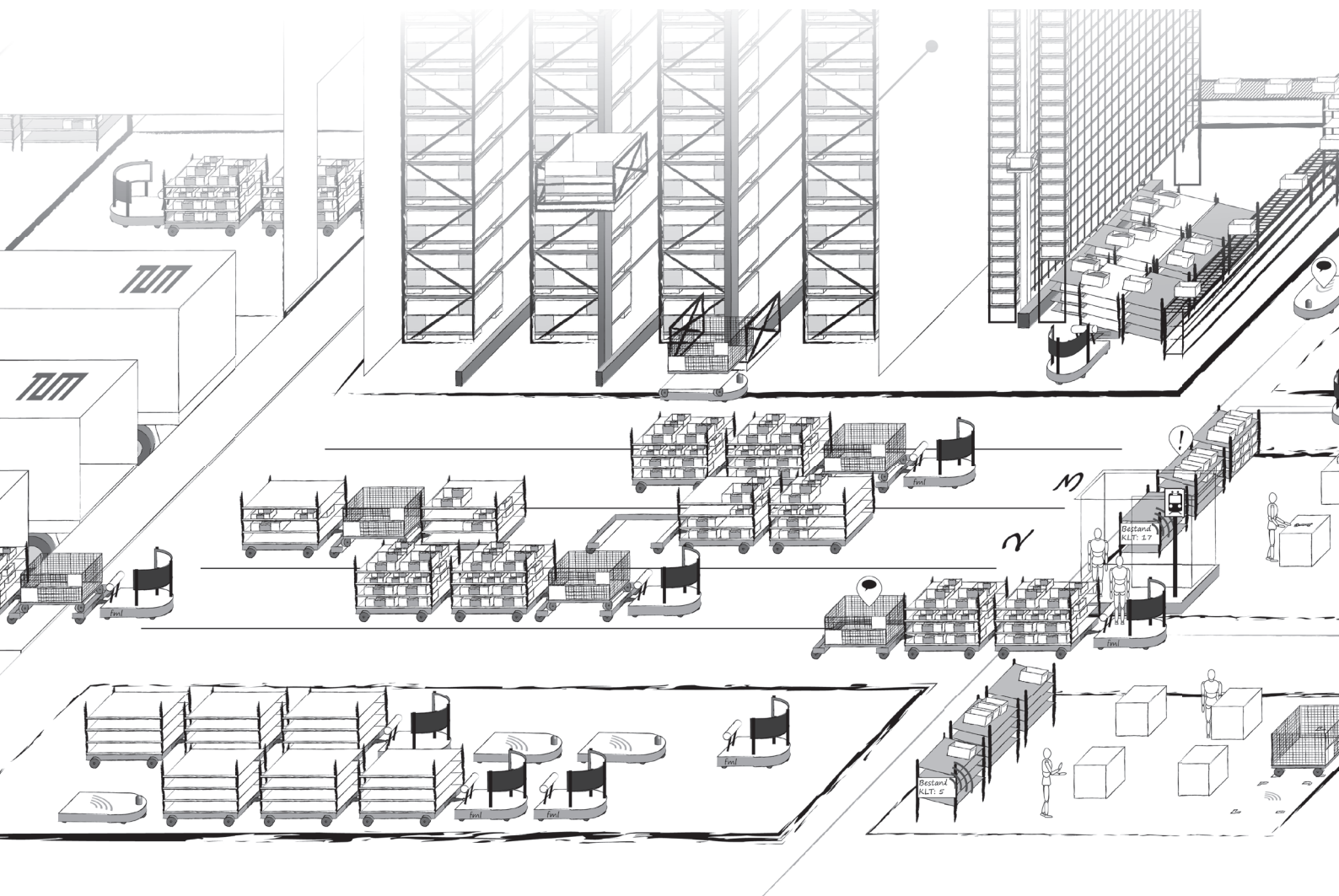


Christian Lieb, M. Sc. | Dipl.-Wi.-Ing. Eva Klenk |
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Galka | Christopher Keuntje, M. Sc.

Einsatz von Routenzugsystemen zur Produktionsversorgung

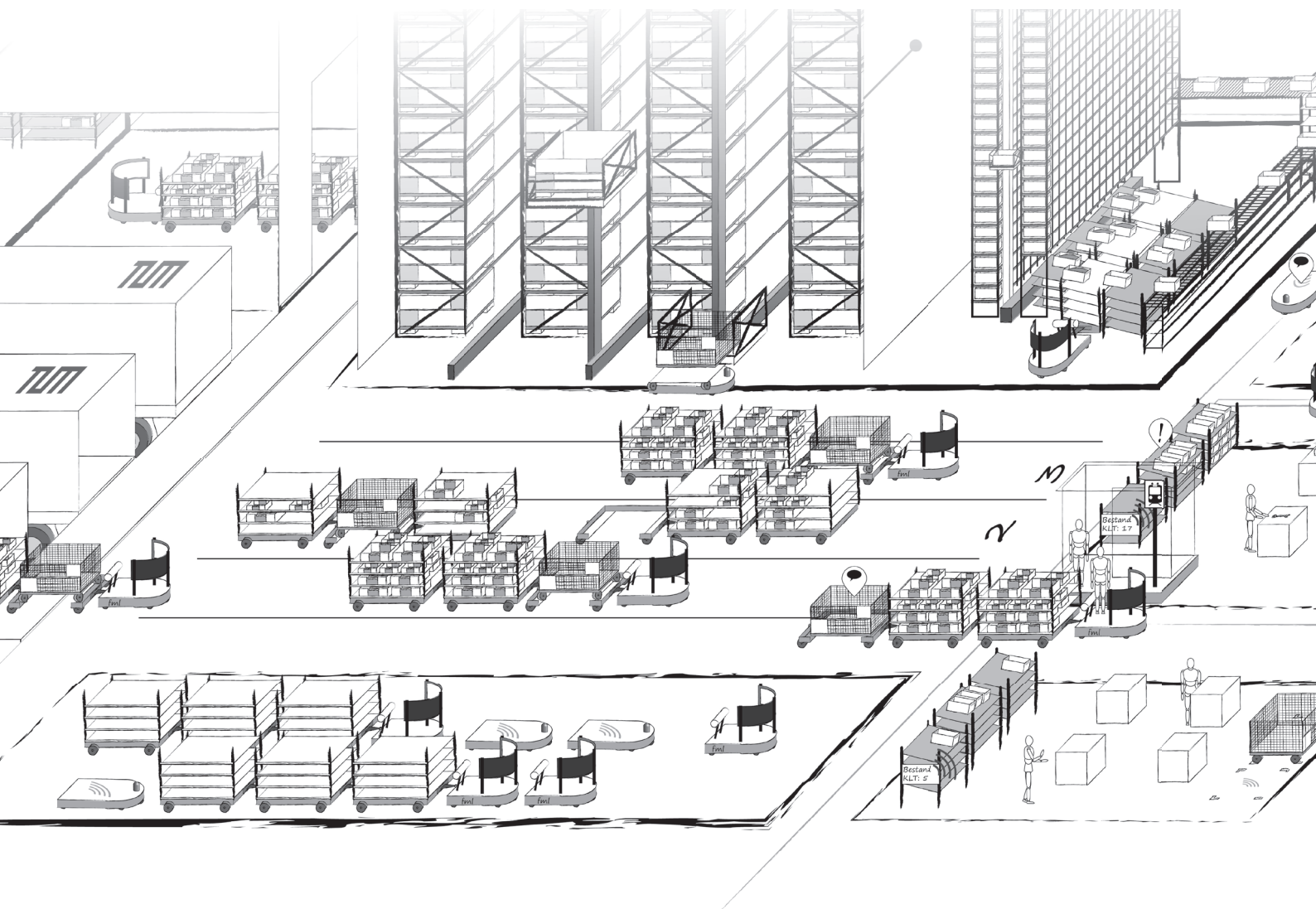
Studie zu Planung, Steuerung und Betrieb



