik (siehe Abschnitt 8.3.3)
- Prozess-Flexibilität (siehe Abschnitt 8.3.4)
- Flexibilität des transportierbaren Behälterspektrums (siehe Abschnitt 8.3.5)

Wie in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt, erfolgt für die fünf Oberkategorien jeweils auf Basis diverser Kriterien die Berechnung eines Punktwerts. Mit dem Ziel der Aggregation der einzelnen Punktwerte zu einem – alle nicht monetär quantifizierbaren Kriterien zusammenführenden – subjektiven Faktor S_i für jede Planungsvariante (i), ist eine Gewichtung der Oberkategorien erforderlich. In der durch die nachfolgende Formel (8-2) beschriebenen Berechnung auf Basis von [Gha-85] erfolgt darüber hinaus eine Normierung der Gewichtung (w_k) und des Punktwerts (s_{ik}) für alle Oberkategorien (k).

$$S_i = \sum_{k=1}^5 \left(\frac{w_k}{\sum_{k=1}^5 w_k} * \frac{s_{ik}}{\sum_{k=1}^5 s_{ik}} \right) \quad (8-2)$$

Die Gewichtungen (w_k) der Oberkategorien für die nicht monetäre Bewertung kann individuell vom Anwender der Bewertungsmethodik auf unternehmens- und einzelfallspezifische Anforderungen angepasst werden. Mit dem Ziel in der Methodik eine sinnvolle Voreinstellung der Gewichtungsfaktoren zu hinterlegen, wurden geeignete Werte in Zusammenarbeit mit 19 Routenzug-Experten ermittelt.

Zur Ermittlung der Gewichtungsfaktoren mit gleichzeitiger Prüfung der Konsistenz der Bewertung wurde von den Experten ein paarweiser Vergleich der Oberkategorien – basierend auf dem Analytischen Hierarchieprozess (AHP) nach Saaty – durchgeführt [Saa-90]. Für die mathematisch nicht triviale Umsetzung eines kombinierten AHP mit 19 Teilnehmern wurde ein vom BPSMSG Singapur für den Einsatzfall im Forschungsprojekt IntegRoute angepasstes Software-Werkzeug verwendet [Goe-13]. Die Ergebnisse der Untersuchung können der Formel (8-2) entnommen werden.

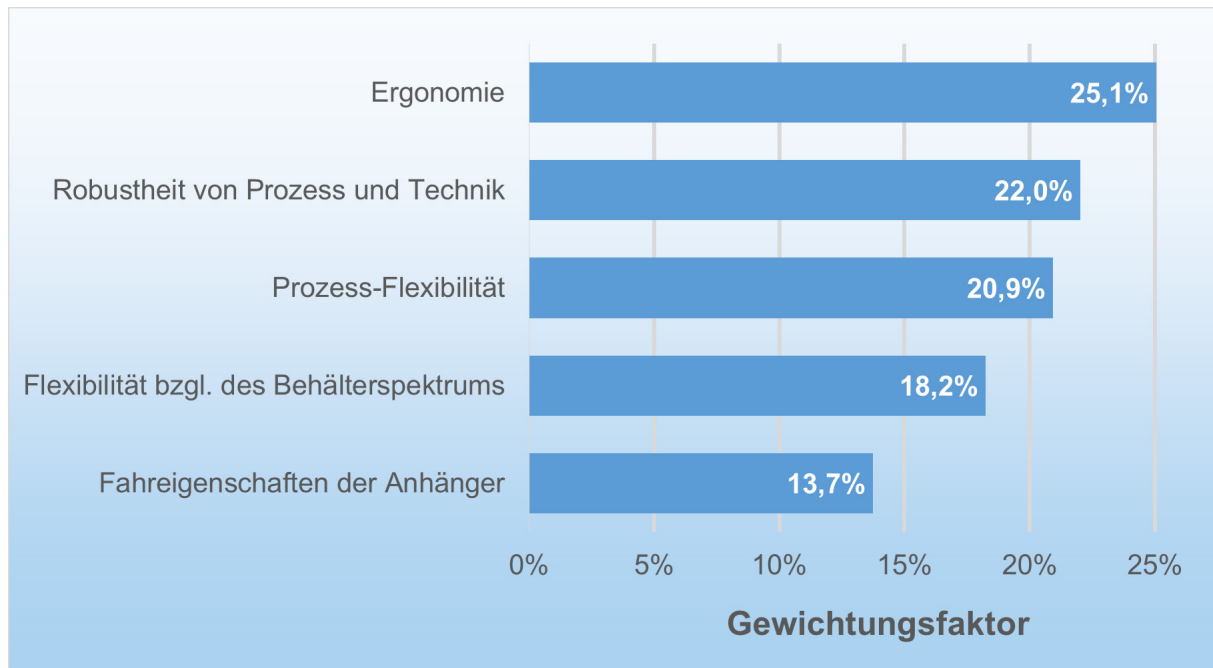


Abbildung 8-2: Gewichtung der Oberkategorien der nicht monetären Bewertung von Planungsvarianten (n=19) [Keu-16]

Die höchste Gewichtung der Oberkategorie Ergonomie deckt sich mit im Rahmen der durchgeführten Prozessaufnahmen geführten Expertengesprächen, in denen von unterschiedlichen Schwierigkeiten bezüglich der körperlichen Belastung von Routenzugfahrern berichtet wurde. Dies wird in einigen Unternehmen besonders kritisch gesehen, da aus historischen Gründen der Anteil leistungsgewandelter Mitarbeiter in der Logistik – aufgrund der bei der früheren Materialbereitstellung mit Gabelstaplern geringen körperlichen Anforderungen – überdurchschnittlich hoch ist.

Da die Punktwerte s_{ik} für die betrachteten Oberkategorien jeweils auf Basis von durchschnittlich zehn Unterkriterien gebildet werden, ist bei der Berechnung des Punktwerts ebenfalls eine methodische Unterstützung erforderlich. Die Berechnung der Punktwerte s_{ik} folgt der gleichen Logik wie die Berechnung des subjektiven Faktors und erfolgt analog der Formel (8-2). Somit ist innerhalb der Oberkategorien jeweils eine Gewichtung der einzelnen Kriterien erforderlich, die unternehmensspezifisch durchzuführen ist und im Folgenden nicht weiter thematisiert wird. Die folgenden Abschnitte widmen sich den in den Oberkategorien berücksichtigten Kriterien, deren möglichen Ausprägungen und Hinweisen zu der Berechnung.

Die Kriterien wurden im Rahmen einer Vielzahl von Expertengesprächen und in den im Forschungsprojekt durchgeführten Prozessaufnahmen aufgenommen; sie stellen eine Maximalliste von möglichen zu berücksichtigenden Kriterien dar. Im Einzelfall ist jeweils zu hinterfragen, ob das Kriterium für die gestellte Planungsaufgabe von Relevanz ist oder ob dieses aus der Betrachtung ausgeschlossen werden sollte.

8.3.1 Kriterien zur Bewertung der Ergonomie

In die Ergonomiebewertung fließen verschiedene Kriterien ein, welche den Routenzugfahrer, aber auch andere Mitarbeiter betreffen. Diese sind in Tabelle 8-1 abgebildet und werden im Nachgang genauer erläutert.

Tabelle 8-1: Bewertungskriterien der Oberkategorie „Ergonomie“

Kriterium	Einheit	Ggf. Hinweis
Initial Force beim Maximalgewicht	Newton	Definition siehe Kapitel 7
Sustained Force beim Maximalgewicht	Newton	Definition siehe Kapitel 7
Risikowert des Multiple-Lasten-Tools	[-]	„grün“: Risikowert < 25 „gelb“: 25 < Risikowert < 50 „rot“: Risikowert > 50
Fahrruhe	[-]	Definition siehe Kapitel 7
Belastungswert auf Basis von Belastungshöhe und -dauer	Newton*Stunden	
Unterstützung bei der ersten Beschleunigung beim GLT-Bereitstellvorgang	%	
Anzahl von Bück-Vorgängen des Routenzugfahrers pro Schicht	[-]	
Ergonomische Bereitstellung von Sonderbauteilen im Folgeprozess möglich	[0; 0,5; 1]	0 = nein 0,5 = abhängig von verwendetem Transporthilfsmittel 1 = ja
Keine signifikante Geräuschentwicklung vorhanden	[0; 1]	

Die Werte für die Initial und Sustained Force werden für den schwersten zu handhabenden GLT ermittelt und mit Grenzwerten auf Basis der ISO 11228-2 verglichen [ISO11228-2]. Zusätzlich erfolgt eine Bewertung der Zieh-, Schiebe- und Umsetztätigkeiten einer Schicht unter Verwendung des im Forschungsverband KoBRA (Kooperationsprogramm zu normativem Management von Belastungen und Risiken bei körperlicher Arbeit) entwickelten „Multiplen Lasten Tools“ durchgeführt [IAD-07]. Als Ergebnis wird ein Risikowert ausgegeben, dem im Rahmen der Leitmerkmalmethoden Risikobereiche zugeordnet werden können ([Bun-01], [Bun-01b]). Das Multiple-Lasten-Tool wird primär zur Bewertung von KLT-Prozessen verwendet; die Bewertung von GLT-Prozessen ist, wie in Abschnitt 7.1 vorgestellt, aufgrund einer nicht

ausreichenden Berücksichtigung unterschiedlicher technischer Ausführungen, nur eingeschränkt belastbar.

Aus den in Kapitel 7 vorgestellten experimentellen Untersuchungen zur Ergonomie in Routenzugsystemen ergaben sich zwei weitere Kennzahlen, welche in die Bewertung einfließen: die durchschnittliche Fahrruhe und ein Belastungswert. Über die Betrachtung des Maximalgewichts und den Abgleich mit den Grenzwerten der ISO 11228-2 kann ein bestimmter Belastungsfall bewertet werden, eine kombinierte Betrachtung aller Tätigkeiten während einer Schicht kann so jedoch nicht erfolgen. Daher wurde aus der Vorgangsdauer und der Sustained Force ein Belastungswert definiert. Hierfür werden die beiden Faktoren multipliziert und anschließend die Summe über alle Handhabungsvorgänge während einer Schicht gebildet. Der Belastungswert wird in der Einheit Newtonstunden angegeben. (vgl. [fml-16c])

Auch die Unterstützung des Mitarbeiters bei der ersten Beschleunigung bei der Bereitstellung von GLT ist ein Kriterium in der Ergonomiebewertung; hier erfolgt eine ja/nein-Abfrage, ob eine Form der Auswurfunterstützung vorliegt. Ebenso wird die Anzahl der Bückvorgänge des Routenzugfahrers pro Schicht bewertet, welche als numerischer Zahlenwert angegeben wird.

Als weitere Aspekte fließen die Geräusch-Mehrbelastung durch nicht ausgehobene Handschiebewagen bei Ein-/ Aufschubkonzepten sowie die ergonomische Bereitstellung von Bauteilen im Folgeprozess mit in die Bewertung ein. Auch für diese beiden Kriterien ist jeweils nur die Angabe erforderlich, ob das Kriterium erfüllt wird oder nicht. Diese beiden Aspekte betreffen nicht nur den Routenzugfahrer, sondern auch nicht direkt beteiligte Mitarbeiter bzw. die Mitarbeiter im Folgeprozess. Auch diese Auswirkungen einer Prozessentscheidung bereits in einer frühen Planungsphase zu berücksichtigen kann zu einem späteren Zeitpunkt kostenintensive Nachbesserungen verhindern.

8.3.2 Kriterien zur Bewertung der Fahreigenschaften der Routenzuganhänger

Die Oberkategorie „Fahreigenschaften der Anhänger“ betrachtet ausschließlich die Fahreigenschaften eines Routenzuganhängers, der im Schleppbetrieb verfahren wird; ein manuelles Handling des Anhängers wird in dieser Oberkategorie nicht berücksichtigt. In der Tabelle 8-2 werden die in der Oberkategorie „Fahreigenschaften der Routenzuganhänger“ berücksichtigten Kriterien gezeigt.

8 Ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten

Tabelle 8-2: Bewertungskriterien der Oberkategorie „Fahreigenschaften der Routenzuganhänger“

Kriterium	Einheit	Ggf. Hinweis
Relative Spurabweichung bei stationärer Kreisfahrt	[-]	Definition analog [Bru-13]
Relative Spurabweichung bei U-Turn	[-]	Definition analog [Bru-13]
Wendekreis (in Abhängigkeit gewählter Anhängerzahl)	Meter	
Minimale Wegbreite (Geradeausfahrt)	Meter	
Minimale Wegbreite (Kurvenfahrt U-Turn)	Meter	
Zulässige Höchstgeschwindigkeit	Kilometer pro Stunde	Minimum zul. Geschwindigkeit von Zugfahrzeug und Anhänger
Federung verfügbar	[0; 1]	0 = nein; 1 = ja
Aktives Bremssystem verfügbar	[0; 1]	0 = nein; 1 = ja

Als zentrales Element zur Beschreibung der Fahreigenschaften eines Routenzuganhängers ist in der Praxis die sogenannte „Spurtreue“ weit verbreitet. Da keine anerkannte Definition der Spurtreue existiert – und daher ein inflationärer Gebrauch der Bezeichnung „sehr gute Spurtreue“ zu verzeichnen ist – folgt die Beschreibung des Nachlaufverhaltens in der vorliegenden Arbeit einer anderen Logik. Bruns et al. definieren, um eine Quantifizierung der Spurtreue eines Routenzugs zu ermöglichen, die „relative Spurabweichung“, die auf Basis der Simulation der Lenkkinematik von Routenzuganhängern ermittelt wird [Bru-13]. Auf Basis einer lenkkinematischen Simulation des Fahrverhaltens können die „relative Spurabweichung“ und die minimal erforderliche Wegbreite für verschiedene Fahrzustände ermittelt werden. Für die Bewertung der Fahreigenschaften im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden die Fahrzustände Geradeausfahrt und „U-Turn“ – eine Kurve um 180° – verwendet. Die Simulationsergebnisse werden auf Basis der für die Planung zu definierenden optimalen Werte auf den Grad ihrer Zielerreichung hin untersucht und in normalisierte Punktwerte umgewandelt. Diese werden unter Berücksichtigung der in Abschnitt 8.3 thematisierten Gewichtungsfaktoren zu einem gemeinsamen Punktwert für die „Fahreigenschaften der Routenzuganhänger“ aggregiert.

8.3.3 Kriterien zur Bewertung der Robustheit von Prozess und Technik

Im Sinn von Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit ist es notwendig, den Routenzugprozess und die verwendete Technik auf Robustheit zu untersuchen. Tabelle 8-3 gibt einen Überblick über die betrachteten Kriterien.

8.3 Bewertung nicht monetär quantifizierbarer Aspekte

Tabelle 8-3: Bewertungskriterien der Oberkategorie „Robustheit von Prozess und Technik“

Kriterium	Einheit	Ggf. Hinweis
Robustheit der Fixierung der Transporthilfsmittel / Ladungsträger	[1; 0,5; 0]	1 = 2 redundante Vorrichtungen zur Fixierung / Fixierung ausfallsicher bzw. nicht erforderlich 0,5 = 1-fache Fixierung mit Ausfallgefahr 0 = Keine Fixierung / Fixierung durch Schwerkraft / rutschhemmende Unterlage
Signalisierung der Fixierung	[1; 0,5; 0]	1=Fixierung vom Zugfahrzeug aus zu überprüfen / Überprüfung der Fixierung nicht erforderlich 0,5= optische oder akustische Signalisierung 0=existiert nicht
Robustheit der Konstruktion bei Kollisionen im Fahrbetrieb	[1; 0,5; 0]	1 = Robuste Konstruktion macht Schäden bei Kollisionen unwahrscheinlich 0,5 = Eingeschränkte Gefahr von Beschädigungen bei Kollisionen 0 = Reale Beschädigungsgefahr von technischen Elementen
Robustheit bei falschem Handling durch Gabelstapler	[1=ja; 0=nein]	1 = Keine Gefährdung beim Handling des Anhängers durch Gabelstapler 0 = Gefährdung von z. B. Hydraulikleitungen und Anbauteilen
Robustheit der Anhängertechnik gegen unsachgemäße Bedienung im abgestellten Zustand	[1=ja; 0=nein]	1 = Kein Gefährdungspotenzial bei nicht-unterwiesenen Mitarbeitern 0 = Existierendes Sicherheitsrisiko bei Fehlbedienung durch nicht-unterwiesene Mitarbeiter
Keine Gefahr von Öl-Leckagen	[1=ja; 0=nein]	1 = kein Einsatz von Hydraulikflüssigkeiten 0 = Hydraulikflüssigkeit erforderlich
Sichere Zuordnung der Position des Ladungsträgers zum korrekten Bereitstellort	[1=ja; 0=nein]	
Sicherstellung einer ausreichend frühen Leergut-Entsorgung	[1=ja; 0=nein]	

Wie dargestellt, werden die Planungsvarianten nicht nur hinsichtlich von Schadensfällen im täglichen Gebrauch – etwa bei der Fixierung von Ladung – untersucht und bewertet, sondern auch mit Blick auf vorhersehbaren Missbrauch durch falsche Benutzung. Weiterhin wird die Stabilität des Routenzugprozesses abgebildet, indem

sowohl die Signalisierung der Ladungssicherung als auch steuerungstechnische Fragen behandelt werden.

8.3.4 Kriterien zur Bewertung der Prozess-Flexibilität

Während sich der vorangegangene Abschnitt mit der Robustheit und Stabilität der Prozesse beschäftigt, zeigt Tabelle 8-4 Kriterien zur Bewertung der Flexibilität des Prozesses. Unter Flexibilität sind hierbei Gesichtspunkte sowohl hinsichtlich der Verwendungsmöglichkeiten eines Routenzugs als auch der schnellen Adaption der Technik und des Prozesses auf Veränderungen der Umgebung erfasst.

Tabelle 8-4: Bewertungskriterien der Oberkategorie „Prozess-Flexibilität“

Kriterium	Einheit	Ggf. Hinweis
Beladung mit Gabelstapler möglich	[1; 0]	[1=ja; 0=nein]
Beladung von einer Rollenbahn möglich	[1; 0,5; 0]	0 = nein; 1 = ja; 0,5 = mit geeigneten Transporthilfsmitteln / Umbauten
Aufwandsarme Veränderung von GLT-Bereitstellorten möglich (Keine Infrastruktur)	[1; 0]	[1=ja; 0=nein]
GLT-Entladung zu beiden Seiten des Anhängers möglich	[1; 0,5; 0]	0 = nein; 1 = ja; 0,5 = Beladung definiert Entladeseite
Falls Hubfunktion vorhanden: Separate Ansteuerung der Anhänger möglich	[1; 0]	[1=ja; 0=nein]
Falls Hubfunktion vorhanden: Betätigung der Hubfunktion per Fernbedienung möglich	[1; 0,5; 0]	1 = Ansteuerung per Fernbedienung möglich / nicht erforderlich 0,5 = Ansteuerung per Fernbedienung prinzipiell technisch realisierbar 0 = Keine Ansteuerung per Fernbedienung möglich
Automatisierungsoption für die Übergabe bei der Bereitstellung vorhanden	[1; 0]	[1=ja; 0=nein]
Schnelle Veränderung von Anbauteilen für ergonomische Materialbereitstellung möglich	[1; 0]	[1=ja; 0=nein]
Fahrten in Außenbereichen möglich	[1; 0]	[1=ja; 0=nein]
Rückwärtiges Einfahren in Sackgassen mit engen Fahrstraßen möglich	[1; 0]	[1=ja; 0=nein]
Kombination unterschiedlicher Anhängergrößen möglich	[1; 0]	[1=ja; 0=nein]
Mischversorgung von GLT und Einzel-KLT möglich	[1; 0]	[1=ja; 0=nein]
Bereitstellung von GLT an nicht direkt am Fahrweg liegenden Bereitstellorten möglich	[1; 0]	[1=ja; 0=nein]

In diesem Zusammenhang werden neben technischen Eigenschaften der Anhänger hinsichtlich der Beladung und der Bereitstellung explizit auch Fragen nach der Flexibilität der Technik bezüglich verschiedener Anbauteile geklärt. Außerdem werden unterschiedliche Fahrmanöver und Wege auf Durchführbarkeit und weitere individualisierte Verwendungsmöglichkeiten hin untersucht.

8.3.5 Kriterien zur Bewertung der Flexibilität des transportierbaren Behälterspektrums

Da bei dem Betrieb eines Routenzugsystems die Technik nicht nur auf Veränderungen hinsichtlich der Umgebungsparameter flexibel sein sollte, sondern auch die Ladung bzw. die Ladungsträger eine gewisse Volatilität aufweisen, soll die Technik eines Routenzugs auch auf diese Herausforderungen reagieren können. Aus diesem Grund werden einige beispielhafte Behältergrößen und Bauformen hinsichtlich deren Verfahrbarkeit untersucht. Die verschiedenen Behälter sind in Tabelle 8-5 erfasst.

Tabelle 8-5: Bewertungskriterien der Oberkategorie „Flexibilität des transportierbaren Behälterspektrums“

Kriterium	Einheit	Ggf. Hinweis
GLT mit 600 kg fahrbar oder Anhängervariante für GLT bis 600 kg vorhanden	[1=ja; 0=nein]	
GLT mit 800 kg fahrbar oder Anhängervariante für GLT bis 800 kg vorhanden	[1=ja; 0=nein]	
GLT mit 1000 kg fahrbar oder Anhängervariante für GLT bis 1000 kg vorhanden	[1=ja; 0=nein]	
GLT mit 1500 kg fahrbar oder Anhängervariante für GLT bis 1500 kg vorhanden	[1=ja; 0=nein]	
Transportierbarkeit von GLT 800x600	[1=ja; 0=nein]	
Transportierbarkeit von GLT 1200x800	[1=ja; 0=nein]	
Transportierbarkeit von GLT 1200x1000	[1=ja; 0=nein]	
Transportierbarkeit von GLT 1600x1200	[1=ja; 0=nein]	
Anhängervariante für GLT 1800x1400 vorhanden	[1=ja; 0=nein]	
Anhängervariante für GLT 2400x1200 vorhanden	[1=ja; 0=nein]	
Anhängervariante für GLT 3000x1200 vorhanden	[1=ja; 0=nein]	
Anhängervariante für GLT 3600x1200 vorhanden	[1=ja; 0=nein]	
Transportierbarkeit von KLT 200x150	[1=ja; 0=nein]	
Transportierbarkeit von KLT 300x200	[1=ja; 0=nein]	
Transportierbarkeit von KLT 400x300	[1=ja; 0=nein]	

Transportierbarkeit von KLT 600x400	[1=ja; 0=nein]	
Geeignet für den Transport von Wagen aus Rohrstecksystemen	[1=ja; 0=nein]	z. B. KLT-Regale
Geeignet für den Transport von GLT-Behältern mit Einstieg	[1=ja; 0=nein]	Ergonomisches Entnehmen bei hoher Breite

8.4 Ergebnis

Im vorliegenden Kapitel wurde eine Bewertungsmethodik zur ganzheitlichen Bewertung von Routenzugsystemen entwickelt. Diese ermöglicht den systematischen Vergleich von unterschiedlichen im Rahmen der Vorgehensmethodik gebildeten und dimensionierten Planungsvarianten. Da ein gleichzeitiges Erfassen aller im Zug der Dimensionierung ermittelten sowie der nicht monetär quantifizierbaren Kennzahlen vom Anwender nicht geleistet werden kann, werden die Kennzahlen unter Verwendung einer unterstützenden Bewertungsmethodik in verschiedenen Aggregationschritten miteinander verknüpft.

Die Bewertungsmethodik ermöglicht dadurch die Gegenüberstellung von Planungsvarianten in verschiedenen Detailebenen. Auf der höchsten Aggregationsebene wird die Bewertung zu einem Gesamtbewertungsfaktor verdichtet, der bei einer hohen Anzahl von Planungsvarianten zur Vorselektion von durch den Planer zu vergleichenden Varianten genutzt werden kann.

9 Umsetzung der Vorgehensmethodik in einem Software-Demonstrator

Die in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellte Vorgehensmethodik zur Planung von Routenzugsystemen erfordert die detaillierte Bearbeitung unterschiedlicher Themenfelder. Insbesondere bei der Dimensionierung und Bewertung von vom Nutzer gebildeten Planungsvarianten sind umfangreiche Berechnungen erforderlich, die für mehrere zu evaluierende Planungsvarianten mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden sein können. Daher wurde die Vorgehensmethodik mit dem Ziel einer zeiteffizienten Anwendung in einem softwarebasierten Demonstrator umgesetzt (siehe Abbildung 9-1).

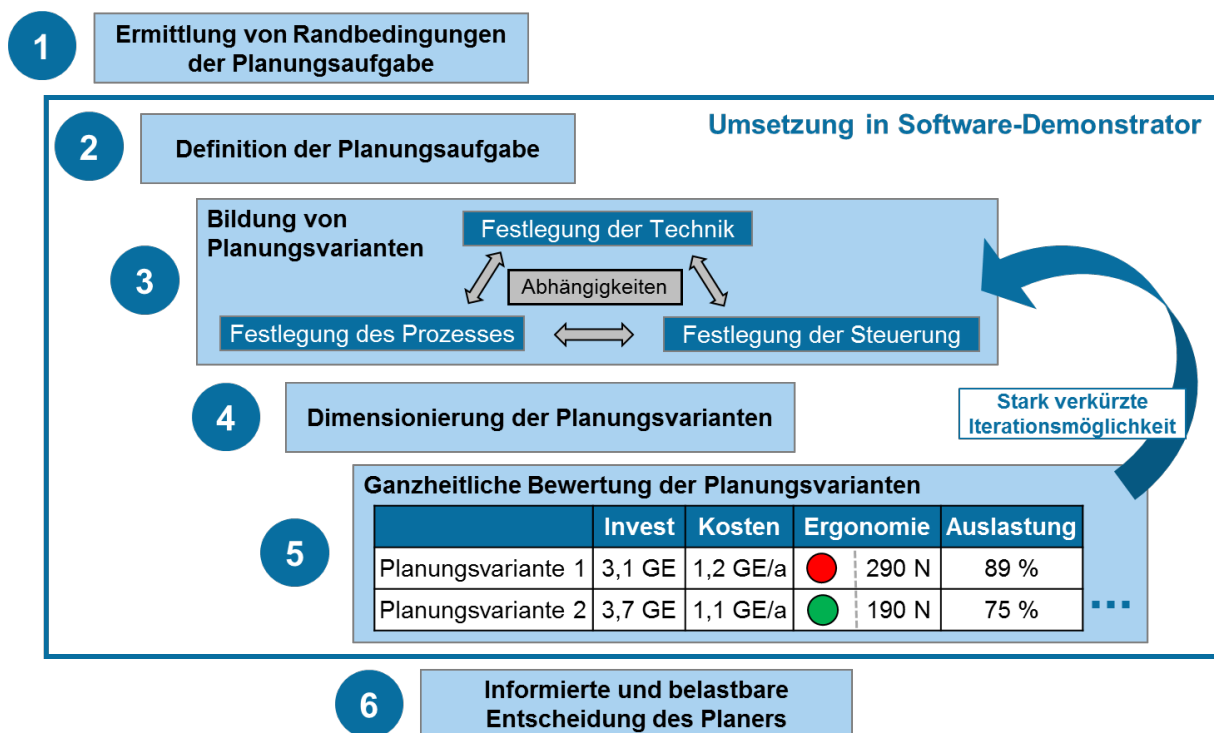


Abbildung 9-1: Umsetzung der Vorgehensmethodik in einem Software-Demonstrator [Keu-16c]

Neben der Reduktion des Zeitaufwands für einen einmaligen Durchlauf der Vorgehensmethodik schafft der Software-Demonstrator die Möglichkeit sehr kurzer Iterationszyklen. Durch diese können systematisch die Auswirkungen von minimalen Veränderungen der Planungsvarianten sichtbar gemacht werden. Der Logistikplaner wird damit befähigt, mit geringem Zeitaufwand neue Ideen zu prüfen und gegebenenfalls wieder zu verwerfen. In der Konsequenz kann die Auswahlentscheidung des Logistikplaners auf einer deutlich fundierteren Datenbasis getroffen und die Planungsqualität gesteigert werden. Der folgende Abschnitt 9.1 beschreibt die

Grundstruktur des Demonstrators und gibt in Abbildung 9-2 einen Überblick über die weiteren Abschnitte des vorliegenden Kapitels.

9.1 Grundstruktur des Software-Demonstrators

Die Umsetzung des Software-Demonstrators erfolgte auf Basis des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft Excel. Das Programm wurde gewählt, da es aufgrund des hohen Verbreitungsgrads aufwandsarm möglich war, die im Projekt beteiligten Industriepartner in die Evaluation des Demonstrators zu involvieren. Weiterhin führt die hohe Akzeptanz von Microsoft Excel dazu, dass der Demonstrator, als eines der zentralen Projektergebnisse, nach Abschluss des Forschungsprojekts von einer Vielzahl von Unternehmen eingesetzt werden kann und keine Hemmschwellen bezüglich eines gegebenenfalls unbekanntes Softwarepakets existieren.

Während zentrale Berechnungselemente in der Programmiersprache „Visual Basic for Applications“ (VBA) umgesetzt worden sind, bewegt sich der Nutzer des Demonstrators ausschließlich in normalen Tabellenblättern und gerät nicht in direkten Kontakt mit den programmierten Elementen. Die Navigation durch die diversen Funktionen des Demonstrators erfolgt ausschließlich über ein spezielles Menüband, welches in Abbildung 9-2 dargestellt ist. Der Aufbau orientiert sich dabei an der entwickelten Vorgehensmethodik: Der Nutzer kann von links nach rechts entlang des Planungsprozesses die Teilelemente der Vorgehensmethodik bearbeiten. Die Funktionen, welche sich hinter den in der Abbildung dargestellten Menüpunkten verbergen, werden in den folgenden Abschnitten genauer betrachtet.



Abbildung 9-2: Abschnittsübersicht auf Basis des Menübands des Software-Demonstrators

9.2 Nutzer-Eingaben zur Definition der Planungsaufgabe

Im Bereich Nutzer-Eingaben können mit den dort hinterlegten Funktionen und Oberflächen die Spezifika der zu behandelnden Planungsaufgabe abgebildet werden. Eine intuitive und benutzerfreundliche Oberfläche sowie hilfreiche Zusatzfunktionen sollen dem Anwender die Eingabe erleichtern. Der dazugehörige Bereich im Menüband unterteilt den Eingabebereich in Unterkategorien, um gezielte Parameter einzelner Bereiche ändern zu können. Dabei werden die in Kapitel 4 herausgearbeiteten Kriterien berücksichtigt (siehe Abbildung 9-3).



Abbildung 9-3: Bereich „Nutzer-Eingaben“ des Menübands

Durch einen Klick auf die Schaltfläche Materialfluss öffnet sich ein Eingabefenster, in welchem der Anwender die für ein bestimmtes Planungsszenario wesentlichen Parameter auswählen kann. Neben der Auswahl von Belade- und Bereitstell-Einheit erfolgt die Eingabe der Durchsatzanforderung an das zu gestaltende System.

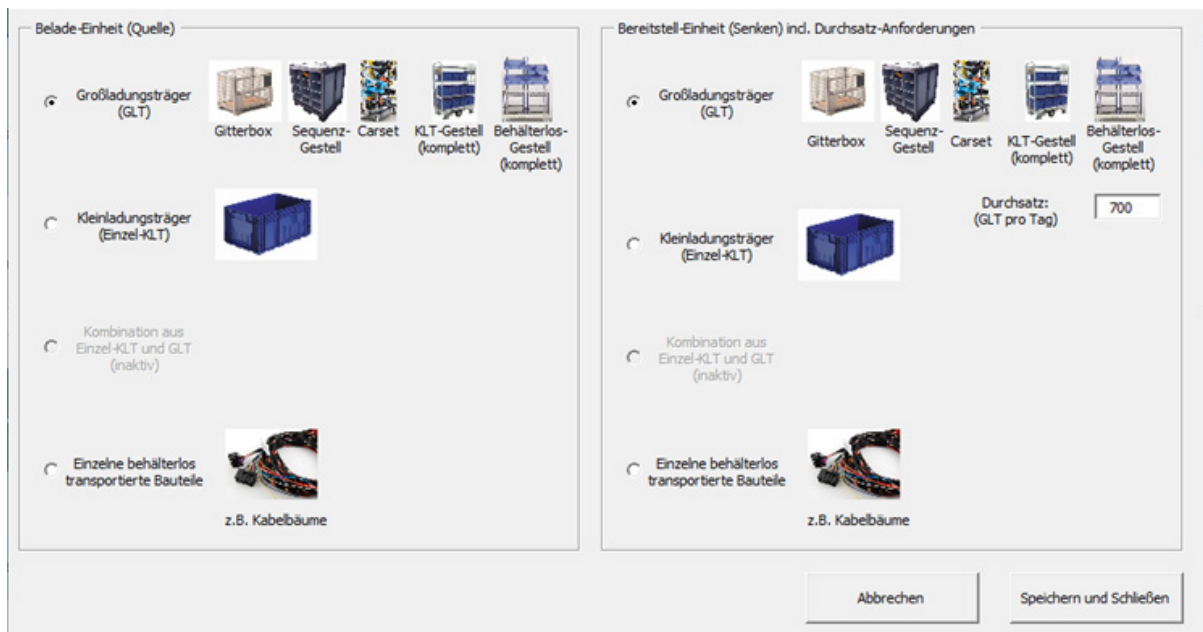


Abbildung 9-4: Eingabemaske für die Materialflussanforderungen

In den weiteren Kategorien im Bereich Nutzer-Eingaben werden der Light- und der Detail-Modus unterschieden (siehe Abbildung 9-5). Im Light-Modus hat der Nutzer Zugriff auf die entscheidenden 30 Parameter für einen schnellen Einstieg in die

9 Umsetzung der Vorgehensmethodik in einem Software-Demonstrator

Planung; der Detail-Modus geht deutlich tiefer und ermöglicht die Veränderung von 266 Parametern.



Abbildung 9-5: Auswahlmöglichkeit für Light- oder Detail-Modus

Nachfolgend werden am Beispiel der Oberfläche zur Eingabe der Randbedingungen im Light-Modus (Abbildung 9-6) die Gestaltung der Eingabemasken erläutert.

The screenshot displays an input mask for boundary conditions in Light-Modus, organized into two sections: 'Unternehmensvorgaben' and 'Wirtschaftlichkeit'. Each parameter has an information icon, a text label, a numerical input field, and a unit. On the right side, there are several action buttons.

Section	Parameter	Value	Unit
Unternehmensvorgaben	Effektive Arbeitszeit pro Tag:	1260	[min/Tag]
	Zugelassene Höchstgeschwindigkeit innerhalb geschlossener Hallen:	8	[km/h]
Wirtschaftlichkeit	Kalkulatorischer Kapitalkostensatz:	10	[%]
	Projektlaufzeit:	7	[Jahre]
	Kalkulatorischer Stundensatz Routenzugfahrer:	42	[€ / h]
	Kostensatz für Investitionen für Flächen an der Quelle (Bahnhof):	1000	[€ / m ²]
	Kostensatz für Investitionen für Fahrwegflächen, an denen keine GLT-Bereitstellung stattfindet:	1000	[€ / m ²]
	Kostensatz für Investitionen für Fahrwegflächen, an denen GLT-Bereitstellung stattfindet:	1000	[€ / m ²]
	Kostensatz für Investitionen für Bereitstellflächen an den Verbrauchsorten:	1000	[€ / m ²]

Buttons on the right: Presetwerte anzeigen, Standardwerte wiederherstellen, Geschwindigkeit in [m/s] anzeigen, Abbrechen, Übernehmen, Speichern und Schließen.

Abbildung 9-6: Eingabemaske für Randbedingungen im Light-Modus

Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit werden einzelne Parameter durch Rahmen zu einem Themenblock zusammengefasst. Über einen Klick auf die blaue Info-Schaltfläche werden weitere Informationen zum jeweiligen Parameter zur Verfügung gestellt; dies erfolgt als Kurztext, PDF-Dokument oder Grafik. Zur Eingabe der

Informationen werden im vorliegenden Fall die weißen Eingabefelder verwendet; in anderen Eingabemasken kommen zusätzlich Auswahl-Boxen zum Anklicken zum Einsatz.

In der rechten Spalte sind Schaltflächen mit Funktionen hinterlegt. Über einen Klick auf die Schaltfläche „Presetwerte anzeigen“, werden statt der Einheiten die Zahlenwerte der Voreinstellung angezeigt, die auf Durchschnittswerten von Prozessaufnahmen beruhen. Ein weiterer Klick auf die Schaltfläche, welche dann die Beschriftung „Einheiten anzeigen“ trägt, stellt wieder den Ausgangszustand her. Die weiteren Funktionen werden in Tabelle 9-1 näher erläutert.

Tabelle 9-1: Funktionen in der Nutzereingabe

Funktion	Erläuterung
Standardwerte wiederherstellen	Setzt alle getätigten Eingaben auf die Standardwerte zurück
Geschwindigkeit in [Einheit] umschalten	Ermöglicht die Wahl der Eingabe der Geschwindigkeit in m/s oder km/h. Die zugehörigen Felder und Werte werden in der gewählten Einheit angezeigt
Abbrechen	Schließt die aktuelle Nutzereingabe; alle nicht gespeicherten Eingaben gehen verloren
Übernehmen	Speichert die seit dem letzten Speichern getätigten Eingaben
Speichern und Schließen	Besitzt dieselbe Funktionalität wie „Übernehmen“, schließt aber nach dem Speichern die aktuelle Nutzereingabe automatisch

Zusätzlich erfolgt im Hintergrund bei jeder Eingabe eine Überprüfung der eingegebenen Werte. Bei dieser Formatprüfung werden folgende Fehleingaben unterschieden

- Ungültige Zeichen (Sonderzeichen, Buchstaben etc.)
- Negative Werte nicht sinnvoll
- Prozentwerte > 100 bzw. Punktwert (0-10 Pkt.) > 10 nicht sinnvoll
- Keine Eingabe

Tritt eine Fehleingabe auf, wird der Nutzer über eine Fehlermeldung darauf hingewiesen und das betroffene Feld wird farblich markiert. Wird die Fehleingabe vor dem Speichern nicht korrigiert, wird das Feld auf den Standardwert zurückgesetzt.

Die Grundstruktur des Detail-Modus ähnelt dem Light-Modus. Als einziger wesentlicher Unterschied werden zusätzlich Registerkarten eingesetzt, um den größeren Umfang an Eingabewerten zu strukturieren. Auf eine separate Darstellung des Detail-Modus wird daher verzichtet.

9.3 Pflege von Stammdaten

Die Güte der unter Verwendung des Software-Demonstrators zu erzielenden Planungsergebnisse hängt entscheidend von den hinterlegten Stammdaten der technischen Systemelemente ab. Da beispielsweise die Preise für technische Systemelemente durch Rahmenverträge eines Unternehmens stark von den marktüblichen Preisen abweichen können, besteht die Möglichkeit, die hinterlegten Stammdaten zu verändern. Zu diesem Zweck können über das in Abbildung 9-7 gezeigte Auswahl-Menü die Stammdaten-Tabellenblätter verschiedener Systemelemente aufgerufen werden.

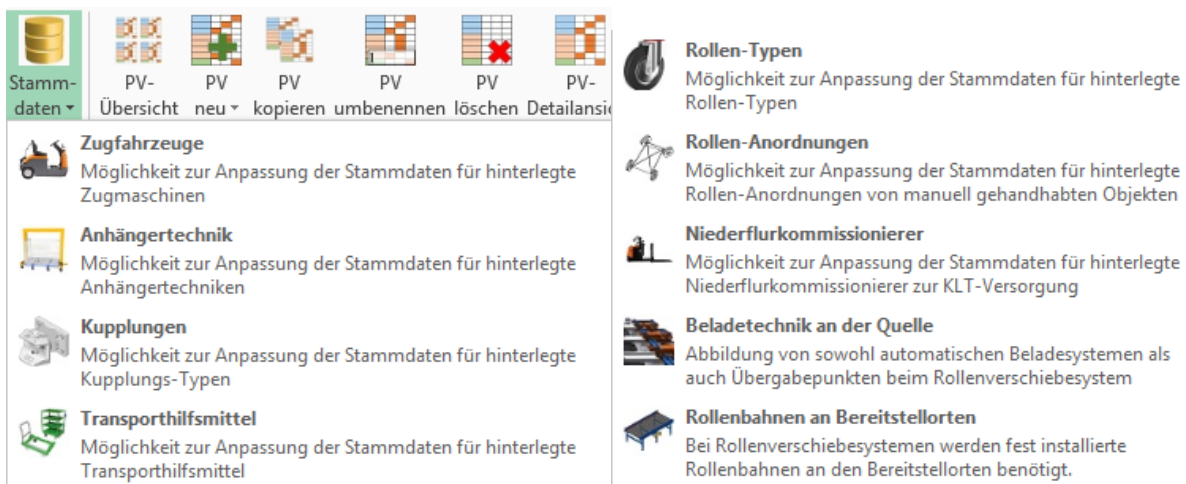


Abbildung 9-7: Auswahl-Menü für die Anpassung von Stammdaten von Systemelementen

Die Tabellenblätter beinhalten alle in den Berechnungen verwendeten Stammdaten in unterschiedlichsten Oberkategorien wie den Abmessungen, den Gewichten oder der Wirtschaftlichkeit. Durch die Möglichkeit der stetigen Aktualisierung der Stammdaten ist somit die Grundlage für eine langfristige Nutzbarkeit des entwickelten Software-Demonstrators gelegt.