Christian Lieb, M. Sc. | Dipl.-Wi.-Ing. Eva Klenk |
 Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Galka | Christopher Keuntje, M. Sc.

Einsatz von Routenzugsystemen zur Produktionsversorgung

Studie zu Planung, Steuerung und Betrieb



Impressum

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Johannes Fottner,
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner,
fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München

Gesamtredaktion:

Christian Lieb, M. Sc.,
Dipl.-Wi.-Ing. Eva Klenk

Autoren:

Christian Lieb, M. Sc.,
Dipl.-Wi.-Ing. Eva Klenk,
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Galka,
Christopher Keuntje, M. Sc.

Gestaltung:

Susanne Höcht,
Christian Lieb, M. Sc.

Druck:

Druckerei WIRmachenDRUCK GmbH

ISBN:

978-3-941702-79-0

Copyright 2017 – Printed in Germany

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.

Die urheberrechtlichen Verwertungsrechte liegen beim Herausgeber.
Nachdruck, Übersetzung, Vervielfältigung oder Speicherung auf Datenträger ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers möglich.

Für Satz- und Druckfehler, für unrichtige Angaben der Unternehmen sowie für Marken- oder Urheberrechte wird jeglicher Schadensersatz ausgeschlossen.

Die Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Johannes Fottner

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
Technische Universität München

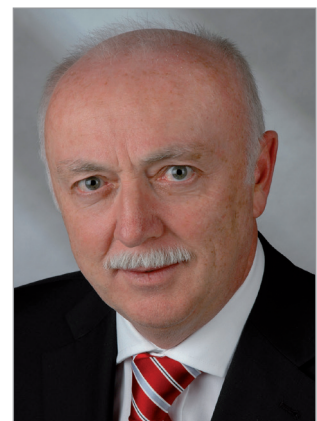
Professor Dr.-Ing. Johannes Fottner ist seit 2016 Ordinarius des Lehrstuhls fml der Technischen Universität München. Nach seiner Promotion im Maschinenwesen im Jahr 2002 arbeitete er bis 2008 in verschiedenen Managementfunktionen bei der Schweizer Swisslog Gruppe. 2008 übernahm er die Geschäftsführung der MIAS Group. Im Verein Deutscher Ingenieure (VDI) ist er seit 2015 Landesverbandsvorsitzender Bayern und stellvertretender Vorsitzender der Fachgesellschaft Produktion und Logistik.



Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
Technische Universität München

Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner leitet seit 1994 den Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München. Er ist Gründungsmitglied und war Schatzmeister der Wissenschaftlichen Gesellschaft für technische Logistik e.V., stellvertretender Vorsitzender des wissenschaftlichen Beirates der BVL und Mitglied des Vorstandes der VDI-Gesellschaft GPL.



Die Autoren



Christian Lieb, M.Sc.

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
Technische Universität München

Christian Lieb studierte Maschinenbau und Management an der Technischen Universität München. Seit April 2016 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl fml. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der Produktionsversorgung, insbesondere in der Entwicklung dynamischer Algorithmen. Des Weiteren ist er für die Bearbeitung von Simulationsprojekten zuständig.



Dipl.-Wi.-Ing. Eva Klenk

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
Technische Universität München

Eva Klenk ist Akademische Rätin am Lehrstuhl fml. Sie war Teamleiterin der Forschungsgruppe Logistik-Prozessgestaltung, bearbeitet Forschungsprojekte im Bereich Lean Logistics und Automobillogistik und ist Co-Autorin der VDI-Richtlinie 5586 - Routenzugsysteme. Ihre Dissertation widmet sich der Frage, wie Routenzugsysteme unter Berücksichtigung schwankender Transportbedarfe modelliert und dimensioniert werden können. Zuvor studierte sie Wirtschaftsingenieurwesen an der Universität Karlsruhe (TH).

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Galka

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
Technische Universität München

Stefan Galka ist seit 2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl fml. Er war Teamleiter der Forschungsgruppen Logistikplanung und Materialflusstechnik und bearbeitete Forschungs- und Beratungsprojekte in diesen Themenbereichen.

Seit 2009 ist er als Unternehmensberater für Fabrik- und Logistikplanung tätig und lehrt seit 2015 an der OTH Regensburg die Fächer Materialflusstechnik sowie Materialfluss- und Fabrikplanung.



Christopher Keuntje, M.Sc.

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
Technische Universität München

Christopher Keuntje studierte Maschinenbau und Management an der Technischen Universität München und ist seit 2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl fml. Er leitet die Arbeitsgruppe Produktionslogistik des Lehrstuhls fml, beschäftigt sich in seiner Forschungstätigkeit mit der Planung von Routenzugsystemen und ist Co-Autor der VDI-Richtlinie 5586 – Routenzugsysteme.