9.4 Umsetzung der Bildung von Planungsvarianten

Um den Einstieg in eine Planung zu erleichtern, sind verschiedene Beispielsysteme im Demonstrator hinterlegt, die als Ausgangspunkt für die Planung verwendet werden können. Auf diese Weise ist es nicht erforderlich, für alle betrachteten Kriterien eine Auswahl zu treffen, da bereits eine Voreinstellung vorhanden ist. In Abbildung 9-8 ist die Planungsvarianten-Übersicht dargestellt, in der alle gebildeten Varianten einander gegenübergestellt werden.

9.4 Umsetzung der Bildung von Planungsvarianten

☐ Einblendung von Details		Planungsvariante 1	Planungsvariante 2	Planungsvariante 3
PV-Name:		E-Frame: THM einschieben	Trailer: Einzelne Anhänger ankuppeln	Rollenverschiebe-System Schlepper Umkuppeln
Technik	Routenzugtechnik - Oberkategorie	Ein-/Aufschubkonzept	Transportwagen	Rollenverschiebe-System
	Routenzugtechnik - Technikauswahl	E-Frame hydraulisch 1200x800	Trailer 1200x800	Rollenverschiebe-System Verschiebe-Deichsel 1200x800
	Anordnung von Rollen bei manuellem Handling	4 Lenkrollen	2 Lenkrollen 2 Bockrollen (längs)	Nicht relevant für gewählte Technik-Oberkategorie
	Rollentyp bei manuellem Handling (Rollenmaterial und Lagerung des Lenkgehäuses)	Material: Polyurethan 75 Shore Lager: Kugellager	Material: Vollgummi Lager: Kugellager	Nicht relevant für gewählte Technik-Oberkategorie
	Anzahl von Routenzuganhängern	4	4	4
Prozess	Beladungsprozess - Eigenbeladung durch den Routenzugfahrer	Routenzugfahrer schiebt Anhänger / Transporthilfsmittel aus Pufferfläche	Routenzugfahrer schiebt Anhänger / Transporthilfsmittel aus Pufferfläche	Keine Eigenbeladung
	Beladungsprozess - Fremdbeladung durch Gabelstaplerfahrer an der Quelle	Keine Fremdbeladung	Keine Fremdbeladung	Ankuppeln eines vorbeladenen Anhängerverbands
Steuerung	Belastung	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p>Schnell-Auswahl von Gestaltungs-Alternativen</p> <p>Bitte gewünschte Option auswählen:</p> <p> <input type="radio"/> Keine Fremdbeladung <input checked="" type="radio"/> Ankuppeln eines vorbeladenen Anhängerverbands <input type="radio"/> Umsteigen auf vorbeladenen Routenzug <input type="radio"/> Warten auf Beladung durch Logistikmitarbeiter mit Gabelstapler <input type="radio"/> Sonderprozess NFK: 1:1-Tausch von leeren und vollen KLT-THM über Gabelzinken des NFK </p> <p style="text-align: right;">Abbrechen</p> </div>		
	Ansicht			
Behälter	Nachsteuerung			
Steuerung	Steuerung			

Abbildung 9-8: Planungsvarianten-Übersicht mit Auswahl-Fenster für schnelle Anpassungen

Durch einen Mausklick auf ein Kriterium öffnet sich ein Auswahlfenster, in dem andere wählbare Ausprägungen des betrachteten Kriteriums angezeigt werden. Die intuitive Bedienbarkeit ermöglicht eine zeiteffiziente Bildung und Anpassung von Planungsvarianten. Über den in Abbildung 9-8 sichtbaren Button „Einblendung von Details“ kann die Planungsvarianten-Übersicht erweitert werden und die Variantenbildung in allen 23 abgebildeten Kategorien erfolgen.

Bereitstell-Einheit	Bereitstellung von GLT (und/oder KLT-Gestellen)	Bereitstellung von Einzel-KLT	Kombinierte Bereitstellung von GLT und Einzel-KLT	Behälterlose Bereitstellung einzelner Bauteile (Beta)
[Detail] Zugfahrzeug	Zugfahrzeug (1 t)	Zugfahrzeug (3 t)	Zugfahrzeug (5 t)	Zugfahrzeug (8 t)
Routenzugtechnik - Oberkategorie	Transportwagen	Ein-/Aufschubkonzept	Rollenverschiebe-System	Niederflurkommissionierer
Routenzugtechnik - Technikauswahl	E-Frame hydraulisch 1200x800			
[Detail] Kupplungstyp	Keine Kupplung erforderlich (Niederflurkommissionierer)	Automatik-Kupplung	Federgesicherte Zugöse	Zugöse mit manuellem Zugmaul
[Detail] Art des Transporthilfsmittels	Kein Transporthilfsmittel erforderlich	Transporthilfsmittel für GLT (Aufstandspunkte an Ecken)	Transporthilfsmittel für GLT (Komplette Transportfläche)	Transporthilfsmittel für KLT / Behälterlos
Anordnung von Rollen bei manuellem Handling	4 Lenkrollen			
[Detail] Dimensionen KLT-Transporthilfsmittel	Kein Transporthilfsmittel für KLT / Behälterlos	Länge 1200mm 3 Beladeebenen	Länge 1200mm 4 Beladeebenen	Länge 1600mm 3 Beladeebenen
[Detail] Rollenverschiebe-System: Infrastruktur an den Bereitstellorten	Kein Rollenverschiebe-System ausgewählt.	Nutzung von I-Gebinden	Nutzung von U-Gebinden direktes Anfahren	Nutzung von U-Gebinden mittiges Anfahren
Rollentyp bei manuellem Handling (Rollenmaterial und Lagerung des Lenkgehäuses)	Material: Polyurethan 75 Shore Lager: Kugellager			
Anzahl von Routenzuganhängern	1	2	3	4

Abbildung 9-9: Ausschnitt aus der Detailansicht für Planungsvarianten

In der in Abbildung 9-9 gezeigten Planungsvarianten-Detailansicht wird auf Basis einer vollständigen Darstellung des Prozessbaukastens eine einzelne Planungsvariante als orange markierter Pfad durch den Prozessbaukasten visualisiert.

Neben der gewählten Ausprägung (orange) sind in der jeweiligen Zeile die weiteren Ausprägungsmöglichkeiten des Entscheidungskriteriums abgebildet. Die Veränderung der Auswahl ist intuitiv durch einen Mausklick auf ein anderes Feld der entsprechenden Zeile möglich. Grau hinterlegte Felder stellen einen Widerspruch zu Randbedingungen der Planungsvariante dar oder ergeben sich aus inkompatiblen Kombinationen innerhalb oder zwischen den Planungsdimensionen Technik, Prozess und Steuerung (siehe Abschnitt 5.3). Wird die Maus auf ein ausgegrautes Feld bewegt, erscheint ein Kommentarfeld mit der Erklärung, wieso diese Ausprägung nicht ausgewählt werden kann. Wird ein ausgegrautes Feld dennoch ausgewählt, so färben sich das Feld bzw. alle im Konflikt stehenden Felder rot, um auf diese Fehler aufmerksam zu machen. Liegen keine rot markierten Konflikt-Fälle vor, kann die Planungsvariante gespeichert und im nächsten Schritt vollautomatisch vom Demonstrator dimensioniert und bewertet werden.

9.5 Ergebnisdarstellung in unterschiedlichen Detail-Ebenen

Kennzahlen-Cockpit (Details durch Mausklick auf das Kriterium)		Planungsvariante 1	Planungsvariante 2	Planungsvariante 3
		E-Frame: THM einschieben	Trailer: Einzelne Anhänger ankuppeln	Rollenverschiebe-System Schlepper umkuppeln
Ganzheitliche Bewertung	Technisch realisierbar (Erfüllung K.-o.-Kriterien)	✓	✓	✓
	Ganzheitlicher Bewertungsfaktor (Endergebnis)	● 34,1	● 33,6	○ 32,3
	Gesamtkosten des Versorgungskonzepts	● 9.595.750 €	○ 10.502.097 €	● 9.339.461 €
	Punktwert der nicht-monetären Bewertung	● 34,1	● 37,5	○ 28,4
Wirtschaftlichkeit	Investitionen für Routenzug-Technik	392.136 €	454.309 €	389.385 €
	Investitionen für Infrastruktur (Quellen/Senken)	0 €	0 €	1.050.000 €
	Investitionen für Flächenbedarf der Quelle	161.540 €	186.406 €	343.242 €
	Summe Investitionen	● 687.926 €	● 766.575 €	○ 1.908.767 €
	Personalkosten Routenzugfahrer [€/Jahr]	● 1.058.627 €	○ 1.173.336 €	● 806.132 €
	Personalkosten Gabelstaplerfahrer [€/Jahr]	744.282 €	697.764 €	699.324 €
Nicht-monetäre Bewertung	Prozess-Flexibilität [0 - 100]	69	77	40
	Flexibilität des Behälterspektrums [0 - 100]	37	44	31
	[Detail] Ergonomie - Initialkraft [Newton]	● 391	● 362	● 162
	Ergonomie [0 - 100]	● 40	○ 28	● 57
	Fahreigenschaften der Anhänger [0 - 100]	86	74	64
	Robustheit von Prozess und Technik [0 - 100]	61	100	30
im-Kennzahlen	Zykluszeit [min]	13,7484	16,2540	11,1672
	Berechnung der Anzahl Routenzugfahrer	5,5	6,0	4,2
	Anzahl Anhänger	21,8	648,4	33,2
	Anzahl Transporthilfsmittel	643,6	0,0	633,2

Abbildung 9-10: Darstellung der zentralen Planungsergebnisse im Kennzahlen-Cockpit

9.5 Ergebnisdarstellung in unterschiedlichen Detail-Ebenen

Nach Durchführung eines automatisierten Berechnungslaufs kann die Ergebnisdarstellung von Dimensionierung und Bewertung der Planungsvarianten in dem in Abbildung 9-10 dargestellten Kennzahlen-Cockpit erfolgen.

Im Cockpit werden die wichtigsten Kennzahlen einer oder mehrerer Planungsvarianten zusammengetragen und nach ihrer Thematik aufgeschlüsselt dargestellt. Neben einer Betrachtung der wirtschaftlichen Kennzahlen werden die Oberkategorien der nicht-monetären Bewertung sowie zentrale Teilergebnisse der Dimensionierung dargestellt. Die Kennzahlen werden in einem weiteren Schritt unter Verwendung der in Kapitel 8 vorgestellten Methodik zur ganzheitlichen Bewertung von Planungsvarianten weiter aggregiert. Auf Basis des im letzten Aggregationsschritt bestimmten „ganzheitlichen Bewertungsfaktors“ kann – insbesondere bei dem Vergleich einer großen Zahl von Planungsvarianten – eine Vorselektion von Varianten erfolgen. Die finale Auswahlentscheidung sollte nach Einschätzung der Autoren jedoch unter Einbeziehung der weiteren Kennzahlen erfolgen. Über die Betrachtung der zentralen Kennzahlen im Kennzahlen-Cockpit hinaus können die Planungsergebnisse deutlich detaillierter in unterschiedlicher Art und Weise dargestellt werden. Nachfolgend wird exemplarisch das Kriterium der Wirtschaftlichkeit in Abbildung 9-11 näher beleuchtet.

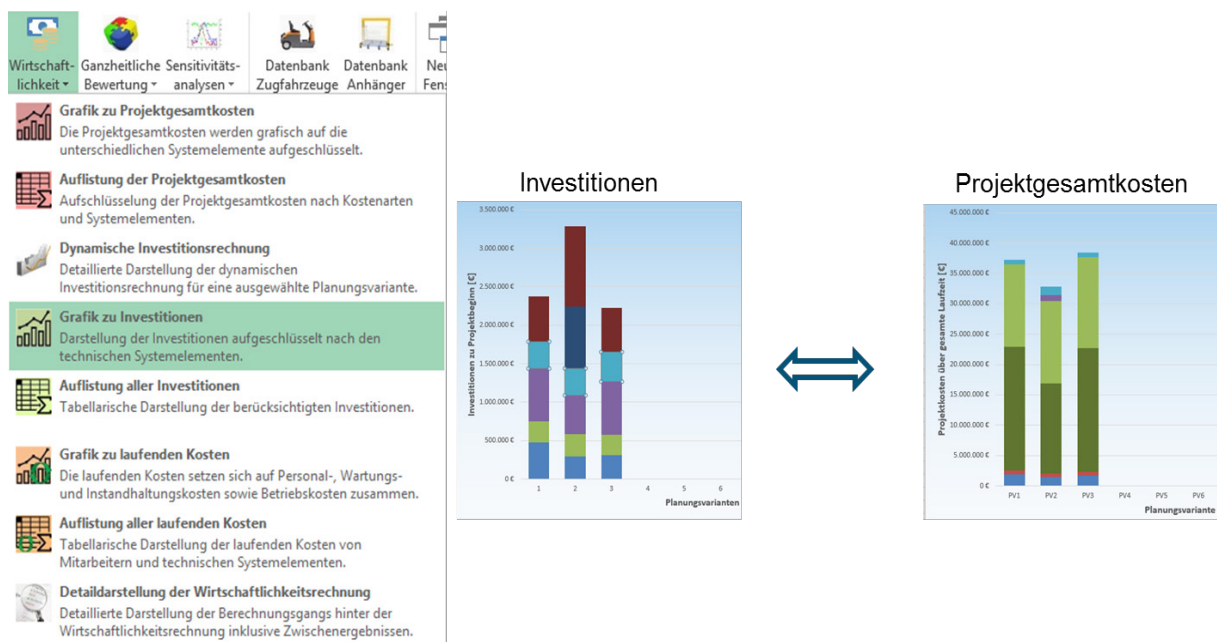


Abbildung 9-11: *Detaildarstellung der Planungsergebnisse zur Wirtschaftlichkeit*

Neben Auflistungen aller berücksichtigter Investitionen oder laufenden Kosten und der Detaildarstellung der einzelnen Berechnungsschritte analog Abschnitt 6.5 können unterschiedliche grafische Auswertungen erfolgen. Diese ermöglichen beispielsweise einen schnellen Überblick über das Verhältnis von Investitionen zu laufenden Kosten, welches im Regelfall deutlich durch die laufenden Kosten dominiert wird.

9.6 Durchführung von Sensitivitätsanalysen

Da insbesondere in frühen Planungsphasen die verwendeten Plandaten gewissen Unsicherheiten unterworfen sind, ist es angeraten, die zentralen Parameter hinsichtlich ihres Effekts auf die Auswahlentscheidung zu untersuchen. Durch im Software-Demonstrator realisierte Sensitivitätsanalysen ist es möglich, die Planungsergebnisse auf ihre Robustheit hinsichtlich zentraler Parameter wie Materialdurchsatz, Routenlänge oder Projektlaufzeit zu untersuchen. Exemplarisch zeigt Abbildung 9-12 eine Sensitivitätsanalyse bezüglich des kalkulatorischen Personalkostensatzes. Die Auswertung zeigt in dem betrachteten Szenario, dass die aktuell bevorzugte Planungsvariante bei einem Sinken des kalkulatorischen Personalkostensatzes von 42 auf 35 € pro Stunde nicht mehr die wirtschaftlich vorteilhafteste Variante ist.

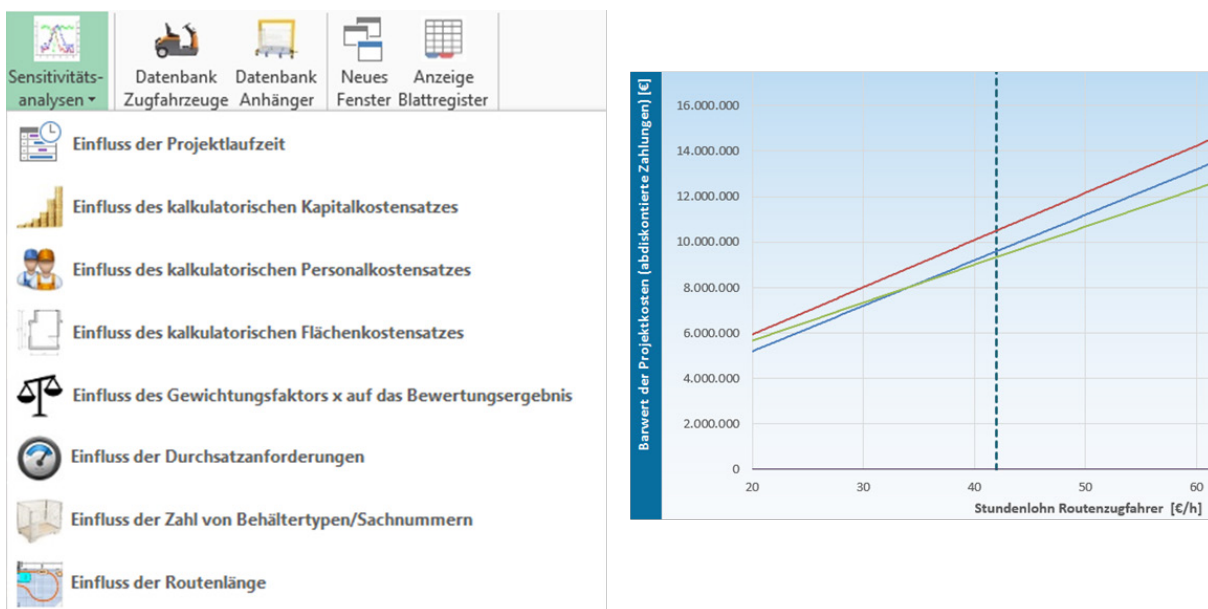


Abbildung 9-12: Sensitivitätsanalyse bezüglich des kalkulatorischen Personalkostensatzes

Durch dieses Vorgehen können die Plandaten identifiziert werden, die einen ausgeprägten Einfluss auf die Auswahlentscheidung haben und auf deren korrekte Bestimmung daher besonderer Wert gelegt werden sollte.

9.7 Marktüberblick Routenzugtechnik

In den vorangegangenen Planungsschritten wurden für die individuellen Anforderungen der Planungsaufgabe auf Basis einer herstellerneutralen Betrachtung eine oder mehrere geeignete Routenzugtechniken ermittelt. Zur Beschaffung eines Routenzugs ist es darüberhinaus notwendig, die ausgewählten Routenzugtechniken sowie eventuell zusätzliche Anforderungen mit realen am Markt verfügbaren Fahrzeugen

abzugleichen. Um den Logistikplaner in diesem Planungsschritt zu unterstützen, wurde im Rahmen des Forschungsprojekts IntegRoute ein herstellerspezifischer Marktüberblick für Routenzugtechniken realisiert. Die Inhalte des vorliegenden Abschnitts wurden im Rahmen der Bachelor's Thesis von Herrn Philipp Wuddi mit dem Titel „Aufbau einer herstellerspezifischen Datenbank zur Unterstützung der Technikauswahl im Rahmen der Planung von Routenzug-Systemen“ erarbeitet [fml-16].

In Zusammenarbeit mit Herstellern für Routenzüge wurde eine Vielzahl von Kriterien zusammengestellt, die für eine Auswahlentscheidung relevant sind. In Kooperation mit diversen Routenzug-Herstellern wurden 127 Anhängertechniken, 47 Zugfahrzeuge und 20 Niederflurkommissionierer in den Marktüberblick aufgenommen. Da im Marktüberblick beispielsweise 50 Kriterien mit über 120 verschiedenen Ausprägungen betrachtet werden, ist eine umfassende Darstellung in der vorliegenden Arbeit nicht möglich; es erfolgt daher eine Vorstellung der betrachteten Oberkategorien in Abbildung 9-13.

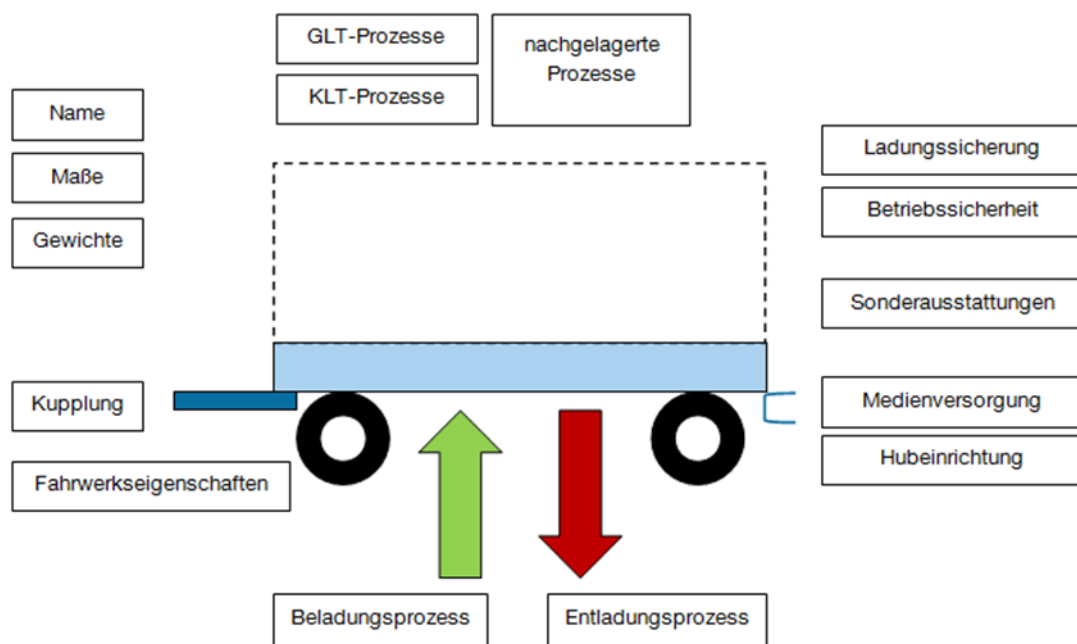


Abbildung 9-13: Oberkategorien der für Anhängertechniken betrachteten Kriterien [fml-16]

Die Arbeit mit dem Marktüberblick erfolgt unter Nutzung der Filterfunktionen von Microsoft Excel, um aus der hohen Zahl von analysierten Techniken auf Basis der Anforderungen einzig die für die Planung in Frage kommenden Techniken gegenüberzustellen. Neben Daten und Fakten zu den technischen Elementen wurden Bilder der Techniken im Marktüberblick hinterlegt, um dem Nutzer des Marktüberblicks einen visuellen Eindruck der Technik zu vermitteln. Um für eine einzelne Technik eine übersichtliche Informationsdarstellung zu ermöglichen, wurde im Marktüberblick ebenfalls die Möglichkeit vorgesehen, technische Datenblätter für die untersuchten

Techniken zu erstellen. Aufgrund abweichender Kriterien für Anhänger, Zugfahrzeuge und Niederflurkommissionierer wurden für diese Oberkategorien jeweils spezifische Datenblätter erstellt. In Abbildung 9-14 ist exemplarisch ein Auszug des Datenblatts für das Anhängermodell „B-Frame“ der Still GmbH dargestellt.


Name			
Hersteller	Still		
Typ	B-Frame		
Modell	1210x1010		
Kategorie	Ein-Aufschubkonzept - B-Frame		
Eckdaten			
Maße	mm	Gewichte	kg
Länge in Fahrt	2219	höchstes Eigengewicht	223
Länge abgestellt	2219	maximale Nutzlast	1000
Breite in Fahrt	1270	max. Anhängelast	4000
Breite abgestellt/zur Beladung	1270	falls nicht über Anhängelast definiert:	
Höhe in Fahrt	353	max. Zuglänge	4
Sonderfall U-Frame: Höhe unter Längsträger		x	
Wegbreiten	mm	Höchstgeschwindigkeit mit Last	
geradeaus	2000	15	km/h
U-Turn	3700	4,17	m/s

Abbildung 9-14: Auszug aus Datenblatt zu Anhängertechniken (vgl. [fml-16])

Nach Einschätzung der Autoren sollte für eine finale Auswahlentscheidung der Kontakt mit den jeweiligen Herstellern gesucht werden, um Detailfragen zu adressieren, die vom Marktüberblick nicht abgedeckt werden können. Um die Kontaktaufnahme zu unterstützen, wurde daher in den Marktüberblick ein Hyperlink zu der Homepage des entsprechenden Herstellers der Routenzugtechnik eingebettet.

9.8 Ergebnis

Der Software-Demonstrator ermöglicht eine zeiteffiziente Anwendung der entwickelten Vorgehensmethodik; innerhalb von Sekunden erfolgt die vollständige Dimensionierung und Bewertung von Planungsvarianten. Durch sehr kurze Iterationszyklen können somit Auswirkungen von Veränderungen an Planungsvarianten sichtbar gemacht werden und zu einem stark beschleunigten Erkenntnisgewinn des Logistikplaners führen. In der Konsequenz kann die Systemgestaltung auf einer deutlich fundierteren Datenbasis getroffen und die Planungsqualität gesteigert werden.

10 Evaluation und Verbesserung der Vorgehensmethodik

Zur Prüfung der Anwendbarkeit der Vorgehensmethodik und der Plausibilität der Planungsergebnisse wurden Anwendertests mit Logistikplanern durchgeführt (siehe Abschnitt 10.1). In Abschnitt 10.2 wird eine im Rahmen einer Ergebnisvorstellung vor Routenzug-Experten erfolgte Befragung thematisiert. Als dritte Säule der Evaluation wird eine Parameterstudie durchgeführt, um einerseits den Einfluss der Input-Parameter auf das Ergebnis zu untersuchen und andererseits die Plausibilität der Berechnungslogiken zu prüfen (vgl. Abschnitt 10.3). Das Gesamtkonzept der Evaluation wird durch die Abbildung 10-1 visualisiert.

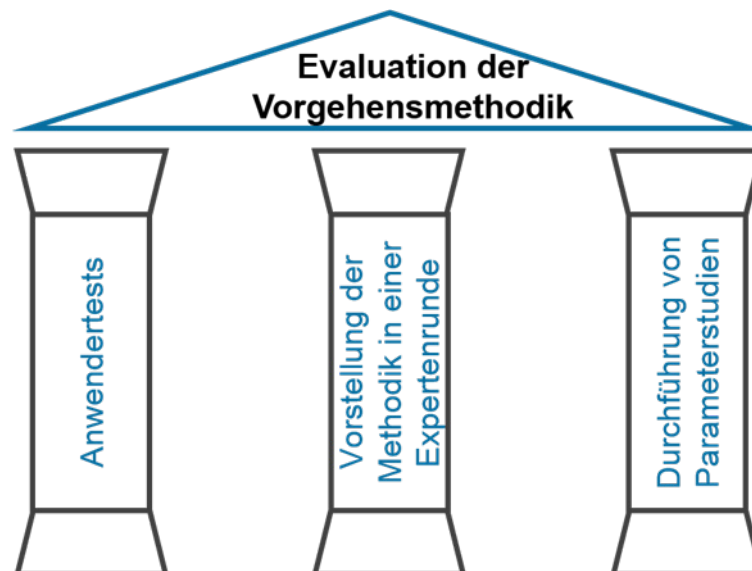


Abbildung 10-1: Aufbau des Evaluationskonzepts (vgl. [fml-16e])

Das kritische Hinterfragen der Projektergebnisse im Sinn der Kriterien Genauigkeit und Nützlichkeit wurde durch eine starke Einbindung der Industriepartner des Projekts gewährleistet. Die Kombination unterschiedlicher Evaluationsmethoden trägt zusätzlich zur Berücksichtigung der Evaluationsstandards nach [DeG-04] bei. Zu Evaluationsbeginn ist der Evaluationsgegenstand festzulegen, sind die Evaluationsziele zu definieren und die für die Evaluation relevanten Anspruchsgruppen zu identifizieren [Bor-16]. Für die zu evaluierenden Projektergebnisse wurden die Anspruchsgruppen Industriepartner, Experten, die Evaluierenden und der Lehrstuhl für Förder-technik Materialfluss Logistik (fml) genauer untersucht. Hauptaugenmerk lag dabei auf den Industriepartnern und den Experten, um einerseits eine Scheinevaluation zu vermeiden und andererseits die Belastbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen [Stu-07].

Die Analyse der Anforderungen der Anspruchsgruppen zeigt, dass das zentrale Element der Evaluation die Überprüfung und Verifizierung der Wirksamkeit der Vorgehensmethodik darstellt. Den Erkenntnis-, Lern- und Dialogfunktionen kommt in diesem Zusammenhang eine große Bedeutung zu, da dadurch einerseits die Sammlung von Informationen zum Evaluationsgegenstand in den Mittelpunkt gestellt und andererseits durch den Dialog mit den Anspruchsgruppen eine weitere Verbesserung der Methodik erreicht werden kann. (vgl. [Bor-16])

Die dem vorliegenden Kapitel zu Grunde liegende Evaluation der Projektergebnisse (mit Ausnahme des Abschnitts 10.3) wurde im Rahmen der Master's Thesis von Herrn Dominik Heitzer mit dem Titel „Entwicklung eines Evaluationskonzepts für eine softwaregestützte Vorgehensmethodik zur Planung von Routenzugsystemen und Durchführung von Anwender-Workshops mit Industriepartnern“ durchgeführt.

10.1 Anwendertests der Vorgehensmethodik

10.1.1 Grundkonzept

Für eine ganzheitliche Evaluation der Methodik ist es von zentraler Bedeutung, dass sich die in die Evaluation involvierten Industriepartner intensiv mit der entwickelten Methodik auseinandersetzen. Nur so lassen sich belastbare und fundierte Aussagen zur Anwendbarkeit, Wirksamkeit, Praxistauglichkeit sowie zur Plausibilität der Berechnungen und Ergebnisse treffen. Aufgrund dessen wurde im Rahmen von Anwendertests eine ausreichende Einarbeitung in die Vorgehensmethodik sichergestellt. Die mit den Anwendertests verfolgten Evaluationsziele sind nachfolgend in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit für die Evaluation dargestellt:

1. Gewährleistung und Unterstützung einer fundierten Entscheidungsfindung auf Basis der Ergebnisse der Methodik
2. Ermöglichung einer ausreichend detaillierten Planung
3. Sicherstellen von plausiblen und nachvollziehbaren Ergebnissen und Kennzahlen der Methodik
4. Gewährleistung einer benutzerfreundlichen Anwendung
5. Ermöglichung von Wissenstransfer und -aufbau durch die Verwendung der Methodik
6. Beschleunigung der Planung

10.1.2 Durchführung

Der wichtigste Teil der Anwendertests bestand in einer eigenständigen Ausführung einer Case-Study durch Testpersonen, welche nach und nach in die Vorgehensmethodik eingearbeitet und mit den Funktionen vertraut gemacht wurden, sodass diese am Ende in der Lage waren, erste eigene Planungsalternativen zu erstellen. Somit erfüllte die Case-Study nicht nur den Zweck der Evaluationsbewertung, sondern bot darüber hinaus die Gelegenheit, mittels Anleitung vertieft in die Vorgehensmethodik eingeführt zu werden.

Einführend wurden den Testpersonen in der Case-Study die wichtigsten Kenntnisse vermittelt, um alle Eingaben der Randbedingungen vornehmen zu können. Anschließend wurden unter Berücksichtigung von Prozess, Technik, Flexibilität und Ergonomie unterschiedliche Planungsvarianten generiert und verglichen. Hierdurch bekamen die Probanden einen Einblick in die verschiedenen Auswertungsmöglichkeiten. Bevor die Testpersonen in einer eigenständigen Arbeitsphase die Möglichkeit hatten, individuelle Planungsalternativen zu erstellen und damit den Demonstrator auf reale Fragestellungen anzuwenden, bearbeiteten sie den Case-Fragebogen, dessen Hauptaugenmerk auf der Benutzerfreundlichkeit und der Plausibilität der Ergebnisse liegt. Der Abschluss-Fragebogen hingegen, der ebenfalls von den Probanden ausgefüllt wurde, befasst sich noch detaillierter mit den Kriterien für die Entscheidungsfindung und enthält offene Fragen. Hierdurch sollten – ebenso wie durch die Gruppendiskussion, die die Anwendertests abschloss – offene Fragestellungen und möglicherweise fehlende Kriterien oder auch nicht beabsichtigte Auswirkungen festgehalten werden [Por-11].

Insgesamt fanden sechs Anwendertests mit Experten statt. Jeder Test bestand aus Teilnehmergruppen mit einer unterschiedlich verteilten Häufigkeit von Herstellern und Anwendern von Routenzugtechnik und Logistikberatern. Insgesamt nahmen elf Personen von vier verschiedenen Herstellern, elf Personen von acht verschiedenen Anwendern, zwei Doktoranden des Lehrstuhls fml und jeweils ein Mitarbeiter von zwei Beratungsunternehmen teil. Tabelle 10-1 zeigt die Aufteilung der Industriepartner auf die Anwendertests.

Tabelle 10-1: Übersicht über die durchgeführten Anwendertests

Anwendertests	Industriepartner	Ort
Anwendertest 1 (Pretest)	<ul style="list-style-type: none"> Doktoranden des Lehrstuhls fml 	Garching
Anwendertest 2	<ul style="list-style-type: none"> Jungheinrich Norderstedt AG & Co. KG 	Lüneburg

Anwendertest 3	<ul style="list-style-type: none"> • Toyota Material Handling Deutschland GmbH • Helge Nyberg AB 	Hannover
Anwendertest 4	<ul style="list-style-type: none"> • LR Intralogistik GmbH • Draexlmaier Industrial Solutions GmbH • BMW Group • Weissenborn Logistik-Consulting 	Garching
Anwendertest 5	<ul style="list-style-type: none"> • MAN Truck & Bus AG • Knorr-Bremse Systeme für Nutzfahrzeuge GmbH • Logistikberatung Stefan Galka • MEKRA Lang GmbH & Co. KG • Karl Miller GmbH & Co. KG 	Garching
Anwendertest 6	<ul style="list-style-type: none"> • Porsche AG 	Zuffenhausen

Die verwendete Case-Study stellt ein fiktives Planungsszenario eines Nutzfahrzeugherstellers dar, welcher sich für die Einführung eines Routenzugsystems in seiner Produktion entschieden hat. Die Frage, welcher Prozess und welche Technik nach welchen Kriterien ausgewählt werden, sollte durch die Verwendung der Vorgehensmethodik geklärt werden. Dazu erhielt jeder Teilnehmer ein Handout, welches ihn durch die Methodik führte. Die Aufteilung der geführten Planung erfolgte in zwei Abschnitten. Der erste Abschnitt diente dazu, den Probanden durch die Anleitung schnell durch die verschiedenen Aspekte der Methodik zu dirigieren und machte ihn mit dem groben Szenario der Eingabe von Randbedingungen und mit dem Erstellen erster Planungsvarianten vertraut. An dieser Stelle wurde nur auf den Light-Modus (siehe Abschnitt 9.2) des Demonstrators eingegangen. Die Testperson fand im Handout alle notwendigen Erläuterungen und Hinweise für die Verwendung des Demonstrators. Somit erhielt der Proband einen Überblick über die Elemente und Funktionen des Demonstrators, die er im zweiten Schritt im Experten-Modus vertiefen konnte. In dieser Phase wurden einerseits die Randbedingungen näher betrachtet, andererseits wurden die Probanden mit einer detaillierten Planungsvariantengenerierung vertraut gemacht. Hier wurden zunächst unterschiedliche Techniken gegenübergestellt, um anschließend auf Basis des erlangten Ergebnisses eine Gegenüberstellung und Bewertung der verschiedenen Varianten vorzunehmen. Im Anschluss wurden verschiedene Rollenordnungen sowie Materialien verglichen und bewertet. Weiterhin wurden die Probanden mit den Hintergründen der Berechnung von Zykluszeit und Ergonomie vertraut gemacht. Darüber hinaus wurde mit den einzelnen Funktionen der Sensitivitätsanalyse und den Darstellungen von Wirtschaftlichkeitsrechnung und Ergonomiebewertung gearbeitet.

10.1.3 Auswertung

Die durchgeführten Anwendertests werden sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Form analysiert. Qualitative Daten entstanden in den Anwendertests durch Rückmeldungen und Hinweise während der Anwendertests oder schriftlich durch die offenen Fragen auf Fragebögen. Die quantitativen Daten gehen aus strukturierten Fragen in Fragebögen hervor. Die einzelnen Frage-Items werden den oben definierten Zielen zugeordnet, da so die verschiedenen Ausprägungen des Merkmals bzw. der Variable umfassender gemessen werden können. Dadurch kann eine hohe Validität erreicht werden [Bor-16].

Qualitative Daten

Während der Anwendertests wurden mündliche Hinweise sowie schriftliche Anmerkungen in den Fragebögen dokumentiert. Die Mehrheit der Rückmeldungen zur Vorgehensmethodik bezog sich auf die Anwenderfreundlichkeit wie beispielsweise die Darstellung bestimmter Icons und die Menüführung sowie den Aufbau der Case-Study. Die Anmerkungen wurden im Nachgang der Anwendertests für eine Verbesserung von Teilaspekten der Vorgehensmethodik und der realisierten Berechnungslogiken genutzt.

Aus den schriftlichen Anmerkungen in den offenen Fragen geht hervor, dass für die Teilnehmer der Anwendertests die entwickelte Vorgehensmethodik insbesondere durch die detaillierte Berücksichtigung der Ergonomie und die exakte wirtschaftliche Berechnung einen hohen Mehrwert bietet. Auch die große Anzahl von an die Planungsaufgabe anzupassenden Randbedingungen und Stammdaten, welche die Abbildung sehr individueller Planungsszenarien erlauben, wurde sehr positiv bewertet. Insbesondere von den Logistikplanern der beteiligten Automobilhersteller wurde der Wunsch und die Bereitschaft geäußert, die entwickelte Methodik und den Software-Demonstrator in realen Planungsprojekten einzusetzen, um sie einem Anwendertest unter Realbedingungen unterziehen zu können.

Quantitative Daten

Die quantitative Datenauswertung der Anwendertests erfolgt unter Verwendung von Methoden der deskriptiven und experimentellen Statistik [Sch-16]. Im ersten Schritt der Auswertung werden die Ergebnisse der einzelnen Fragen ausgewertet. Die Skala zur Beantwortung der Fragen reicht von 1 („trifft überhaupt nicht zu“) bis 5 („trifft zu“). Abweichend konnte bei den Fragen zum persönlichen Vorwissen der Probanden auf einer Skala von 1 („keine Erfahrung“) bis 4 („langjährige Erfahrung“) ausgewählt werden. In der Auswertung der Fragen wird der Mittelwert (\bar{x}) und die Standardabweichung (σ) gebildet. Zur weiteren Betrachtung werden neben der gleichzeitigen Betrachtung aller Teilnehmer separate Auswertungen für Mitarbeiter

von Routenzug-Herstellern und Mitarbeiter von Routenzug-Anwendern durchgeführt. Die Bewertungsergebnisse der Vielzahl von Einzelfragen werden aggregiert, um Aussagen zur Erreichung der Hauptziele der Evaluation abzuleiten; eine Auswertung der Hauptziele ist in Abbildung 10-2 dargestellt.

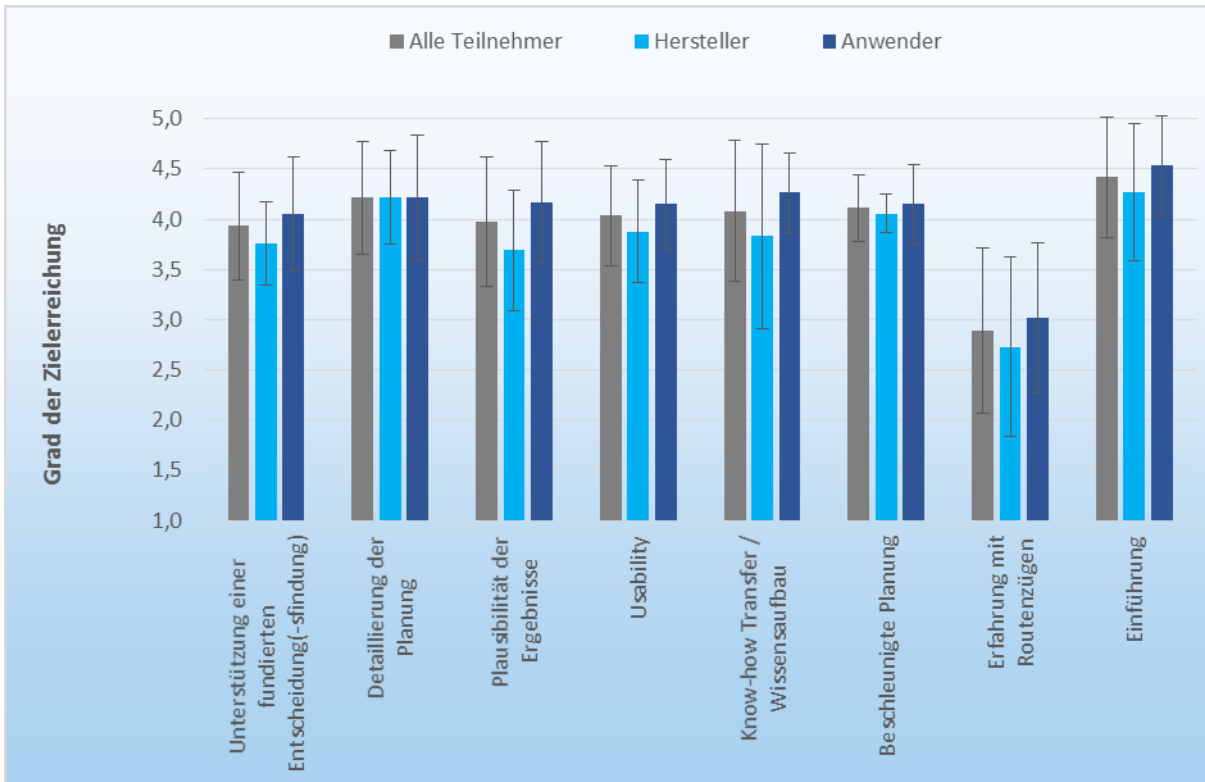


Abbildung 10-2: Bewertung der einzelnen Hauptziele, der Vorerfahrung und der Einführung [fml-16e]

Jede Frage – mit Ausnahme der Erhebung des individuellen Vorwissens – wurde mit knapp 4 von 5 Punkten oder besser beantwortet und zeigt somit einen großen Zuspruch zu der erarbeiteten Vorgehensmethodik. Insbesondere wurde von den Probanden eine hohe Detaillierung der Planung ($\bar{x} = 4,22$; $\sigma = 0,56$) attestiert; ebenso wurde die Beschleunigung der Planung sehr positiv bewertet ($\bar{x} = 4,11$; $\sigma = 0,33$). Die Unterstützung einer fundierten Entscheidung wurde mit $\bar{x} = 3,94$ und $\sigma = 0,54$ ebenfalls positiv bewertet; es gab jedoch einen deutlichen Unterschied zwischen Anwendern ($\bar{x} = 4,06$; $\sigma = 0,57$) und Herstellern ($\bar{x} = 3,76$; $\sigma = 0,42$). Noch ausgeprägtere Differenzen zwischen der Bewertung von Anwendern und Herstellern konnten in den Kategorien „Plausibilität der Ergebnisse“ ($\Delta\bar{x} = 0,47$) und „Know-how-Transfer“ ($\Delta\bar{x} = 0,44$) beobachtet werden. Die Betrachtung der Standardabweichung innerhalb der Bewertung der Hersteller für den „Know-how-Transfer“ fällt hierbei mit $\bar{x} = 3,83$ und $\sigma = 0,92$ besonders deutlich aus. Die Gestaltung und der generelle Ablauf des Termins wurde in der Kategorie „Einführung“ durch die Teilnehmer ebenfalls sehr positiv bewertet ($\bar{x} = 4,42$; $\sigma = 0,6$).