Fördermittelgeber

Die vorliegende Studie wurde im Rahmen des Forschungsprojekts Dynamische Routenzugsteuerung für kurzfristig schwankende Transportbedarfe initiiert. Dieses Forschungsprojekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert – GU 427/30-1.



Vorwort

Routenzugsysteme ermöglichen die effiziente Bereitstellung von Material durch den Transport unterschiedlicher Bereitstellereinheiten zu verschiedenen Bedarfsorten auf einer Fahrt. Bei der Auslegung des Routenzugsystems steht der Planer vor der Frage, wie er das System für seinen konkreten Anwendungsfall gestaltet. Drei Aspekte werden aktuell besonders intensiv diskutiert: die Standardisierung der Prozesse und Transportmittel, die Automatisierung der Be- und Entladeprozesse und die Flexibilisierung des Systems gegenüber veränderten Transportbedarfen sowie Störungen. Doch welche Ausprägungen weisen heutige Systeme tatsächlich auf? Welche Bestandteile von Routenzugprozessen sind bereits automatisiert und flexibel gesteuert? Und welche Funktionen benötigen Routenzugsysteme in Zukunft?

Eine Studie zu Stand und Entwicklung von Routenzugsystemen für den innerbetrieblichen Materialtransport des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München aus dem Jahr 2012 resümiert, dass der Standardisierungsgrad bei Routenzugkonzepten hinsichtlich Prozessen und Technik noch gering ist. Mit der Vorstellung der VDI-Richtlinie 5586 im April 2016 wurde die Basis für ein einheitliches Verständnis wichtiger Begriffe und Systemausprägungen dieses komplexen Gebiets gelegt. Die vorliegende Studie erfasst nun eine große Anzahl an tatsächlich vorhandenen Routenzugsystemen und zeigt auf, welche Merkmalsausprägungen besonders häufig auftreten. Des Weiteren wird dargestellt, welche Aspekte in der Planung berücksichtigt werden.

Um die Produktion auch bei schwankenden Transportbedarfen effizient zu versorgen, ist eine flexible Festlegung der Routen denkbar. Dynamische Steuerungsansätze bieten dazu eine vielversprechende Lösung. Die vorliegende Studie zeigt, welche Ansätze zur Planung sowie Steuerung von Routen und Touren in aktuellen Systemen eingesetzt werden und inwiefern Schwankungen und Störungen das Systemverhalten im Betrieb beeinflussen. Des Weiteren werden Erwartungen an dynamische Steuerungsansätze und deren Potenziale evaluiert.

Der steigende Drang zur Digitalisierung und Fortschritte in der Automatisierungstechnik beeinflussen zunehmend die Entwicklung von Routenzugsystemen. Ziel ist es, Prozesszeiten zu reduzieren und den Prozess fehlerresistenter zu gestalten. Die vorliegende Studie zeigt, inwieweit Prozesse bereits heute automatisiert sind und in welchen zukünftigen routenzugspezifischen Technologien von den Studienteilnehmern Potenzial gesehen wird.

Unser besonderer Dank gilt an dieser Stelle den Teilnehmern für ihre Bereitschaft an der Studie mitzuwirken. Ohne die breite Resonanz wäre eine Studie in diesem Umfang nicht möglich gewesen. Vielen Dank hierfür!

Wir wünschen eine spannende Lektüre.

Inhalt

Vorwort

Inhalt

Management Summary	12
1. Hintergrund, Zielsetzung und Studiendesign	17
2. Strukturelle Daten.....	21
3. Einsatzszenarien	25
4. Systemkonfigurationen	37
5. Planung von Routenzugsystemen.....	53
6. Festlegung von Routen und Touren	63
7. Betrieb von Routenzugsystemen	73
8. Zukunft der Routenzugsysteme	81
9. Handlungsbedarf und Vision	85
Literaturverzeichnis	93
Routenzugforschung – Veröffentlichungen des fml	94
Anhang	97

Management Summary

Key Facts



Fokus:	Routenzugsysteme zur Produktionsversorgung
Zielgruppe:	Betreiber, Planer und Hersteller von Routenzugsystemen
Branchen:	Automotive und Fahrzeugbau, Elektrotechnik und Mechanik, Maschinen- und Anlagenbau, Konsumgüter und weitere
Untersuchungsmethode:	Online-Befragung mit 241 Teilnehmern

Der Trend zum branchenübergreifenden Einsatz von Routenzügen hält an.

In der Branche Automotive und Fahrzeugbau werden Routenzugsysteme schon seit einigen Jahren erfolgreich eingesetzt, dennoch nimmt die Anzahl umgesetzter Systeme stetig zu. Auch andere Branchen nutzen inzwischen verstärkt Routenzugsysteme zur Produktionsversorgung. Dieser Trend scheint sich auch zukünftig fortzusetzen.

Kapitel 2

Die Einsatzszenarien für Routenzugsysteme werden vielfältiger.

Die Randbedingungen aus dem klassischen Einsatzszenario der Automobilindustrie – die Versorgung von Fließlinien mit geglättetem Produktionsprogramm aus Supermärkten – haben sich erweitert. Routenzüge werden mittlerweile zur Versorgung unterschiedlichster Produktionsstrukturen mit diversen Ladungsträgern aus einer Vielzahl an Quellen eingesetzt. Daher müssen bei der Konfiguration des Systems die individuellen heterogenen Anforderungen berücksichtigt werden. Die Vielfalt an technischen Lösungen und realisierbaren Prozessen sowie Steuerungsprinzipien bietet hierfür zahlreiche Möglichkeiten.

Kapitel 3

Die Systemkonfigurationen der umgesetzten Routenzugsysteme sind vielfältig.

In der Praxis umgesetzte Routenzugsysteme unterscheiden sich in den realisierten Prozessen, den eingesetzten Transportmitteln und Steuerungsprinzipien zum Teil erheblich voneinander. Es gibt nicht das Routenzugsystem; die Kombinationsmöglichkeiten sind zahlreich; die umgesetzten Konfigurationen sind ebenso vielfältig wie die Einsatzszenarien.

Kapitel 4

Der Automatisierungsgrad in Routenzugsystemen ist derzeit gering.