Die Praxistauglichkeit des Software-Demonstrators – als eine der zentralen Evaluationsfragen – wird in Abbildung 10-3 auf Basis von drei Einzelfragen thematisiert.

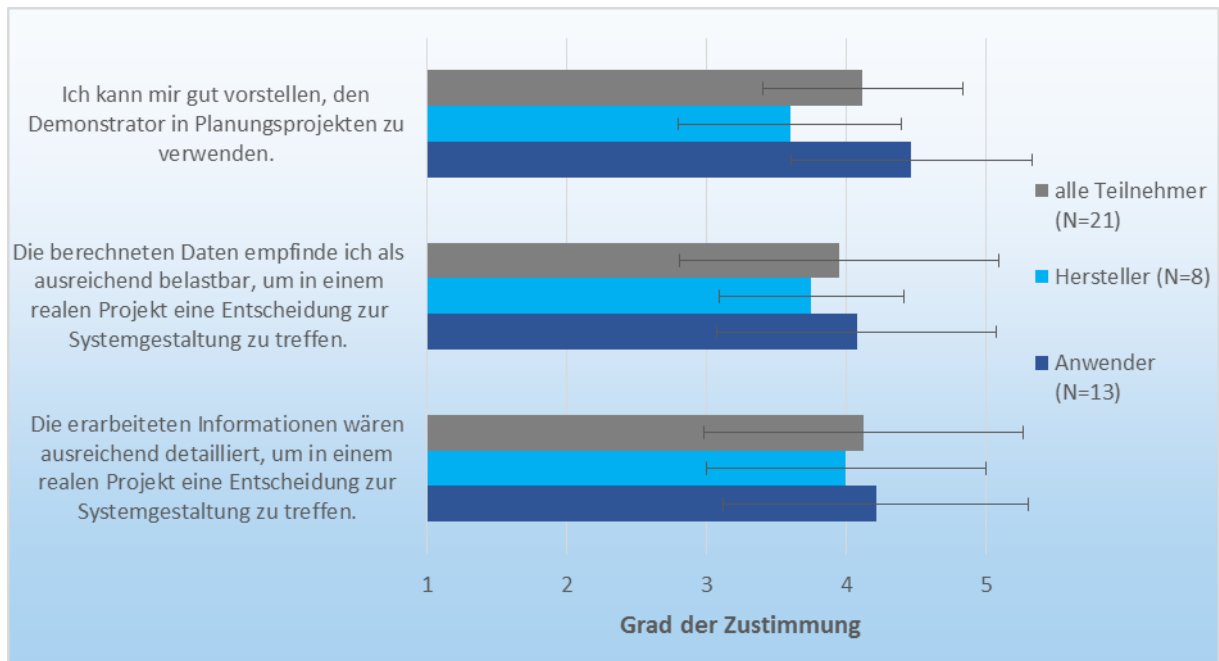


Abbildung 10-3: Ergebnisse von drei Fragen in Bezug auf den Einsatz in realen Projekten [fml-16e]

Mit einem Wert von mindestens 3,95 für die drei betrachteten Fragen wurde die Praxistauglichkeit des Demonstrators sehr positiv bewertet. Zwischen Anwendern ($\bar{x} = 4,47$; $\sigma = 0,72$) und Herstellern ($\bar{x} = 3,6$; $\sigma = 0,8$) ergibt sich wiederum eine signifikante Abweichung. Da die Standardabweichung ebenfalls in beiden Gruppen deutlich erhöht ist, werden in Abbildung 10-4 die Detaillierung und Belastbarkeit der Ergebnisse in einer Portfoliodarstellung gegenübergestellt, die einen Blick auf die Bewertung einzelner Teilnehmer ermöglicht.

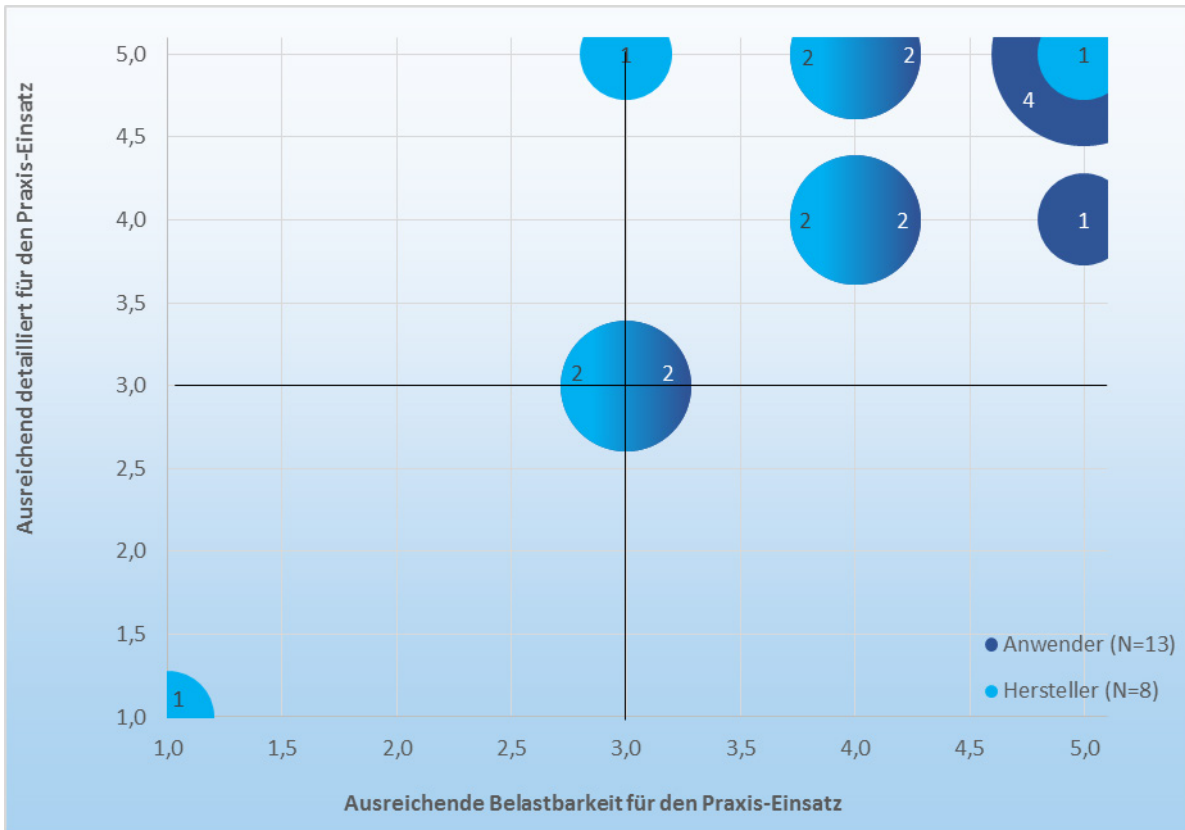


Abbildung 10-4: Gegenüberstellung der Fragen „ausreichende Detaillierung für den Praxis-Einsatz“ und „ausreichende Belastbarkeit der Daten für den Praxis-Einsatz“ [fml-16e]

Im Diagramm zeigt die Größe der Kreisflächen die Häufigkeit der Bewertungskombinationen an. Die Häufung der Teilnehmer im oberen rechten – positiven – Quadranten ist deutlich auszumachen, während einige Ausreißer zu der vergleichsweise hohen Standardabweichung führen. Für die Mehrheit der Teilnehmer ist der Demonstrator – um das Fazit aus einem Fragebogen zu zitieren – „reif für den Praxiseinsatz“.

Generell ist festzuhalten, dass die Hersteller von Routenzugtechniken die Ergebnisse weniger positiv bewertet haben als die Anwender. Zusätzlich ging dies oftmals mit einer hohen Standardabweichung einher, da es auch sehr positiv bewertende Hersteller gab. Die vorliegenden Daten erlauben keine gesicherten Aussagen über die Hintergründe der mitunter deutlichen Abweichungen in den Bewertungen.

10.2 Expertenbewertung der Projektergebnisse

Im Rahmen der Abschlusspräsentation der Projektergebnisse wurde die entwickelte Vorgehensmethodik einer Gruppe von Logistik-Experten vorgestellt. Zu diesem Termin waren hauptsächlich die Industriepartner des Projekts aber auch interessierte Vertreter weiterer Firmen geladen. Viele Teilnehmer hatten die Methodik noch nicht aktiv verwendet, einige sind mit ihr bereits innerhalb der Anwendertests in Berührung gekommen. Alle Teilnehmer waren jedoch innerhalb der Entwicklungsphase in das Projekt involviert und kannten deshalb die grundlegenden Ziele und Anforderungen. Im Verlauf des Termins wurde die entwickelte Methodik detailliert vorgestellt. Insbesondere wurde auf das Planungsvorgehen, die hinterlegten Daten und die Berechnungslogiken näher eingegangen. Auf einem Fragebogen haben die Anwesenden im Nachgang der Präsentation Fragen zu den Themenkomplexen „Unterstützung einer fundierten Entscheidungsfindung“ und „Detaillierung der Planung“ beantwortet. Auf Basis der Expertenbewertung kann ein mit den Anwendertests vergleichbares Urteil getroffen werden. Abbildung 10-5 zeigt die Ergebnisse für die beiden zuvor genannten, mit dem Fragebogen adressierten, Themenkomplexe.

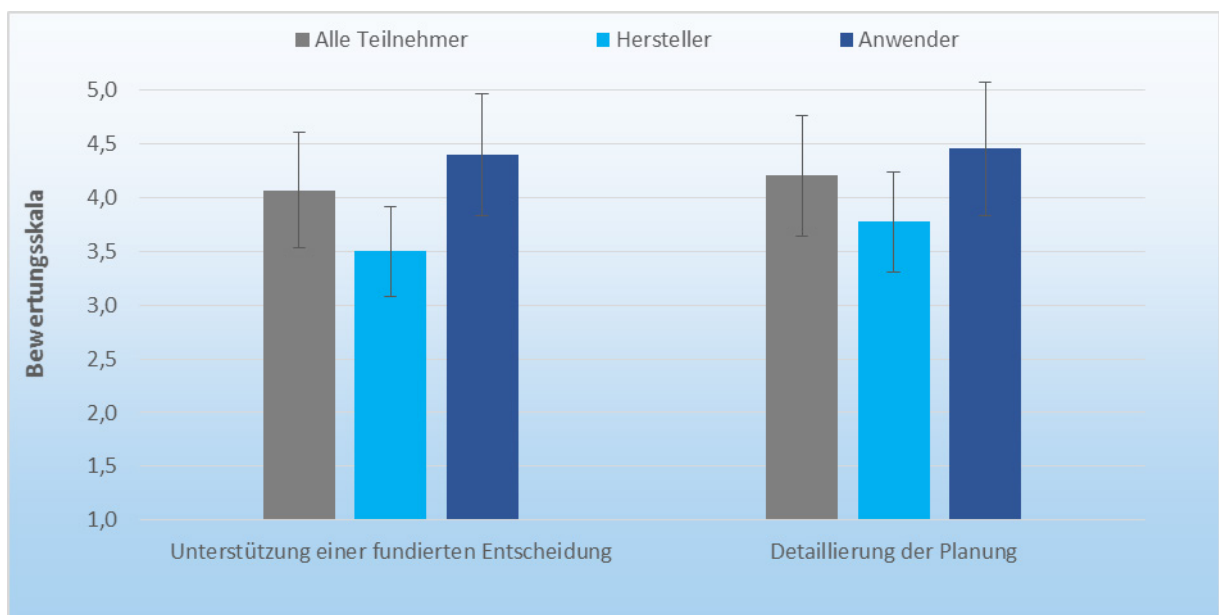


Abbildung 10-5: Darstellung der Experten-Bewertung der beiden Hauptziele und der Erfahrung [fml-16e]

Die Auswertung zeigt für die „Unterstützung einer fundierten Entscheidungsfindung“ und die „Detaillierung der Planung“ vergleichbar positive Bewertungen sowie vergleichbare Unterschiede zwischen Herstellern und Anwendern. Die ermittelten Werte decken sich mit den Grundaussagen der Anwendertests und attestieren der Vorgehensmethodik eine hohe Praxistauglichkeit.

10.3 Durchführung von Parameterstudien

























Zur Untersuchung des Einflusses der verschiedenen Nutzer-Eingaben des Demonstrators auf die Berechnungen wurden Parameterstudien durchgeführt. Im Zug der Betrachtung wurde untersucht, welche Auswirkungen die Veränderung eines einzelnen Parameters auf die Berechnungsergebnisse hat. Aufgrund der zentralen Bedeutung der Wirtschaftlichkeit in Projektentscheidungen wurde insbesondere der Einfluss unterschiedlicher Parameter auf den Barwert der Projektkosten (vgl. Definition und Berechnungsformel in Abschnitt 6.5.3) untersucht. Tabelle 10-2 zeigt den Einfluss einer Auswahl von untersuchten Parametern.

Tabelle 10-2: Einfluss ausgewählter Parameter auf die Projektkosten

Min	Standard	Max	Variation des Input-Parameters	Durchschnittlicher Einfluss auf Gesamtkosten *	Standardabweichung der Gesamtkosten zwischen den Routenzugtechniken
50	1000	5000	Durchsatz GLT	1009%	144%
20	300	1000	Anzahl Stellplätze GLT	22%	12%
100	700	2000	Routenlänge innerhalb	82%	10%
100	400	700	Durchschnittliches Gewicht GLT	2%	1%
6	8	12	Maximalgeschwindigkeit	9%	5%
2	7	10	Projektlaufzeit	195%	28%
20	42	80	Personalkostensatz	209%	10%
0	1000	2000	Flächenkostensatz Quelle	3%	0%
0	20	50	Anteil Bereitstellorte auf falscher Seite	1%	2%
1	4	5	Anzahl Anhänger	94%	2%
neben	neben	hinten	2-Behälter Prinzip	7%	4%

Auf Basis der Variation der Parameter innerhalb realtypischer Grenzwerte wird der durchschnittliche Einfluss des Parameters auf die Projektkosten einer Planungsvariante untersucht. Darüber hinaus gibt die Standardabweichung an, wie stark sich die beobachteten Effekte innerhalb der Gesamtheit der in der Analyse betrachteten Planungsvarianten unterscheiden. Durch die vorgestellte Auswertung können jene Parameter identifiziert werden, die sowohl einen starken Einfluss auf die Projektkosten besitzen, als auch – angezeigt durch die Höhe der Standardabweichung – zu einer Veränderung der Auswahlentscheidung zwischen verschiedenen Planungsvarianten führen können. Auf Basis dieser Argumentation wird nachfolgend der Einfluss des dominierenden Parameters „GLT-Durchsatz pro Tag“ eingehend untersucht. Darüber hinaus wird die Betrachtung des Einflussparameters „Anzahl der Stellplätze“ erweitert, da analoge Effekte beobachtet werden können (vgl. Tabelle 10-3).

Tabelle 10-3: Einfluss der Parameter „Durchsatz GLT“ und „Anzahl Stellplätze GLT“ auf die Gesamtkosten

	Durchsatz GLT	Anzahl Stellplätze GLT
Durchschnittlicher Einfluss	 1009%	 22%
Standardabweichung	 144%	 12%
Minimum	50	20
Standard-Wert	1000	300
Maximum	5000	1000
Trailer	 860%	 137%
B-Frame	 1199%	 114%
E-Frame hydraulisch	 1277%	 114%
E-Frame ohne Hub	 1248%	 114%
H-Frame beidseitig	 1151%	 115%
H-Frame Belade- = Entladeseite	 1163%	 115%
Taxiwagen	 1202%	 114%
U-Frame	 1158%	 115%
RVS feste Deichsel	 919%	 141%
RVS Verschiebe-Deichsel	 913%	 141%

Die Gegenüberstellung macht Unterschiede zwischen den Routenzug-Konzepten deutlich. Während in Ein-/ Aufschubkonzepten die Materialbereitstellung auf kostengünstigen Transporthilfsmitteln erfolgt, müssen bei Transportwagen die teureren Routenzuganhänger selbst angestellt werden. Bei Rollenverschiebesystemen ist auf jedem Stellplatz eine fest installierte Rollenbahn erforderlich. Dies hat zur Folge, dass die beiden letztgenannten Konzepte deutlich schlechter mit einer Erhöhung der Stellplatzanzahl skalieren als das Ein-/ Aufschubkonzept. Im Umkehrschluss führt der beschriebene Sachverhalt dazu, dass Transportwagen und Rollenverschiebekonzept einen vergleichsweise hohen Fixkostenanteil haben; eine Durchsatzsteigerung führt daher generell zu geringeren Projektkostensteigerungen als dies beim Ein-/ Aufschubkonzept der Fall ist. Die Unterschiede innerhalb der Ein-/ Aufschubkonzepte sind darauf zurückzuführen, dass die Anhängertechniken bauartbedingt abweichende Handlingzeiten und Einkaufspreise aufweisen.

10.4 Ergebnis

Auf Basis der Durchführung von Anwendertests, Expertenbefragungen und Parameterstudien wurden sowohl die entwickelte Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen als auch der Software-Demonstrator evaluiert. Beide Elemente sind nach Tenor der in die Evaluation involvierten Routenzugexperten reif für den Praxiseinsatz.

11 Zusammenfassung der Forschungsergebnisse und Ausblick

11.1 Zusammenfassung

Trotz steigender Verbreitung von Routenzugsystemen haben sich noch keine technischen Standards etabliert und auch die Planung der Systeme geschieht oftmals „intuitiv“ ohne den Einsatz routenzugspezifischer Planungsmethoden. Darüber hinaus haben Entscheidungen bei der Planung von Routenzugsystemen Einfluss auf diverse Themenfelder wie Wirtschaftlichkeit, Ergonomie und Flexibilität des Systems sowie auf vor- und nachgelagerte Prozessschritte.

Mit dem Ziel der Unterstützung der Planung von Routenzugsystemen wurde im Forschungsprojekt IntegRoute eine Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen entwickelt. Diese ermöglicht – im Gegensatz zu heute oft sequenziell ablaufenden Planungen – die gleichzeitige Betrachtung der Planungsdimensionen Technik, Prozess und Steuerung eines Routenzugsystems.

Die Methodik beinhaltet die Bildung von Planungsvarianten, welche sowohl die drei Planungsdimensionen als auch Abhängigkeiten zwischen diesen berücksichtigt, sowie die Dimensionierung der Varianten. Im Rahmen der Dimensionierung erfolgen eine Prüfung der technischen Realisierbarkeit, eine Berechnung von Zykluszeit, Anzahl erforderlicher Systemelemente und Flächenbedarf sowie eine Wirtschaftlichkeitsrechnung. Weiterhin umfasst die Methodik eine ganzheitliche Bewertung, die neben wirtschaftlichen Aspekten beispielsweise die Flexibilität, Robustheit und Ergonomie berücksichtigt. Um eine aussagekräftige Bewertung der Ergonomie zu ermöglichen, wurden umfangreiche Probandenstudien zur Ermittlung der in Routenzugprozessen von Mitarbeitern aufzubringenden Handkräfte durchgeführt.