Automatisierte Prozessschritte sind nur selten vorhanden. Einzig die Auslagerung von Transporteinheiten aus der Quelle und die Beladung der Routenzüge sind in nennenswertem Umfang automatisiert. Dies gilt vor allem für Systeme, in denen Kleinladungsträger bereitgestellt werden. Eine autonome Fahrt des Routenzugs oder eine automatisierte Bereitstellung der Ladungsträger in der Produktion sind aktuell kaum vorhanden. Derzeitige Automatisierungslösungen bieten oft nicht die in vielen Einsatzszenarien geforderte Flexibilität. Damit eine wirtschaftliche Automatisierung in größerem Umfang möglich wird, müssen zunächst die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Automatisierung geschaffen werden, z. B. durch die Standardisierung der Bereitstellregale.

Kapitel 4

Monetäre Aspekte bestimmen die Konfiguration der Routenzugsysteme.

Während die grundsätzliche Entscheidung für die Einführung eines Routenzugsystems oft aus strategischen Gesichtspunkten getroffen wird, erfolgt die Auswahl der Systemkomponenten meist aufgrund der erforderlichen Investitionen und Personalkosten. Daneben spielt die Flexibilität des Versorgungssystems häufig eine wichtige Rolle. Hingegen werden ergonomische Aspekte bei der Systemkonfiguration seltener berücksichtigt, obwohl die Beanspruchung der im Routenzugsystem arbeitenden Personen häufig als hoch bewertet wird. Durch eine ergonomische Konfiguration kann ein gesünderes und zeiteffizienteres Arbeiten des Routenzugfahrers ermöglicht werden.

Kapitel 5

Dynamische Steuerungskonzepte bieten Flexibilität, erfordern aber erhöhten IT-Aufwand.

In den meisten Routenzugsystemen werden langfristig Routen geplant, auf denen im operativen Betrieb Touren wiederholt verkehren. Die klaren Strukturen dieser Konzepte schaffen ein transparentes System. Jedoch müssen Sicherheitspuffer eingeplant werden, um Schwankungen in den Transportbedarfen und unerwartete Ereignisse im Betrieb abfangen zu können. Dynamisch gesteuerte Routenzugsysteme, bei denen sowohl die Routen als auch der Tourenstart in Abhängigkeit der aktuellen Transportbedarfe bestimmt werden, sind noch selten im Einsatz. Erste Erfahrungen mit der Anwendung dynamischer Konzepte zeigen überwiegend positive Ergebnisse. Teils wurden einzelne Aspekte aber auch negativ im Vergleich zu statischen Systemen bewertet. Besonders der Aufwand für die notwendige Digitalisierung aktueller Systemzustände steigt an. Für die Auswahl eines geeigneten Steuerungskonzepts müssen die individuellen Anforderungen an das jeweilige Routenzugsystem berücksichtigt werden.

Kapitel 6

Schwankungen und Störungen beeinflussen die Effizienz und Versorgungssicherheit von Routenzugsystemen.

Schwankungen und Störungen treten in den meisten Routenzugsystemen auf. Werden diese nicht berücksichtigt, besteht das Risiko von Versorgungsengpässen in der Produktion. Zum Umgang mit Störungen und Schwankungen setzen die meisten Unternehmen derzeit auf Sonderfahrten und Sicherheitspuffer im Routenzugsystem. Im Schnitt sinkt dadurch jedoch die Effizienz des Systems. Strategien, um Transportbedarfe zu glätten (z. B. Transportaufträge auf spätere Touren verschieben) oder Routen dynamisch an aktuelle Systemzustände anzupassen, sind kaum umgesetzt. Um Schwankungen und Störungen zu reduzieren, empfiehlt sich beispielsweise eine Automatisierung des Abrufs. Dadurch können Bedarfsinformationen ohne Zeitverzögerung richtig und kontinuierlich übertragen werden. Wenn kurzfristige, hohe Schwankungen nicht vermeidbar sind, sollte die Einführung einer dynamischen Steuerung geprüft werden, da diese mehr Flexibilität im Vergleich zu statischen Steuerungen bietet.

Kapitel 7

Routenzüge werden auch in Zukunft zur Produktionsversorgung eingesetzt.

Die Bündelung von Transporten durch den Einsatz von Routenzügen hat sich aufgrund ihrer Effizienzvorteile bewährt. Daher gehen die Studienteilnehmer davon aus, dass Routenzüge weiterhin zur Produktionsversorgung eingesetzt werden. Ebenso wird der Mensch auch in Zukunft in Routenzugprozesse eingebunden sein, da bestimmte Prozessschritte und Randbedingungen keine wirtschaftliche und flexible Automatisierung ermöglichen. Neben einer automatischen Beladung des Routenzugs wird vor allem einer automatischen Auslösung der Nachschubaufträge großes Potenzial zugesprochen, da sich dadurch die Systemtransparenz erhöht und Schwankungen reduziert werden.

Kapitel 8

Vision



Um eine bedarfsgerechte und hochfrequente Versorgung zu gewährleisten, werden Routenzugsysteme in Zukunft enger in die Wertschöpfungskette integriert und orientieren sich damit noch stärker an der Produktion. Dies wird durch eine stärkere Vernetzung zwischen Routenzug- und Produktionssteuerung erreicht. Zusätzlich werden Teilprozesse des Routenzugsystems stärker digitalisiert und automatisiert.

Kapitel 9

1. Hintergrund, Zielsetzung und Studiendesign

Hintergrund

Routenzugsysteme gelten seit Beginn der ersten Lean-Production-Bemühungen in den 1990er Jahren als dasjenige Konzept zur Produktionsversorgung, das schlanke Prozesse, eine getaktete Logistik und eine staplerfreie Fabrik durch gebündelte Transporte für unterschiedliche Zielorte ermöglichen soll. Viele Unternehmen – allen voran die Automobil-OEM – haben im Rahmen der Umsetzung neuer, an Lean-Prinzipien ausgerichteter Produktionssysteme die Bereitstellprozesse grundlegend neu gestaltet und zuvor vorhandene Transportmittel durch Routenzüge ersetzt. Kleinere Unternehmen und Unternehmen anderer Branchen sind inzwischen nachgezogen, so dass heute Routenzugsysteme für verschiedenste Transportaufgaben Anwendung finden und unterschiedlichste Systemkonfigurationen umgesetzt wurden.

Nicht immer konnten dabei die erwarteten Potenziale auch tatsächlich realisiert werden. So zeigte etwa eine im Jahr 2012 vom Lehrstuhl fml durchgeführte Studie für einen kleinen Teil der umgesetzten Routenzugsysteme entgegen der Erwartungen eine Erhöhung des Transportaufkommens, der Personalkosten im Versorgungsprozess und der Bestände am Bereitstellort auf. Auch wird in verschiedenen Anwendungsfällen von einer geringen Auslastung der Routenzüge im Systembetrieb berichtet. [Gün-2012]

Besondere Schwierigkeiten scheinen Einsatzfälle zu bereiten, in denen sehr kleine Mengen transportiert werden müssen, in denen Transportbedarfe starken Schwankungen unterliegen, in denen besonders schwere oder große Güter transportiert werden müssen oder in denen routenzugunfreundliche Strukturen wie enge Fahrwege und Sackgassen im Layout vorliegen.

Aktuelle Bemühungen gehen daher unter anderem in Richtung einer stärkeren Automatisierung der Routenzugsysteme sowie neuer, am jeweils aktuellen Transportbedarf orientierter Steuerungskonzepte und damit hin zu einer stärkeren Integration der Routenzugsysteme in die Produktionssteuerung.

Vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussionen zu Industrie 4.0 mögen die in der Regel manuell bedienten und oft mittels vergleichsweise einfacher Technologie umgesetzten Routenzugsysteme als überholtes Konzept erscheinen. Zumindest muss damit gerechnet werden, dass bestehende oder geplante Routenzugsysteme gegenüber neuen Transportkonzepten wie etwa autonomen Fördermitteln auf den Prüfstand gestellt werden.

Welche Philosophie sich zukünftig in der Materialbereitstellung durchsetzen wird, kann die vorliegende Studie nicht beantworten. In jedem Fall bleibt festzuhalten, dass sich Routenzugsysteme in vielen Anwendungsfällen bewährt haben, weshalb von einer hohen Verbreitung auch in den nächsten Jahren ausgegangen werden darf. Neue Technologien und Möglichkeiten der Digitalisierung bieten weitere Potenziale zur Prozessverbesserung. In Industrie und Wissenschaft wird daher intensiv an deren Integration in Routenzugsysteme gearbeitet.

Zielsetzung

Welche Potenziale neue Konzepte und Technologien bieten, um Routenzugsysteme auch bei besonderen Anforderungen erfolgreich einzusetzen und bestehende Routenzugsysteme zu optimieren, ist eine der zentralen Fragestellungen dieser Studie. Darüber hinaus sollen bewährte Prozesse, technische

Lösungen und Steuerungsprinzipien erfolgreich umgesetzter Routenzugsysteme, die als Benchmark für zukünftige Systeme gelten können, identifiziert werden. Da davon ausgegangen werden muss, dass nicht jeder Prozess, jede Routenzugtechnik und jede Steuerungslogik für jeden Einsatzfall gleichermaßen geeignet ist, sollen nicht nur typische Umsetzungsvarianten herausgearbeitet werden, sondern es wird auch der Frage nachgegangen, welche konkreten Ausprägungen für welche Einsatzfälle besonders zu empfehlen sind.

Dazu sollen zunächst praxisrelevante Einsatzszenarien für Routenzugsysteme und dort vorliegende Randbedingungen, z. B. vorhandene Strukturen wie das Lager, aus dem zu transportierende Einheiten entnommen werden, sowie zu erbringende Transportvolumina identifiziert werden.

Ebenso sollen Eigenschaften umgesetzter und geplanter Routenzugsysteme, insbesondere die jeweils realisierten Prozesse, eingesetzten Transportmittel und Steuerungsprinzipien sowie die jeweilige Systemgröße, beschrieben werden. Im Abgleich mit den jeweils vorliegenden Anforderungen und Randbedingungen können typische Umsetzungsvarianten für bestimmte Einsatzfälle abgeleitet werden. Diese können als Orientierung für die Gestaltung neuer Systeme dienen.

Welche planerischen Fragestellungen bei der Systemgestaltung zu beantworten sind und welche Vorgehensweisen sich dazu bewährt haben, wird ebenfalls untersucht. Im Fokus stehen außerdem spezifisch für Routenzugsysteme zu treffende Entscheidungen: die Festlegung von Routen und Touren. Diese können auf unterschiedliche Weise gebildet werden, wobei die gewählte Entscheidungs-

logik maßgeblich die Leistung des Routenzugsystems bestimmt. Anforderungen, die sich aus dem geplanten Konzept ergeben (z. B. hinsichtlich erforderlicher Daten) und zu erwartende Einflussgrößen aus dem Systembetrieb, die bei der Planung berücksichtigt werden müssen (z. B. zu erwartende Störungen), sollen ebenfalls erhoben werden.

Über den Status Quo hinaus sollen außerdem Potenziale neuer Konzepte und Technologien, z. B. in Bezug auf eine verbesserte Integration der Routenzugsysteme in vorhandene IT-Systeme, bewertet werden.

Studiendesign

Um ein möglichst breites Spektrum an Einsatzszenarien und umgesetzten Routenzugsystemen in die Untersuchung einzubeziehen, adressiert die Studie Unternehmen aller Größen und Branchen. Zielgruppe sind sowohl Betreiber von Routenzugsystemen, als auch Personen, die derartige Systeme planen oder herstellen.

Die Datenerhebung erfolgte mittels eines Online-Fragebogens, der von September bis Dezember 2016 auf der Webseite des Lehrstuhls fml frei zur Verfügung gestellt wurde. Mit dieser Methode können Daten von einer großen Anzahl an Teilnehmern mit vertretbarem Aufwand erhoben werden. Aufgrund der im Unterschied zu einer persönlichen Befragung anonymen Erfassung und frei einteilbaren Bearbeitungsdauer kann von einer höheren Antwortbereitschaft der Teilnehmer ausgegangen werden [Bor-2009].

Der Fragebogen orientiert sich an den zuvor formulierten Zielen; die konkreten Fragen und vorgegebenen Antwortmöglichkeiten können dem Anhang entnommen werden.

Um die relevante Zielgruppe anzusprechen, wurde die Studie in einschlägigen Fachzeitschriften, auf Fachveranstaltungen und der Webseite des Lehrstuhls fml beworben. Die Kontaktaufnahme erfolgte dazu über Business-Netzwerke (z. B. XING), innerhalb derer mögliche Teilnehmer aufgrund ihrer Job-Beschreibung ausgewählt wurden, über Download-Listen vorangegangener Studien sowie persönliche Kontakte.

Aufbau der Studie

Nachfolgend werden zunächst die Vorgehensweise bei der Auswertung der Fragebögen und die strukturellen Daten der Teilnehmer genauer beschrieben (Kapitel 2).