Durch die Umsetzung in einem softwarebasierten Demonstrator wird eine zeiteffiziente Anwendung der entwickelten Vorgehensmethodik ermöglicht. Eine innerhalb von Sekunden ablaufende detaillierte Dimensionierung und Bewertung von Planungsvarianten ermöglicht durch sehr schnelle Iterationen die direkte Abbildung der Effekte einer Veränderung einer Planungsvariante. In der Konsequenz kann die Systemgestaltung auf einer deutlich fundierteren Datenbasis getroffen und die Planungsqualität gesteigert werden.

Im Rahmen der Evaluation der Projektergebnisse in Zusammenarbeit mit Industriepartnern durchgeführte, umfangreiche Anwendertests haben die hohe Detaillierung

und Nachvollziehbarkeit der Bewertungsergebnisse sowie die Praxistauglichkeit des Software-Demonstrators unterstrichen.

11.2 Nutzen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten

Die Nutzung der im Forschungsprojekt erarbeiteten Ergebnisse ist in zahlreichen Bereichen möglich: die entwickelte Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen kann sowohl zur Neuplanung einer Produktionsversorgung mit Routenzügen als auch zur Verbesserung existierender Systeme eingesetzt werden. Vor allem für mittelständische Unternehmen ergibt sich aus den Forschungsergebnissen die Chance, Know-how für die Routenzugplanung schnell aufzubauen und eine gute und fundierte Planung selbst durchzuführen, da Wissen zum Thema Routenzug gebündelt und in strukturierter Form öffentlich zugänglich gemacht wurde.

Die Anwendung der entwickelten Vorgehensmethodik führt dazu, dass eine wesentlich detailliertere Betrachtung des eigentlichen Routenzugsystems und der vor- und nachgelagerten Prozesselemente in der Grobplanungsphase möglich ist, als es bei heutigen Planungen der Fall ist. Dadurch können die notwendigen Investitionen und die späteren Kosten deutlich genauer bestimmt werden. Über die monetäre Komponente hinaus ermöglicht die Vorgehensmethodik durch den Ansatz der ganzheitlichen Bewertung von Planungsvarianten die Berücksichtigung von Themenkomplexen wie Ergonomie, Flexibilität und Robustheit des Routenzugsystems. Mit Hilfe der Methodik können geeignete Kennzahlen quantitativ bestimmt werden und für den objektiven Vergleich der Planungsvarianten herangezogen werden. Dies führt zu einer Reduzierung des Planungsrisikos und einer besseren Orientierung an den Unternehmenszielen. Die Verwendung der angestrebten Planungsmethodik ermöglicht eine Steigerung der Planungsqualität und besitzt ein hohes Potenzial an Zeit- und Kostenersparnis. Durch die Vorgehensmethodik wird der Planungsprozess standardisiert und Planungsergebnisse sind reproduzierbar.

Direkten Nutzen können auch KMU aus den Ergebnissen des Forschungsvorhabens ziehen, welche eine Beratung zu Routenzugsystemen als Dienstleistung anbieten möchten. Hier ermöglicht die entwickelte Vorgehensmethodik eine schnelle und zuverlässige Untersuchung verschiedener Planungsvarianten. Sowohl durch die frühe Unterstützung bereits in der Grobplanungsphase als auch durch eine ganzheitliche Bewertung gelingt es diesen Unternehmen, sich ein Alleinstellungsmerkmal gegenüber Wettbewerbern zu erarbeiten.

Die generell mittelständisch geprägte Branche der Routenzughersteller kann die Planungsmethodik im Rahmen der Vertriebsphase und der Projektierung einsetzen. Damit können sich diese Unternehmen deutlich von der Konkurrenz differenzieren, die in der Regel nur technikorientiert arbeitet und nicht den Systemgedanken verfolgt. Weiterhin können die Hersteller Projektergebnisse, wie die umfangreichen Probandenstudien zur Ergonomie oder den entwickelten Demonstrator, direkt in seinem Produktentwicklungsprozess einsetzen. Somit können Routenzugtechniken entwickelt werden, die optimal auf die Anforderungen der Kunden zugeschnitten sind. Dies führt zu geringeren Entwicklungskosten, da die Produktentwicklung zielorientierter erfolgt.

11.3 Veröffentlichungen im Rahmen des Forschungsprojekts

Für den Informationstransfer zu Unternehmen und in die Wirtschaft wurde eine Reihe von Transfermaßnahmen durchgeführt. Nachfolgend werden die getätigten und eingereichten Veröffentlichungen zum Forschungsprojekt IntegRoute aufgelistet:

- Keuntje, C.; Günthner, W.A.: Forschungsprojekt IntegRoute - Integrierte Planung von Routenzugsystemen. In: VDI Wissensforum GmbH, 25. Deutscher Materialfluss-Kongress - VDI-Berichte 2275, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2016, S. 203 - 213, ISBN 978-3-18-082275-1.
- Keuntje, C., Günthner, W. A.: Ganzheitliche Konzeptauswahl für Routenzugsysteme. In: Hebezeuge Fördermittel (2016), 06, S. 34, Forschungskatalog Flurförderzeuge, ISSN ISSN 0017-9442 A 06792.
- Keuntje, C.; Günthner, W. A.: Forschungsprojekt IntegRoute – Ganzheitliche Konzeptauswahl für Routenzugsysteme zur Produktionsversorgung. In: Forschungskatalog Flurförderzeuge – Tagungsband der 11. Hamburger Staplertagung. Hamburg 2016.
- Keuntje, C.; Heiß, J.; Gangkofner, P.; Günthner, W. A.: Experimentelle Untersuchungen zur Ergonomie von Handschiebewagen in Routenzugsystemen. In: Tagungsband / 11. Hamburger Staplertagung. Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr. Hrsg.: R. Bruns. Hamburg 2016.
- Keuntje, C.; Kelterborn, M.; Günthner, W. A.: Integrierte Planung von Routenzugsystemen. In: Industrie 4.0 Management. Ausgabe 06/2016. Eingereicht zur Veröffentlichung am 06.06.2016.

Ein weiterer Ergebnistransfer erfolgte im Rahmen der Erstellung des Richtlinienentwurfs der VDI 5586 zu Routenzugsystemen, in die der Projektbearbeiter als Co-Autor in den Jahren 2014 und 2015 involviert war.

11.4 Ausblick

Im Forschungsprojekt IntegRoute wurde eine Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzügen entwickelt. Die Umsetzung der Vorgehensmethodik in einem Software-Demonstrator und die hiermit durchgeführten Anwendertests mit Industriepartnern zeigen das große Potenzial einer methodischen Unterstützung der Planung von Routenzügen. Der Software-Demonstrator ermöglicht durch sehr kurze Iterationsschritte einen strukturierten Vergleich unterschiedlicher Gestaltungsalternativen in den Planungsdimensionen Technik, Prozess und Steuerung. Durch die detaillierte ganzheitliche Bewertung wirtschaftlicher und nicht monetär quantifizierbarer Aspekte kann die Systemgestaltung von Routenzugsystemen auf einer deutlich fundierteren Datenbasis erfolgen als dies bisher der Fall war. In zukünftigen Routenzug-einführungen können bereits in frühen Planungsphasen die Konsequenzen einer Planungsentscheidung transparent gemacht und damit die Planungsqualität deutlich gesteigert werden.

Weiterer Forschungsbedarf ist in der Analyse von realen Planungsprojekten, in denen die entwickelte Vorgehensmethodik eingesetzt wird, zu sehen. Auf Basis von in den Projekten auftretenden Fragestellungen ist die Vorgehensmethodik gegebenenfalls zu erweitern, um weitere realtypische Herausforderungen der Routenzugplanung zu adressieren.

Darüber hinaus können die Projektergebnisse von Routenzugherstellern zur Verbesserung von Routenzugtechniken genutzt werden. Durch die Gegenüberstellung des ergonomischen Nutzens einer möglichen technischen Veränderung und der wirtschaftlichen Konsequenzen dieser Veränderung können technische Lösungen zur Verbesserung mit optimalem Kosten-Nutzen-Verhältnis identifiziert und umgesetzt werden.

Literaturverzeichnis

- [All-99] Allgayer, F.: Computerunterstützte Planung von Materialflusssystemen auf Basis statischer Materialflüsse, Dissertation, Technische Universität München, Garching, 1999.
- [Arn-07] Arnold, D.; Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007.
- [Bae-11] Baerwolff, C.: Routenzüge – Ein prozessorientierter Ansatz, VDI-Berichte Nr. 2136, Düsseldorf, 2011.
- [Bau-04] Baudin, M.: Lean Logistics - The Nuts and Bolts of Delivering Materials and Goods, Productivity Press, New York, NY, 2004.
- [Bau-12] BAuA - Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Verkehrswege, ASR A1.8, Dortmund, 2012.
- [Ben-14] Bengler, K.; Senner, V.; Rausch, H.; Bortot, D.: Produktionsergonomie. Vorlesungsskriptum. Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, Garching, 2014.
- [Ber-03] Bernhard, J; Dragan, M; Wenzel, S.: Modellierung großer Netzwerke in der Logistik: Klassifizierung von Visualisierungsverfahren für GNL, Fraunhofer IML, Dortmund, 2003.
- [Blu-16] Blue Leaf Software: Lineare Interpolation mit Microsoft Excel. <http://www.blueleafsoftware.com/Products/Dagra/LinearInterpolationExcel.php>, Aufruf am 07.06.2016.
- [Bod-15] Bodner, J.: Experteninterview mit Herrn Josef Bodner, Fa. Wicke GmbH + Co. KG, am 03.09.2015 in Garching.
- [Bok-06] Bokranz, R.; Landau, K.: Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen – MTM Handbuch. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2006.
- [Bop-08] Boppert, J.: Entwicklung eines wissensorientierten Konzepts zur adaptiven Logistikplanung, Dissertation, Technische Universität München, Garching, 2008.
- [Bor-16] Bortz, J.; Döring, N.: Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2016.
- [Bru-09] Brugger, R.: Der IT Business Case. Springer-Verlag, Berlin, 2009.
- [Bru-10] Bruder, R.; Schaub, K.: Kooperationsprogramm zu normativem Management von Belastungen und Risiken bei körperlicher Arbeit. http://www.kobra-projekt.de/system/files/page/KoBRA-FSP2007-Zusammenfassung_0.pdf, Download am 16.03.2016.
- [Bru-12] Brungs, F.: Der Milkrun in der Produktionslogistik, Shaker Verlag, Aachen, 2012.
- [Bru-13] Bruns, R.; Piepenburg, B.; Ulrich, S.; Krivenkov, K.: Simulationsgestützte Untersuchung der Spurtreue von Routenzügen. In: Logistics Journals: Proceedings, 2013.
- [Bun-01] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.): Leitmerkalmethode zur Beurteilung von Ziehen, Schieben. <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/Gefahrungsbeurteilung.html>, Download am 04.05.2016.
- [Bun-01b] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.): Leitmerkalmethode zur Beurteilung von Ziehen, Schieben. <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/Gefahrungsbeurteilung.html>, Download: 04.02.2013.
- [DeG-04] DeGEval - Gesellschaft für Evaluation e.V.: Empfehlungen zur Anwendung der Standards für Evaluation im Handlungsfeld der Selbstevaluation. Alfter: DeGeval, Geschäftsstelle, 2004.

- [Dre-09] Dreher, S.; Nürnberger, A.; Kulus, D.: Routenzugoptimierung in der Produktionslogistik, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 104 (3), S. 131–135, 2009.
- [Dro-11] Droste, M.; Deuse, J.: A Planning Approach for In-plant Milk Run Processes to Optimize Material Provision in Assembly Systems, In: Proceedings of the 4th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production, Montreal, Canada, 2011.
- [Emd-11] Emde, S.; Boysen, N.: Optimally routing and scheduling tow trains for JIT-supply of mixed-model assembly lines, European Journal of Operational Research 217, 2011, S. 287–299.
- [Fit-06] Fitzek, D.: Anlaufmanagement in Netzwerken – Grundlagen, Erfolgsfaktoren und Gestaltungsempfehlungen für die Automobilindustrie, Haupt Verlag, Bern, 2006.
- [fml-15] Kramer, B.: Erstellung eines Baukastens für die Gestaltung von Routenzugprozessen zur Produktionsversorgung auf Basis der Analyse von Realszenarien. Semesterarbeit am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. Betreut durch Christopher Keuntje, M.Sc. Abgabe im März 2015.
- [fml-15b] Castañeda, A.: Development of an MTM analysis tool to determine the cycle time of tugger train systems based on process mappings of real tugger train applications. Master's Thesis am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. Betreut durch Christopher Keuntje, M.Sc. Abgabe im Mai 2015.
- [fml-16] Wuddi, P.: Aufbau einer herstellereinspezifischen Datenbank zur Unterstützung der Technikauswahl im Rahmen der Planung von Routenzug-Systemen. Bachelor's Thesis am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. Betreut durch Christopher Keuntje, M.Sc. Abgabe im Mai 2016.
- [fml-16b] Gangkofner, P.: Identifikation von Einflussfaktoren auf die Handkräfte beim Betrieb von Routenzügen auf Basis von Probandenstudien und Analyse der technischen Wirkzusammenhänge. Master's Thesis am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. Betreut durch Christopher Keuntje, M.Sc. Abgabe im Mai 2016.
- [fml-16c] Heiß, J.: Analyse der Einflussfaktoren auf die Ergonomie von Routenzugsystemen und Entwicklung einer Bewertungsmethodik auf Basis von Probandenstudien zu Handkräften. Master's Thesis am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. Betreut durch Christopher Keuntje, M.Sc. Abgabe im Mai 2016.
- [fml-16d] Thomaser, P.: Entwicklung eines Bausteinsystems zur Berechnung der Zykluszeiten unterschiedlicher Routenzugsysteme. Master's Thesis am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. Betreut durch Christopher Keuntje, M.Sc. Abgabe im Juli 2016.
- [fml-16e] Heitzer, D.: Entwicklung eines Evaluationskonzepts für eine softwaregestützte Vorgehensmethode zur Planung von Routenzugsystemen und Durchführung von Anwender-Workshops mit Industriepartnern. Master's Thesis am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. Betreut durch Christopher Keuntje, M.Sc. Abgabe im Juli 2016.
- [Gha-85] Ghandforoush, P.; Huang, P.; Taylor, B.: A multi-criteria decision model for the selection of a computerized manufacturing control system; In: International Journal of Production Research, Jahrgang 23 (1985) 1, S. 117–128.
- [Gli-13] Glitsch, U.; Ellegast, R.: Explorative Messungen der Handkräfte beim Ziehen und Schieben von Schleppzugwagen und Paletten zur Materialbereitstellung an Montagelinien in der Automobilfertigung. Sankt Augustin. 2013.
- [Gli-13b] Glitsch, U.; Ellegast, R.: Messreihen zu Handkräften beim Ziehen und Schieben von Trailern und Handschiebewagen. Sankt Augustin. 2013.

- [Gli-13c] Glitsch, U.: Experteninterview mit Herrn Dr. Ulrich Glitsch, Institut für Arbeitsschutz der DGUV – IFA, am 23.01.2013 in Zuffenhausen.
- [Gli-15] Glitsch, U.: Experteninterview mit Herrn Dr. Ulrich Glitsch, Institut für Arbeitsschutz der DGUV – IFA, Telefoninterview am 26.10.2015.
- [Goe-13] Goepel, K. D.: Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for Multi-Criteria Decision Making In Corporate Enterprises – A New AHP Excel Template with Multiple Inputs; In: Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, 2013.
- [Gün-12] Günthner, W. A.; Galka, S.; Klenk, E.; Knössl, T.; Dewitz, M.: Stand und Entwicklung von Routenzugsystemen für den innerbetrieblichen Materialtransport. Ergebnisse einer Studie, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, Garching, 2012.
- [Gün-13] Günthner, W. A.; Durchholz, J.; Klenk, E.; Boppert, J.: Schlanke Logistikprozesse – Handbuch für den Planer, Springer Vieweg, Berlin, 2013.
- [Gün-13b] Günthner, W. A.: Routenzüge – Konzepte und Herausforderungen, Vortrag auf dem Deutschen Materialfluss-Kongress, Garching, 21.03.2013.
- [Gyu-13] Gyulai, D.; Pfeiffer, A.; Sobottka, T.; Váncza, J.: Milkrun Vehicle Routing Approach for Shop-floor Logistics; In: Proceedings of the Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013, Setubal, 2013.
- [Hat-13] Hatzinger, R.; Nagel, H.: Statistik mit SPSS – Fallbeispiele und Methoden. Pearson, München, 2013.
- [Hor-13] Horneff, J.: Vortrag zum Routenzugeinsatz bei SEW Eurodrive. Fachforum Routenzug. 22. Deutscher Materialfluss-Kongress. Garching, 2013.
- [IAD-07] Institut für Arbeitswissenschaft. (2007). Multiple-Lasten-Tool. <http://www.kobra-projekt.de/download/>. Heruntergeladen am 17.11.2015.
- [ISO11228-2] International Organization for Standardization: Ergonomics – Manual handling – Part 2: Pushing and pulling. ISO 11228-2, 2007.
- [Joh-07] Johansson, E.: Towards a design process for materials supply systems, International Journal of Operations and Production Management 27, 2007, S. 153-173.
- [Keu-16] Keuntje, C.; Günthner, W. A.: Forschungsprojekt IntegRoute. In: 25. Deutscher Materialfluss-Kongress – VDI-Berichte 2275. VDI-Wissensforum (Hrsg.). Düsseldorf 2016.
- [Keu-16b] Keuntje, C.: Integrierte Planung von Routenzugsystemen. Vortrag auf der VDI Fachkonferenz Routenzugsysteme. Garching, 17.03.2016.
- [Keu-16c] Keuntje, C.; Günthner, W. A.: Ganzheitliche Konzeptauswahl für Routenzugsysteme zur Produktionsversorgung. In: Forschungskatalog Flurförderzeuge – Tagungsband der 11. Hamburger Staplertagung. Hamburg 2016.
- [Keu-16d] Keuntje, C.; Heiß, J.; Gangkofner, P.; Günthner, W. A.: Experimentelle Untersuchungen zur Ergonomie von Handschiebewagen in Routenzugsystemen. In: Tagungsband / 11. Hamburger Staplertagung. Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr. Hrsg.: R. Bruns. Hamburg 2016.
- [Keu-16e] Keuntje, C.; Kelterborn, M.; Günthner, W. A.: Integrierte Planung von Routenzugsystemen. In: Industrie 4.0 Management. Ausgabe 06/2016. Eingereicht zur Veröffentlichung am 06.06.2016.
- [Kil-13] Kilic, H.; Durmusoglu, M.: A mathematical model and a heuristic approach for periodic material delivery in lean production environment. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, Published online.
- [Kis-16] Kistler Gruppe: Handkraftmesssystem für Ergonomie, Biomechanik und Arbeitsschutz. <https://www.kistler.com/?type=669&fid=41663&callee=frontend>, Download am 30.05.2015.