Die darauf folgenden Kapiteln 3 bis 8 greifen die zuvor formulierten Ziele auf.

Zunächst werden in Kapitel 3 die von den Teilnehmern der Studie beschriebenen Einsatzszenarien dargestellt.

Anschließend (Kapitel 4) werden die in den Systemen der Teilnehmer jeweils umgesetzten Prozesse, technischen Lösungen und Steuerungsprinzipien sowie die jeweilige Systemgröße detailliert beschrieben und eingeordnet.

Kapitel 5 widmet sich dem generellen Vorgehen bei der Planung von Routenzugsystemen sowie den dabei verfolgten Zielen, relevanten Entscheidungskriterien und nützlichen Planungshilfsmitteln.

Die bei der Festlegung von Routen und Touren spezifisch zu treffenden Entscheidungen

stehen im Fokus von Kapitel 6. Dabei werden unterschiedliche Möglichkeiten, diese Entscheidungen zu treffen, diskutiert und die Auswirkungen dynamisch gesteuerter Systeme auf Zielgrößen des Routenzugeinsatzes, wie etwa die Versorgungssicherheit, bewertet.

In Kapitel 7 werden Herausforderungen, die im operativen Betrieb von Routenzugsystemen auftreten können (z. B. technische Störungen) erörtert und in der Praxis eingesetzte Gegenmaßnahmen vorgestellt. Außerdem wird der Frage nachgegangen, welche Daten und Informationen für einen stabilen Systembetrieb benötigt werden, welche Rückschlüsse diese auf mögliche Probleme erlauben und wie entsprechende Informationen für Mitarbeiter im Routenzugsystem angemessen bereitgestellt werden können.

Kapitel 8 bewertet aktuelle Trends und Neuerungen für Routenzugsysteme, wie etwa eine permanente Lokalisierung der Routenzüge im Layout oder ein Navigationssystem für den Routenzugfahrer. Außerdem wird die Einschätzung der Studienteilnehmer hinsichtlich der Zukunftsfähigkeit von Routenzügen vorgestellt.

Im abschließenden Kapitel 9 werden wesentliche Ergebnisse zusammengefasst, offene Fragen diskutiert sowie ein Handlungsbedarf für die Zukunft abgeleitet und die Vision des Lehrstuhls fml für ein Routenzugsystem vorgestellt.

Den Aufbau der Studie verdeutlicht Abbildung 1-1.



Abbildung 1-1

2. Strukturelle Daten

Dieses Kapitel liefert einen Überblick über die strukturellen Daten der Studie. Zunächst wird der Bezug der Teilnehmer zum Routenzugsystem dargestellt. Anschließend werden die erfassten Routenzugsysteme in primäre Transportaufgaben eingeteilt. Für die Systeme zur innerbetrieblichen Produktionsversorgung wird gezeigt, in welcher Branche und seit wann das Routenzugsystem eingesetzt wird.

Welche Daten liegen der Studie zugrunde?

Die Befragung der Teilnehmer wurde von Ende September bis Anfang Dezember 2016 durchgeführt. Insgesamt wurde der Online-Fragebogen 670 mal aufgerufen. 249 Teilnehmer beendeten die komplette Befragung in einer mittleren Zeit von 21 Minuten. Damit liegt die Beendigungsquote bei 37 %. Nur vollständige Fragebögen wurden bei der Auswertung berücksichtigt. Ausgehend von den 249 kompletten Fragebögen wurden acht Teilnehmer aufgrund von unplausiblen Antwortkombinationen ausgeschlossen, so dass eine valide Teilnehmerzahl von 241 resultiert. Je nach Auswertung ist die Datenbasis jedoch geringer, da die Teilnehmer die Option hatten, keine Angabe zu machen. Prozentuale Anteile wurden gerundet. Die hohe Anzahl an Studienteilnehmern ermöglicht allgemeine Aussagen über die Verbreitung von Routenzugsystemen in der Industrie. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich einige Teilnehmer auf dasselbe Routenzugsystem beziehen. Soweit in der anonymen Umfrage ersichtlich, ist dieser Anteil in der Auswertung jedoch vernachlässigbar klein.

Welchen Bezug haben die Studienteilnehmer zum angegebenen Routenzugsystem?

Die Teilnehmer an der Studie können in drei Gruppen unterteilt werden: Routenzugsy-

tembetreiber, Berater bzw. Dienstleister und Routenzughersteller.

Routenzugsystembetreiber (58 %) haben an ihrem Unternehmensstandort ein Routenzugsystem im Einsatz. Weitere 32 % der Studienteilnehmer waren bei der Planung oder Analyse eines Systems als Berater oder Dienstleister beteiligt. Die Routenzughersteller (10 %) gaben ihre Antworten in Bezug auf ein bei einem Kunden realisiertes System (siehe Abbildung 2-1).

Was ist die primäre Transportaufgabe des Routenzugsystems?

Routenzugsysteme werden vorwiegend für folgende Transportaufgaben eingesetzt: Produktionsversorgung, Transport von Einheiten zwischen Lagerstufen oder Entsorgung von Einheiten aus der Produktion. Die primäre Aufgabe der in der Studie erfassten Systeme ist in Abbildung 2-1 dargestellt.

91 % der Routenzugsysteme dienen primär der Produktionsversorgung. Dies bedeutet, dass Transporteinheiten von mindestens einer Quelle zu mindestens zwei Senken im Produktionsbereich auf einer Fahrt transportiert werden. Die Senke ist z. B. ein Bereitstellort an einer Produktionsstation. Quellen können entweder ein zentraler Ort (76 % der Szenarien), z. B. Lager oder Supermärkte, bzw. ein Bereitstellort in der Produktion sein (15 % der Szenarien). Letzteres tritt beispielsweise beim Transport von

Halbfertigfabrikaten zwischen zwei Produktionsarbeitsplätzen auf.

Der Transport zwischen Lagerstufen bezeichnet den Transport von Einheiten zwischen Lagern, Puffern sowie Supermärkten. 5 % der Studienteilnehmer gaben dies als primäre Transportaufgabe des Routenzugsystems an.

Bei der Produktionsentsorgung werden Fertigwaren von einem Produktionsbereich zu mindestens einem Lager, Puffer oder Supermarkt gebracht. 4 % der Studienteilnehmer gaben an, dass dies die primäre Transportaufgabe des betrachteten Routenzugsystems ist. Die Entsorgung von Leergut ist zumeist als sekundäre Aufgabe in Routenzugsystemen, die zur Produktionsversor-

gung eingesetzt werden, integriert (siehe Kapitel 4).

Die Angaben der Studienteilnehmer zeigen, dass ein Großteil der innerbetrieblichen Routenzugsysteme primär Produktionsbereiche versorgt. Besonders bei der Produktionsversorgung sind im Routenzugprozess zahlreiche Bereitstellorte vorhanden. Daher können Einsparpotenziale aufgrund der Transportbündelung besonders gut ausgenutzt werden.

Im weiteren Verlauf der Studie liegt der Fokus auf den Routenzugsystemen zur Produktionsversorgung. Damit reduziert sich die maximale Basis der Auswertungen auf 220 Studienteilnehmer.

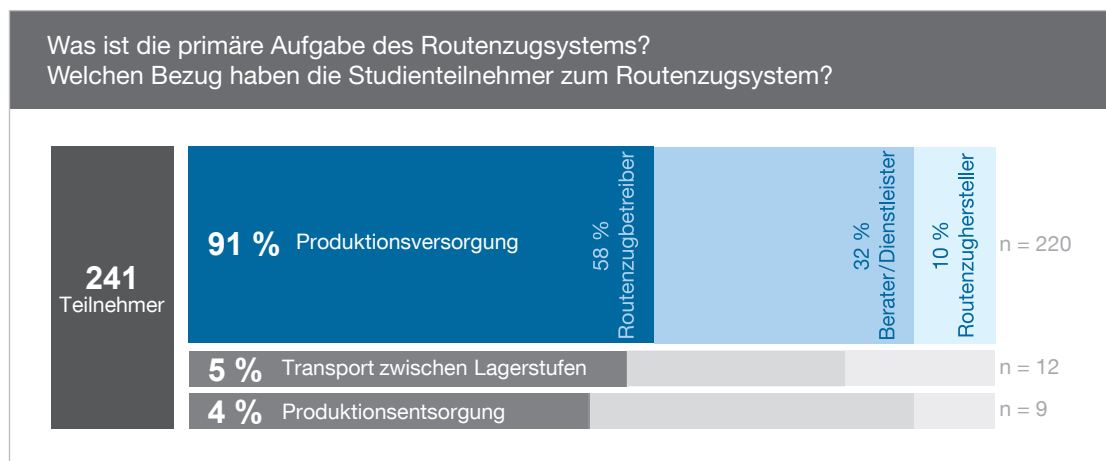


Abbildung 2-1

In welchen Branchen werden Routenzugsysteme eingesetzt?

Routenzugsysteme werden branchenübergreifend in produzierenden Unternehmen verwendet. Die in der Studie erfassten Sys-

teme werden insgesamt in elf verschiedenen Branchen eingesetzt. Besonders in der Branche Automotive und Fahrzeugbau versorgen innerbetriebliche Routenzüge häufig die Produktion (63 % der Szenarien). Jeweils ca. 11 % der Studienteilnehmer gaben

an, dass das Unternehmen, in dem das betrachtete System eingesetzt wird, den Branchen Elektrotechnik und Mechanik sowie Maschinen- und Anlagenbau zuzuordnen ist. Die Verteilung der Routenzugsysteme, auch auf weitere Branchen, ist in Abbildung 2-2 dargestellt. Zur Kategorie Sonstige Branche

zählen die Branchen Energie und Umwelt, Drucktechnik sowie Forschung und Lehre. Des Weiteren gaben 3 % der Studienteilnehmer an, dass das Produktionsunternehmen, in welchem das Routenzugsystem eingesetzt wird, mehreren Branchen gleichzeitig zugeordnet ist.

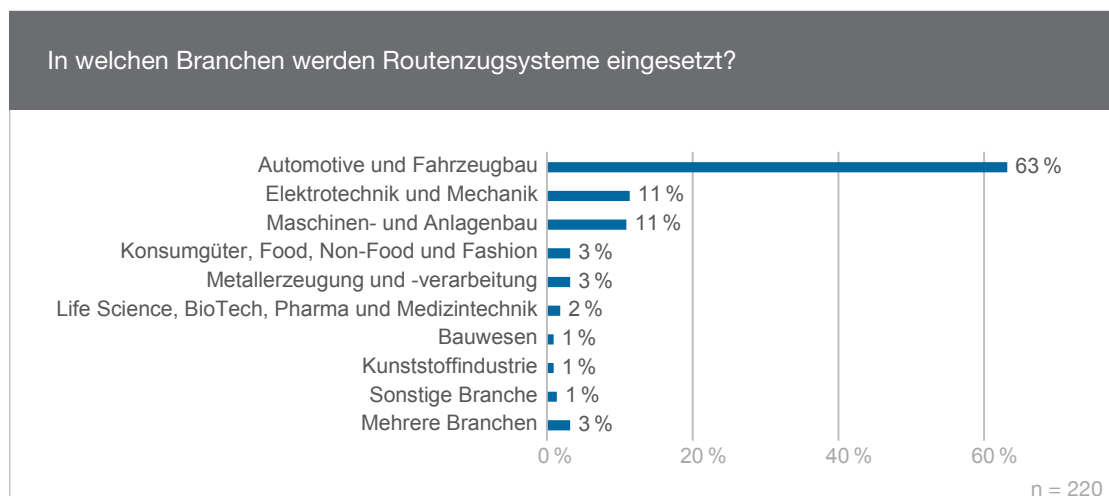


Abbildung 2-2

Wie hat sich die Zahl der eingesetzten Routenzugsysteme entwickelt?

Bereits Günthner et al. erkannten in ihrer Studie einen Trend zum vermehrten Einsatz von Routenzugsystemen [Gün-2012]. Abbildung 2-3 belegt und quantifiziert diesen Trend. Dazu wurden die Studienteilnehmer befragt, seit wann ein Routenzugsystem am Unternehmensstandort im Einsatz ist.

Seit der Jahrtausendwende ist ein deutlicher Anstieg der in produzierenden Unternehmen eingesetzten Routenzugsysteme zu beobachten. Dieser erfolgte besonders stark in der Branche Automotive und Fahrzeugbau. Ab dem Jahr 2010 ist in anderen Branchen ebenfalls eine Zunahme der Rou-

tenzugsysteme ersichtlich. Bis heute hat sich die Anzahl der eingesetzten Routenzugsysteme seitdem mehr als verdoppelt. Viele Unternehmen – besonders außerhalb der Branche Automotive und Fahrzeugbau – sammeln daher erst seit kurzem Erfahrungen mit Routenzugsystemen.