- [Klu-10] Klug, F.: Logistikmanagement in der Automobilindustrie, Springer-Verlag, Berlin, 2010.
- [LRI-16] LR Intralogistik GmbH: B-Rahmen.
<http://www.lrintralogistik.de/index.php/de/produkte/44-b-rahmen-routenzug.html>,
Download am 10.05.2016.
- [LRI-16b] LR Intralogistik GmbH: Autarker E-Rahmen.
<http://www.lrintralogistik.de/index.php/de/produkte/36-autarker-e-rahmen.html>, Down-
load am 24.06.2016.
- [Mat-15] Math, E.: Experteninterview mit Herrn Edgar Math, Fa. Wicke GmbH + Co. KG, am
22.09.2015 in Auenwald.
- [Mei-13] Meißner, S.: Adaptive Routenzugkonzepte für die Produktionsversorgung, Vortrag auf
dem 22. Deutschen Materialflusskongress, Garching, 21.03.2013
- [MTM-07] Deutsche MTM-Vereinigung e.V.: Handbuch MTM-Logistik. Deutsche MTM-
Vereinigung, Hamburg, 2007.
- [Nür-10] Nürnberger, A.: Routenversorgung virtuell optimieren, Logistik für Unternehmen
Ausg. 11/12-2010, Springer VDI Verlag, Düsseldorf, 2010.
- [o.V.-09] Vorbild Supermarkt, Logistik heute Ausg. 11/2009, Huss-Verlag, München, 2009.
- [o.V.-11] Weniger Stapler, Logistik heute Ausg. 9/2011, Huss-Verlag, München, 2011.
- [Por-11] Porst, R.: Fragebogen - Ein Arbeitsbuch. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2011.
- [Saa-90] Saaaty, T. L.: Multicriteria decision making - the analytic hierarchy process. Planning,
priority setting, resource allocation. 2. Aufl. RWS Publishing, Pittsburgh 1990.
- [Sch-08] Schedlbauer, M.J.: Adaptive Logistikplanung auf Basis eines standardisierten, pro-
zessorientierten Bausteinkonzepts, Dissertation, Technische Universität München,
Garching, 2008.
- [Sch-08b] Schneider, M.: Logistikplanung in der Automobilindustrie – Konzeption eines Instru-
ments zur Unterstützung der taktischen Logistikplanung vor "Start-of-Production" im
Rahmen der digitalen Fabrik, Gabler-Verlag, Wiesbaden, 2008.
- [Sch-13] Schulz, R.: Staplerlose Fabrik; [http://www.ipe-gmbh.de/fileadmin/PDF/ Staplerlo-
se_Fabrik_10-10-01.pdf](http://www.ipe-gmbh.de/fileadmin/PDF/Staplerlose_Fabrik_10-10-01.pdf), Stand: 10.08.13.
- [Sch-15] Schmidler, J.: Expertengespräch mit Herrn Jonas Schmidler, Lehrstuhl für Ergono-
mie der Technischen Universität München. Garching, 09.11.2015.
- [Sch-16] Schäfer, T.: Methodenlehre und Statistik. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesba-
den, 2016.
- [Sei-99] Seiford, L.M.: Data Envelopment Analysis: The Evolution of the State of the Art
(1978-1995), Journal of Productivity Analysis, 7, 99-138, 1996.
- [Stu-07] Stufflebeam, D. L.; Shinkfield, A. J.: Evaluation theory, models, and applications. 1st
ed. Auflage. San Francisco: Jossey-Bass, 2007.
- [Sug-77] Sugimori, Y.; Kusunoki, K.; Cho, F.; Uchikawa, S.: Toyota Production System and
Kanban System – Materialization of just-in-time and respect-for-human-systems, In-
ternational Journal of Production Research, Vol. 15, No. 6, S.553-564, 1977.
- [Vai-99] Vaidyanathan, B.S.; Matson, J.O.; Miller, D.M.; Matson, J.E.: A capacitated vehicle
routing problem for just-in-time delivery, IIE Transactions 31 (11), S.1083–1092,
1999.
- [VDI2489] VDI-Richtlinie 2498: Vorgehen bei einer Materialflussplanung, Düsseldorf, 2011.
- [VDI2689] VDI-Richtlinie 2689: Leitfaden für Materialflussuntersuchungen, Düsseldorf, 2010.
- [VDI5586] VDI-Richtlinie 5586: Routenzugsysteme. Richtlinienentwurf, Düsseldorf, 2016.

- [Wal-11] Walch, D.: Entwicklung einer Methodik zur Belastungsermittlung in der Kommissionierung vor dem Hintergrund einer altersgerechten Arbeitsplatzgestaltung der Intralogistik, Dissertation, München, 2011.
- [Wie-09] Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: Handbuch Fabrikplanung - Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten, Hanser-Verlag, München, 2009.
- [Wom-03] Womack, J.P.; Jones, D.T.: Lean Thinking, Campus Verlag, Frankfurt, 2003.
- [Wu-94] Wu, B.: Manufacturing Systems Design and Analysis – Context and Techniques, Chapman & Hall, 2. Auflage, London, 1994.
- [Yag-07] Yagy, S.: Das synchrone Managementsystem – Wegweiser zur Neugestaltung der Produktion auf Grundlage des synchronen Produktionssystems, mi-Fachverlag, Landsberg am Lech, 2007.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Routenzug im Produktionsumfeld [Gün-12]	13
Abbildung 1-2: Ziele bei der Einführung von Routenzügen sowie deren Zielerfüllung [Gün-12]	14
Abbildung 1-3: Ausgewählte Wechselwirkungen in Routenzugsystemen und Auswirkungen auf die Zielgrößen	15
Abbildung 1-4: Beschreibungsebene des Modells	20
Abbildung 1-5: Gliederung der vorliegenden Arbeit	26
Abbildung 2-1: Schematische Darstellung eines Routenzugsystems [VDI5586]	28
Abbildung 2-2: Klassifikation von Anhängerbauformen [Gün-13b]	29
Abbildung 2-3: Beispiele für Routenzugprozesse in der Praxis [Gün-12]	30
Abbildung 2-4: Steuerungsformen von Routenzugsystemen [Gal-13]	31
Abbildung 2-5: Top-Down Vorgehensmodell zur Planung logistischer Systeme [All-99]	33
Abbildung 2-6: Line-Back Planungsvorgehen [Klu-10]	34
Abbildung 2-7: Planungsschritte bei der Routenzugeinführung [Gün-12]	34
Abbildung 2-8: Verfügbare Methoden zur Routenzugplanung gruppiert nach Planungsphase und Zielgröße	37
Abbildung 3-1: Analyse des Vorgehens in Routenzugprojekten (n=24) [Keu-16e]	39
Abbildung 3-2: Experten-Einschätzung der Relevanz von Bewertungskriterien (n=19)	40
Abbildung 3-3: Experten-Bewertung zur Relevanz der Teilprozesse eines Routenzugsystems für die Grobplanung (n=19)	41
Abbildung 3-4: Zielbild für die Planung von Routenzugsystemen [Keu-16e]	42
Abbildung 3-5: Überblick über die Vorgehensmethodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen (vgl. [Keu-16c])	43
Abbildung 5-1: Übersicht der berücksichtigten Routenzugtechniken (vgl. [Keu-16b])	53
Abbildung 5-2: Arten der Nachschubsteuerung	56
Abbildung 6-1: Vorgehen bei der Dimensionierung von Planungsvarianten	61
Abbildung 6-2: Vergleich von Zeitermittlung auf Basis von MTM-Standardbausteinen und Handlingzeiten aus Probandenstudien [Keu-16b]	67
Abbildung 6-3: Darstellung der untersuchten Rollenanordnungen	69
Abbildung 6-4: Aufbau der Kodierung der Zeitwerte in den Datenkarten [fml-16d]	70

Abbildung 6-5: Interpolationsformel für das Zeitbausteinsystem (vgl. [Blu-16])	72
Abbildung 6-6: Beladungskonzepte für Routenzüge im Zeitbausteinsystem (vgl. [fml-16d])	73
Abbildung 6-7: Unterschiedliche Beladungskonzepte für Rollenverschiebesysteme an Pufferbahnen mit allen Anhängern gleichzeitig im Eingriff (vgl. [fml-16d])	76
Abbildung 6-8: Visualisierung der Berechnung der Fahrzeit	79
Abbildung 6-9: Bereitstellprozesse für Routenzüge im Zeitbausteinsystem (vgl. [fml-16d])	81
Abbildung 6-10: Bereitstellung von GLT im Mehr-Behälter-Prinzip nebeneinander (links) und hintereinander (rechts) [fml-16d]	82
Abbildung 6-11: Bereitstellung von Transportwagen im Mehr-Behälter-Prinzip nebeneinander (links) und hintereinander (rechts) [fml-16d]	83
Abbildung 6-12: Bereitstellung von GLT an I-Gebinde (links) und U-Gebinde (rechts) [fml-16d]	83
Abbildung 6-13: Bereitstellung von GLT mithilfe einer Verschiebedeichsel (vgl. [fml-16d])	84
Abbildung 6-14: Zeitbaustein zur Bereitstellung eines GLT auf einem Transporthilfsmittel nach dem Ein-/ Aufschubkonzept im Mehr-Behälter-Prinzip nebeneinander [fml-16d]	86
Abbildung 6-15: Hilfsbaustein für den manuellen Behältertausch im Mehr-Behälter-Prinzip nebeneinander [fml-16d]	87
Abbildung 6-16: Basis-Baustein für den Behältertausch im Mehr-Behälter-Prinzip nebeneinander für das Herausschieben eines THM aus einem U-Frame [fml-16d]	88
Abbildung 6-17: Übersicht zur Berechnung der Anzahl der Routenzugfahrer	89
Abbildung 6-18: Darstellung der verschiedenen Flächentypen (vgl. [VDI-5586])	92
Abbildung 6-19: Parametrisierbares Layout zur Darstellung des Szenarios "Eigenbeladung durch Routenzugfahrer"	93
Abbildung 6-20: Berechnung der Fahrwegbreite für 3 Typen von Fahrstraßen	94
Abbildung 6-21: Darstellung des Szenarios "Einbahnstraße ohne Überholen" bei Bereitstellung mittels Transportwagen	95
Abbildung 6-22: Darstellung zur Berechnung des nutzbaren Bereitstellungsstreifens	96
Abbildung 6-23: Darstellung des Szenarios "Einbahnstraße ohne Überholen" bei Bereitstellung mit Rollenverschiebesystem	97
Abbildung 6-24: Anstellung im 1-Behälter-Prinzip mit Endanschlag (links) und ohne (rechts)	98
Abbildung 6-25: Anstellung im 2-Behälter-Prinzip hintereinander (links) und nebeneinander (rechts)	99

Abbildung 7-1: Vergleich einer klassischen Ergonomiebewertung mit Kraftmessungen an unterschiedlichen Routenzugtechniken [Keu-16]	106
Abbildung 7-2: Verlauf der Gesamtkraft beider Hände während einer Kurvenfahrt mit vier Lenkrollen [Keu-16c]	107
Abbildung 7-3: Kraftmessgriffe, Datenlogger und Smartphone [fml-16c]	109
Abbildung 7-4: Testparcours für Transportwagen [fml-16d]	111
Abbildung 7-5: Testparcours für vier Lenkrollen und eine Bockrolle bei Transportwagen [fml-16d]	112
Abbildung 7-6: Handhabungsschritte beim 1:1-Behältertausch bei E-Frame und U-Frame [fml-16c]	113
Abbildung 7-7: Versuchsparcours für Ein-/ Aufschubkonzepte [fml-16d]	114
Abbildung 7-8: Fragebogen Schiebeversuche [fml-16c]	118
Abbildung 7-9: Veranschaulichung Kraftperzentile für Initial und Sustained Force (vgl. [Gli-13])	119
Abbildung 7-10: Veranschaulichung der Schwankungen im Kraftverlauf [fml-16c]	120
Abbildung 7-11: Initial Force in Abhängigkeit des Rollenmaterials (n = 2448 Messungen) [Keu-16c]	121
Abbildung 7-12: Sustained Force in Abhängigkeit des Rollenmaterials (n = 2448 Messungen) [fml-16b]	122
Abbildung 7-13: Abschnittsdauer in Abhängigkeit des Rollenmaterials [fml-16b]	123
Abbildung 7-14: Fahrruhe in Abhängigkeit des Rollenmaterials (n = 4226 Messungen) [Keu-16c]	124
Abbildung 7-15: Bewertung der Vibrationsbelastung durch Probanden (vgl. [fml-16b])	124
Abbildung 7-16: Materialpräferenz der Probanden (n = 37 Probanden) [Keu-16c]	125
Abbildung 7-17: Initial Force in Abhängigkeit vom Rollendurchmesser (n = 1548 Messungen) [Keu-16c]	126
Abbildung 7-18: Initial Force in Abhängigkeit des Lenkgehäuses (n = 1902) [fml-16b]	127
Abbildung 7-19: Fahrruhe in Abhängigkeit des Lenkgehäuses (n = 1902) [fml-16b]	128
Abbildung 7-20: Initial Force in Abhängigkeit der Transportwagenkonfigurationen (n = 363 Messungen) [fml-16b]	129
Abbildung 7-21: Abschnittsdauer in Abhängigkeit der Transportwagenkonfiguration (n = 363 Messungen) [fml-16b]	130
Abbildung 7-22: Vorgangsdauer in Abhängigkeit der Rollenanzahl (n = 600 Messungen) [Keu-16c]	131
Abbildung 7-23: Trefferquote in Abhängigkeit der Rollenanzahl (n = 132 Versuchskonfigurationen) [Keu-16c]	131
	189

Abbildung 7-24: Einschätzung der Manövrierbarkeit in Abhängigkeit der Rollenanordnungen (n = 333 Versuchskonfigurationen) [Keu-16c]	132
Abbildung 7-25: Initial Force in Abhängigkeit der Rollenanordnung (n = 600 Messungen) [Keu-16c]	133
Abbildung 7-26: Initial Force in Abhängigkeit der Rollenanordnung (n = 192 Messungen) [Keu-16c]	134
Abbildung 7-27: Vorgangsdauer in Abhängigkeit des Gesamtgewichts und der Grundplattengröße (n = 780 Messungen) (vgl. [fml-16b])	135
Abbildung 7-28: Initial Force in Abhängigkeit der Grundplattengröße (n = 780 Messungen) (vgl. [fml-16b])	136
Abbildung 7-29: E-Frame der Firma Still [LRI-16b]	137
Abbildung 7-30: B-Frame der Firma Still [LRI-16]	137
Abbildung 7-31: Initial Force bei E-Frame-Auswurf und Anfahren aus dem Stand [fml-16c]	138
Abbildung 7-32: Initial Force für Transportwagen und Ein-/ Aufschubkonzept (n = 423 Messungen)	139
Abbildung 8-1: Ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten (i) unter Verwendung des Multi-Kriterien-Modells nach Ghandforoush (vgl. [Keu-16])	142
Abbildung 8-2: Gewichtung der Oberkategorien der nicht monetären Bewertung von Planungsvarianten (n=19) [Keu-16]	145
Abbildung 9-1: Umsetzung der Vorgehensmethodik in einem Software-Demonstrator [Keu-16c]	153
Abbildung 9-2: Abschnittsübersicht auf Basis des Menübands des Software-Demonstrators	154
Abbildung 9-3: Bereich „Nutzer-Eingaben“ des Menübands	155
Abbildung 9-4: Eingabemaske für die Materialflussanforderungen	155
Abbildung 9-5: Auswahlmöglichkeit für Light- oder Detail-Modus	156
Abbildung 9-6: Eingabemaske für Randbedingungen im Light-Modus	156
Abbildung 9-7: Auswahl-Menü für die Anpassung von Stammdaten von Systemelementen	158
Abbildung 9-8: Planungsvarianten-Übersicht mit Auswahl-Fenster für schnelle Anpassungen	159
Abbildung 9-9: Ausschnitt aus der Detailansicht für Planungsvarianten	159
Abbildung 9-10: Darstellung der zentralen Planungsergebnisse im Kennzahlen-Cockpit	160
Abbildung 9-11: Detaildarstellung der Planungsergebnisse zur Wirtschaftlichkeit	161
Abbildung 9-12: Sensitivitätsanalyse bezüglich des kalkulatorischen Personalkostensatzes	162

Abbildung 9-13: Oberkategorien der für Anhängertechniken betrachteten Kriterien [fml-16]	163
Abbildung 9-14: Auszug aus Datenblatt zu Anhängertechniken (vgl. [fml-16])	164
Abbildung 10-1: Aufbau des Evaluationskonzepts (vgl. [fml-16e])	165
Abbildung 10-2: Bewertung der einzelnen Hauptziele, der Vorerfahrung und der Einführung [fml-16e]	170
Abbildung 10-3: Ergebnisse von drei Fragen in Bezug auf den Einsatz in realen Projekten [fml-16e]	171
Abbildung 10-4: Gegenüberstellung der Fragen „ausreichende Detaillierung für den Praxis-Einsatz“ und „ausreichende Belastbarkeit der Daten für den Praxis-Einsatz“ [fml-16e]	172
Abbildung 10-5: Darstellung der Experten-Bewertung der beiden Hauptziele und der Erfahrung [fml-16e]	173
Abbildung A-1: Layout: Direkte Beladung mit Gabelstapler	195
Abbildung A-2: Layout: Eigenbeladung durch Routenzugfahrer	195
Abbildung A-3: Layout: Eigenbeladung durch Routenzugfahrer ohne Rangierbereich Gabelstapler	196
Abbildung A-4: Layout: Beladung Niederflurkommissionierer	196
Abbildung A-5: Layout Rollenverschiebesystem: Ein U-Gebinde pro Routenzug	197
Abbildung A-6: Layout Rollenverschiebesystem: Beladung an Übergabepunkt von Fördertechnik	197
Abbildung A-7: Layout Rollenverschiebesystem: Übernahme von parallelen Rollenbahnen	198
Abbildung A-8: Layout Rollenverschiebesystem: Übernahme von I-Gebinde	198
Abbildung A-9: Layout: Automatisierte Beladetechnik – Paralleler LG/VG-Tausch	199
Abbildung A-10: Layout: Automatisierte Beladetechnik – Sequenzieller LG/VG-Tausch	199

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1:	Definition der Materialflussanforderungen einer Planungsaufgabe	46
Tabelle 4-2:	Übersicht der für eine Routenzugplanung relevanten Unternehmensvorgaben	48
Tabelle 4-3:	Übersicht der für eine Routenzugplanung festzulegenden Planungsziele	49
Tabelle 4-4:	Übersicht der für eine Routenzugplanung relevanten Layoutinformationen	49
Tabelle 4-5:	Übersicht der für eine Routenzugplanung relevanten Daten zu Ladungsträgern	50
Tabelle 5-1:	Gegenüberstellung der prinzipiellen Bauformen von Routenzuganhängern	52
Tabelle 5-2:	Übersicht der für manuelles Handling verfügbaren Rollenanordnungen	54
Tabelle 5-3:	Gestaltungsmöglichkeiten des Rollentyps für das manuelle Handling	54
Tabelle 5-4:	Beladungsprozesse bei Routenzugsystemen	55
Tabelle 5-5:	Abhängigkeiten zwischen der Planungsaufgabe und der Bildung von Planungsvarianten	57
Tabelle 5-6:	Wechselwirkungen innerhalb und zwischen den Planungsdimensionen	58
Tabelle 6-1:	K.-o.-Kriterien auf Basis von Unternehmensvorgaben	62
Tabelle 6-2:	K.-o.-Kriterien auf Basis von Layoutanforderungen	63
Tabelle 6-3:	K.-o.-Kriterien auf Basis des Behälterspektrums	63
Tabelle 6-4:	Die untersuchten Rollenanordnungen für Handschiebewagen und Transportwagen [fml-16d]	68
Tabelle 6-5:	Auszug aus den Tätigkeitsabschnitten für Transportwagen [fml-16d]	69
Tabelle 6-6:	Auszug aus der Datenkarte für Handlingzeiten von Transportwagen [fml-16d]	71
Tabelle 6-7:	Übersicht über Berechnungsvorgehen zur Ermittlung der Anzahl der Systemelemente	90
Tabelle 7-1:	Die untersuchten Rollenanordnungen für Handschiebewagen und Transportwagen [fml-16d]	109
Tabelle 7-2:	Grundplattengröße und genutztes Gesamtgewicht [fml-16c]	110
Tabelle 7-3:	Einflussfaktoren und Anzahl der Faktorstufen in der ersten Versuchsreihe	115
		193

Tabellenverzeichnis

Tabelle 8-1:	Bewertungskriterien der Oberkategorie „Ergonomie“	146
Tabelle 8-2:	Bewertungskriterien der Oberkategorie „Fahreigenschaften der Routenzuganhänger“	148
Tabelle 8-3:	Bewertungskriterien der Oberkategorie „Robustheit von Prozess und Technik“	149
Tabelle 8-4:	Bewertungskriterien der Oberkategorie „Prozess-Flexibilität“	150
Tabelle 8-5:	Bewertungskriterien der Oberkategorie „Flexibilität des transportierbaren Behälterspektrums“	151
Tabelle 9-1:	Funktionen in der Nutzereingabe	157
Tabelle 10-1:	Übersicht über die durchgeführten Anwendertests	167
Tabelle 10-2:	Einfluss ausgewählter Parameter auf die Projektkosten	174
Tabelle 10-3:	Einfluss der Parameter „Durchsatz GLT“ und „Anzahl Stellplätze GLT“ auf die Gesamtkosten	175

Anhang A Layouts der Beladungsprozesse

1. Direkte Beladung mit Gabelstapler

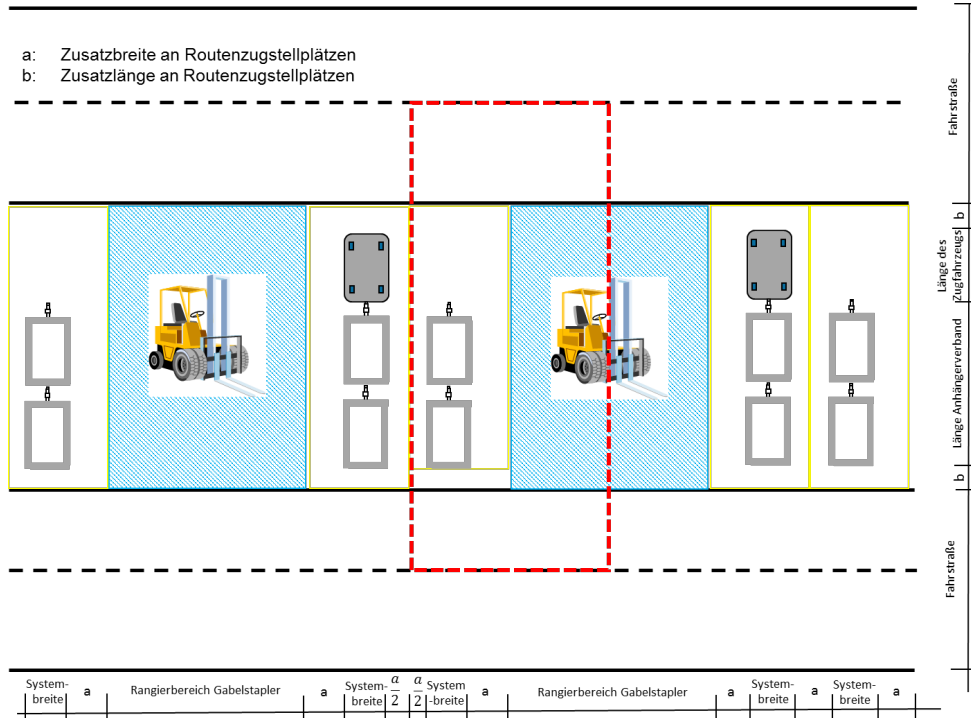


Abbildung A-1: Layout: Direkte Beladung mit Gabelstapler

2. Eigenbeladung durch Routenzugfahrer

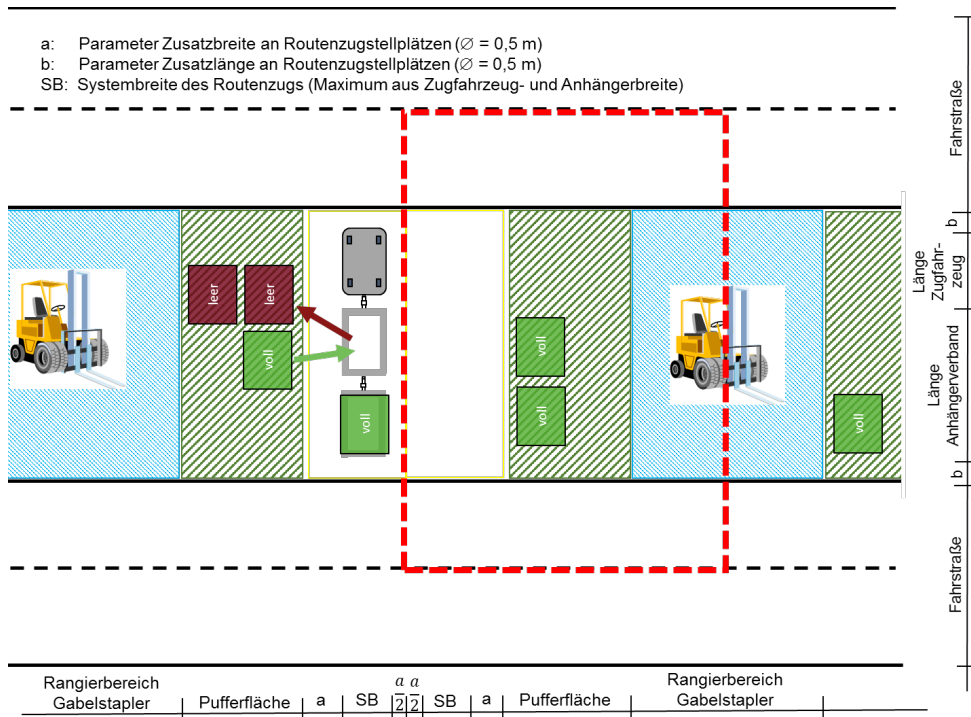


Abbildung A-2: Layout: Eigenbeladung durch Routenzugfahrer

3. Eigenbeladung durch Routenzugfahrer ohne Rangierbereich Gabelstapler

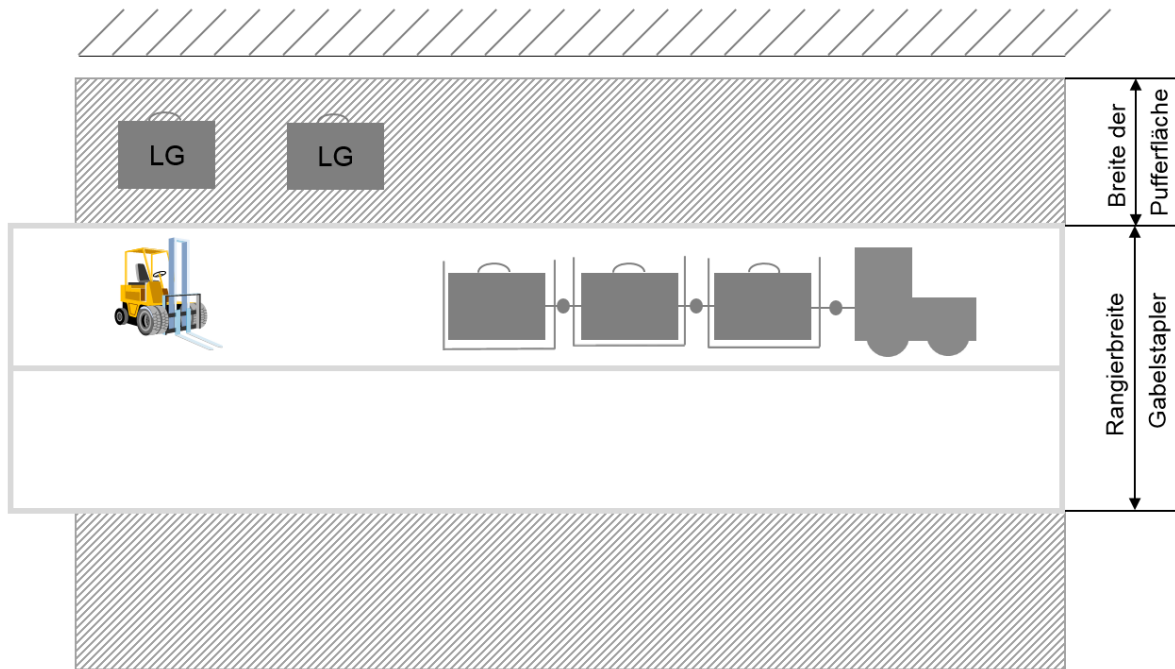


Abbildung A-3: Layout: Eigenbeladung durch Routenzugfahrer ohne Rangierbereich Gabelstapler

4. Beladung Niederflerkommissionierer

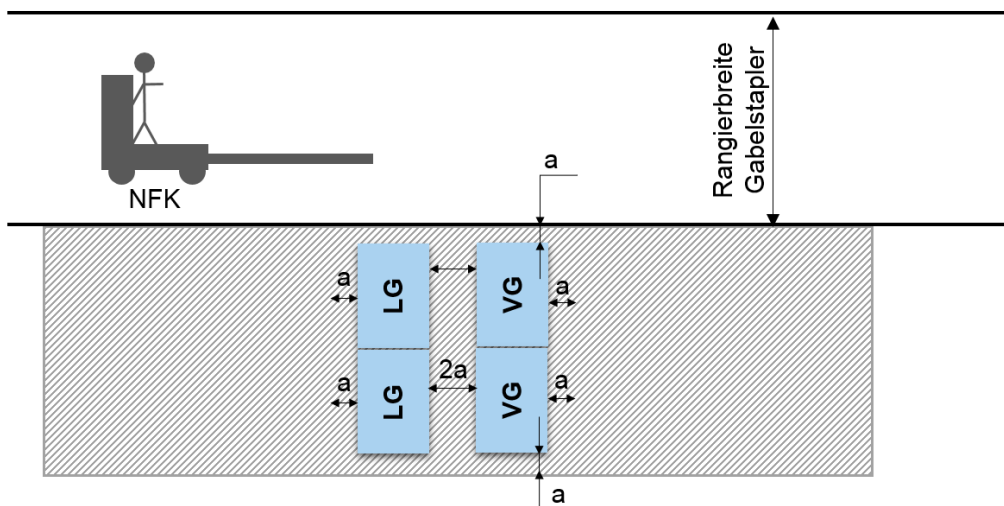


Abbildung A-4: Layout: Beladung Niederflerkommissionierer

5. Rollenverschiebesystem: 1-Gebinde U pro Routenzug

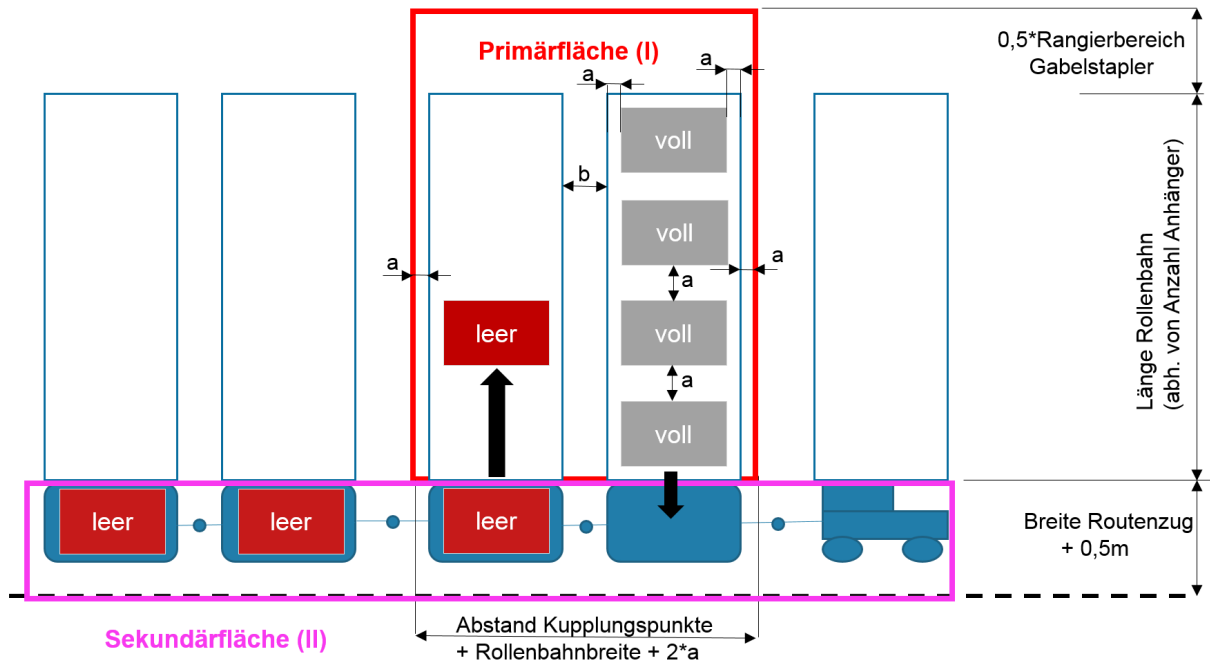


Abbildung A-5: Layout Rollenverschiebesystem: Ein U-Gebinde pro Routenzug

6. Rollenverschiebesystem: Beladung an Übergabepunkt v. Fördertechnik

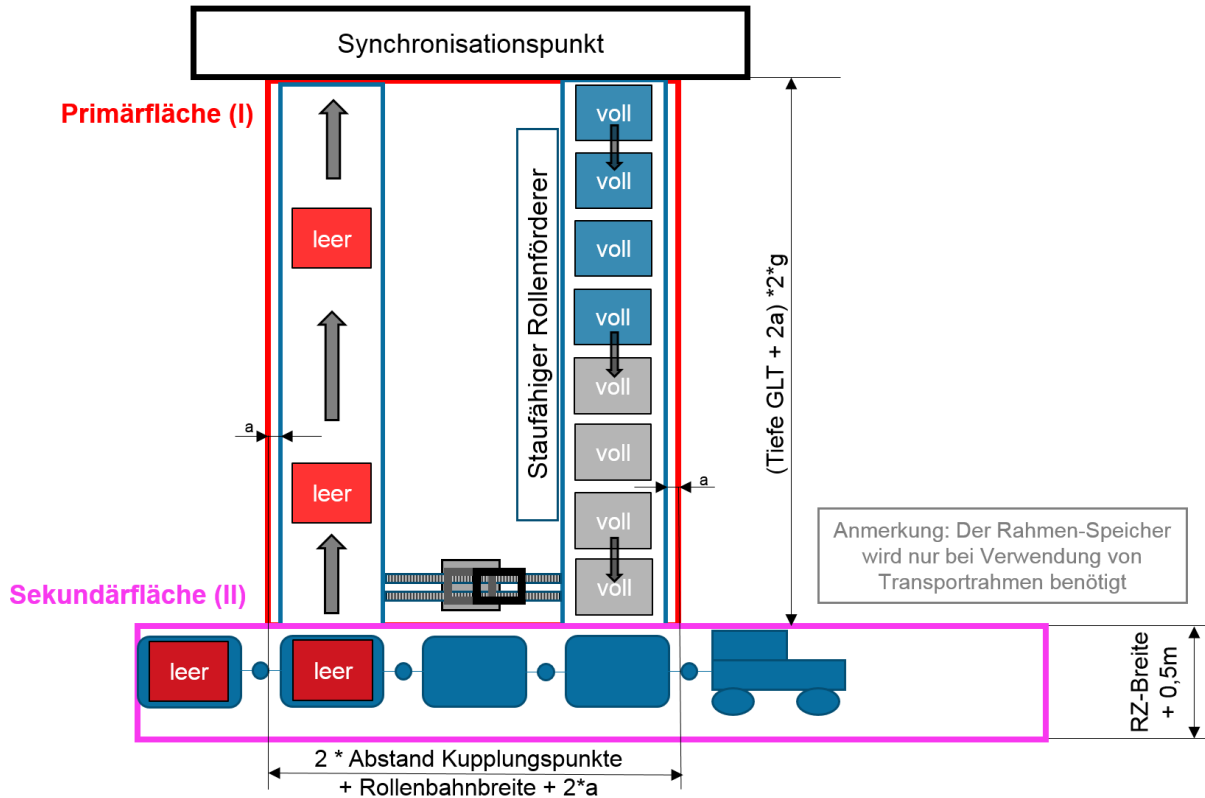


Abbildung A-6: Layout Rollenverschiebesystem: Beladung an Übergabepunkt von Fördertechnik

7. Rollenverschiebesystem: Übernahme von parallelen Rollenbahnen

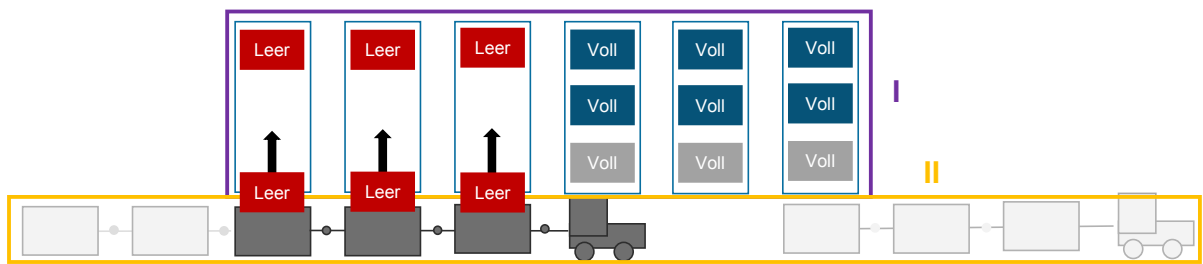


Abbildung A-7: Layout Rollenverschiebesystem: Übernahme von parallelen Rollenbahnen

8. Rollenverschiebesystem: Übernahme von I-Gebinde

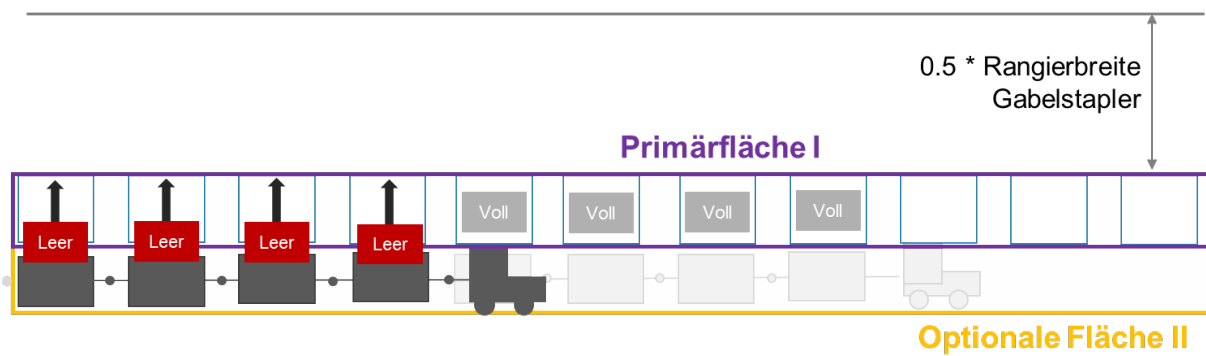


Abbildung A-8: Layout Rollenverschiebesystem: Übernahme von I-Gebinde

9. Automatisierte Beladetechnik – Paralleler LG/VG-Tausch

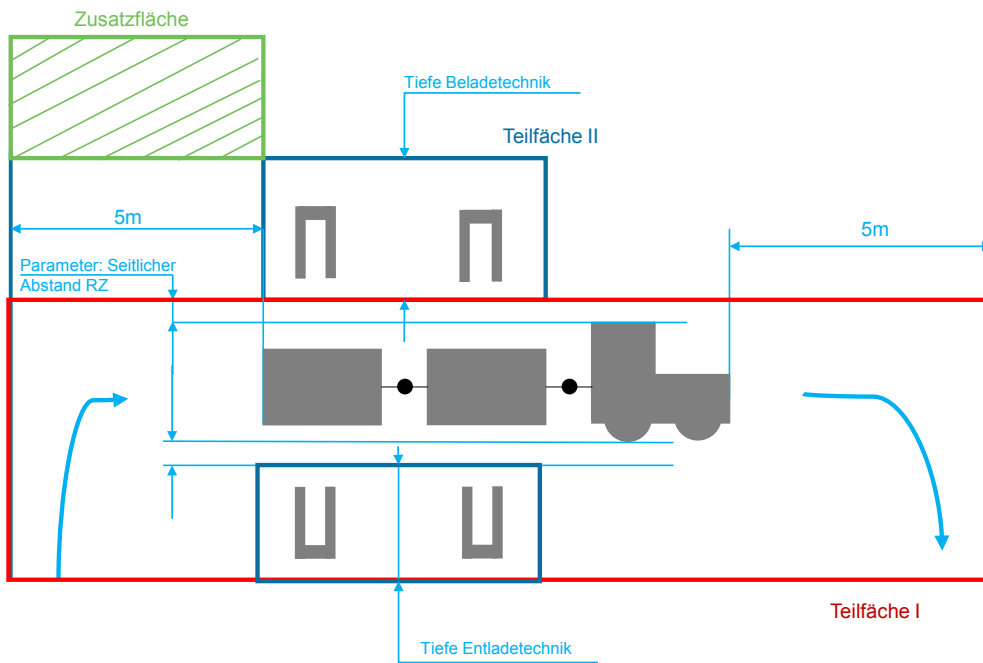


Abbildung A-9: Layout Automatisierte Beladetechnik – Paralleler LG/VG-Tausch

10. Automatisierte Beladetechnik – Sequenzieller LG/VG-Tausch

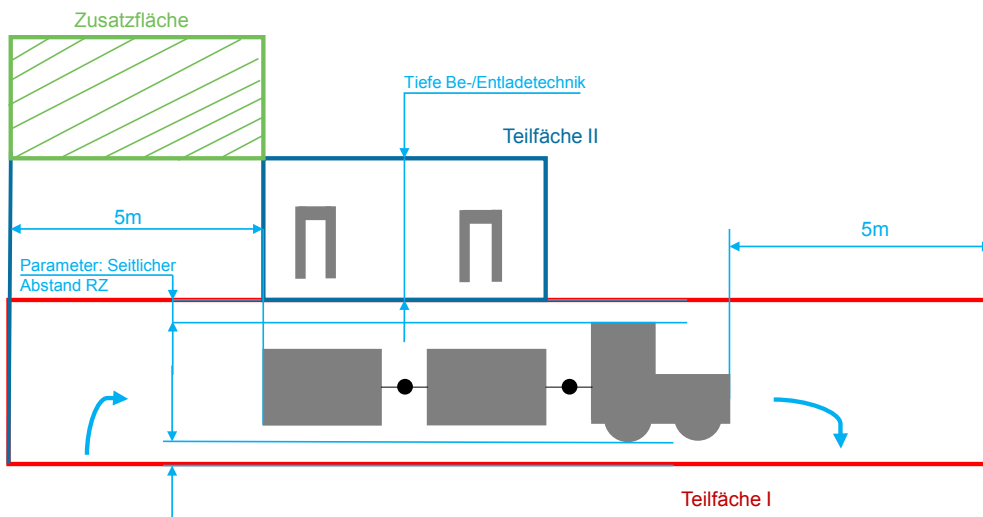


Abbildung A-10: Layout Automatisierte Beladetechnik – Sequenzieller LG/VG-Tausch