Auch in den kommenden Jahren ist mit dem Einsatz weiterer Routenzugsysteme zu rechnen. Einige Teilnehmer gaben an, dass für die Jahre 2017 und 2018 neue Routenzugsysteme bereits in Planung sind.

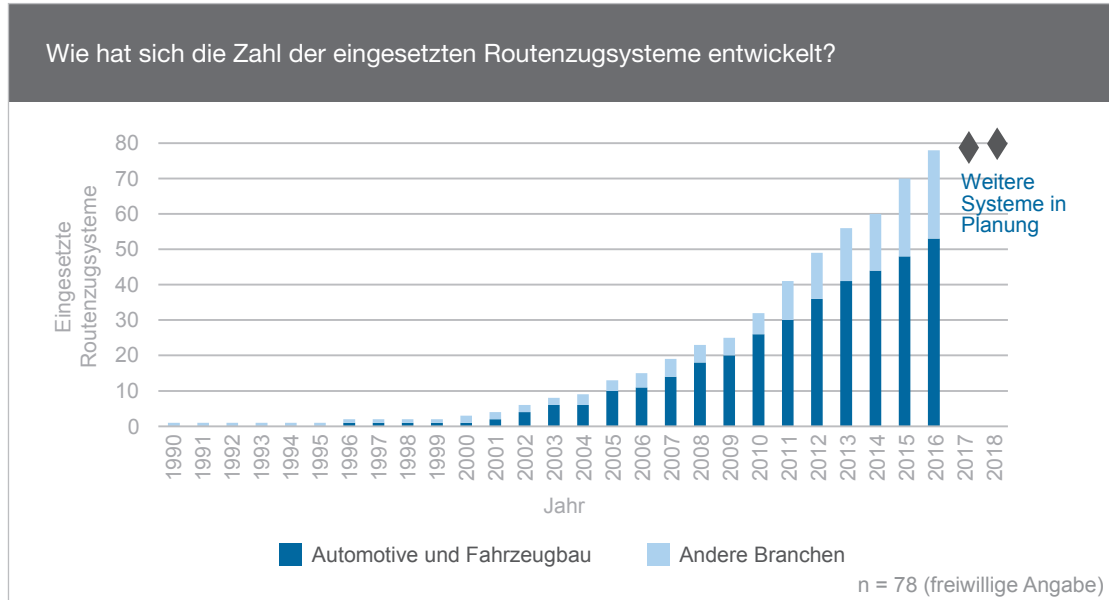


Abbildung 2-3

Fazit zu Strukturelle Daten

- 241 valide Studienteilnehmer bilden eine breite Basis für die Auswertungen.
- Innerbetriebliche Routenzugsysteme dienen primär der Produktionsversorgung.
- Routenzugsysteme werden branchenübergreifend in Produktionsunternehmen eingesetzt. Besonders in der Branche Automotive und Fahrzeugbau ist die Verbreitung hoch.
- Die Verbreitung von Routenzugsystemen folgte in den letzten Jahren insgesamt einem beinahe linearen Trend. Der Einsatz von innerbetrieblichen Routenzugsystemen in Branchen außerhalb Automotive und Fahrzeugbau wächst stark.

3. Einsatzszenarien

Routenzugsysteme dienen wie eingangs dargestellt vorwiegend zur Produktionsversorgung. Ihre Aufgabe besteht darin, für die Produktion benötigte Materialien bedarfsgerecht von einer Materialquelle zu den jeweiligen Produktionsbereichen zu transportieren und dort bereitzustellen. Wie Routenzugsysteme gestaltet werden sollten, um dieser Aufgabe möglichst gut gerecht zu werden, hängt vom konkreten Einsatzfall ab. In diesem Kapitel werden daher Rahmenbedingungen und Anforderungen, die in den in der Studie erfassten Systemen vorliegen, beschrieben.

Organisationsprinzip der Produktion

Nach welchem Prinzip sind die Produktionsbereiche, die durch Routenzugsysteme versorgt werden, organisiert?

Zunächst können Einsatzszenarien für Routenzugsysteme hinsichtlich des Organisationsprinzips der versorgten Produktionsbereiche unterschieden werden. Das Organisationsprinzip bestimmt zum einen die räumliche Anordnung der Produktionsstationen sowie Bereitstellorte im Layout und dadurch die möglichen Routen der Routenzugsysteme. So sind beispielsweise bei einer Fließproduktion Bereitstellorte in der Regel linear entlang der Fließlinie angeordnet; eine Zuweisung aufeinanderfolgender Bereitstellorte zur selben Route ist naheliegend. Wird hingegen an separaten Fertigungsinseln oder Montagestationen produziert, zwischen denen auf unterschiedlichen Wegen verkehrt werden kann, ergeben sich vielfältige Möglichkeiten der Routenführung im Routenzugsystem. Diese müssen bei der Festlegung der Routen geprüft werden.

Gemeinsam mit dem im nachfolgenden Abschnitt dargestellten Abrufprinzip bestimmt das Organisationsprinzip zum anderen, wie kontinuierlich Transportbedarfe für das Routenzugsystem anfallen. So kann beispielsweise bei getakteter Fließfertigung von einem gleichmäßigeren und besser

vorhersehbaren Materialbedarf und daraus resultierendem Transportbedarf ausgegangen werden als in Produktionsbereichen mit variierenden Produkten und Produktionsvolumina.

Knapp zwei Drittel (64 %) der im Rahmen der Studie erfassten Routenzugsysteme werden zur Versorgung von Produktionsbereichen, die nach Fließprinzip gestaltet sind (getaktete oder ungetaktete Fließfertigung), eingesetzt. Dies gilt insbesondere für Systeme in Unternehmen der Branche Automotive und Fahrzeugbau (siehe Abbildung 3-1). In anderen Branchen hingegen werden mehrheitlich Produktionsbereiche mit Gruppen- oder Werkstattfertigung von den Routenzugsystemen versorgt. Da hieraus andere Anforderungen an die Routenzugsysteme folgen, kann nicht davon ausgegangen werden, dass Systemkonfigurationen, die im Automotive-Bereich zur Versorgung von Fließlinien seit Jahren erprobt sind (z. B. das Fahren nach einem festen Takt) für letztgenannte Einsatzfälle direkt übertragbar sind. Dies gilt auch für Szenarien, in denen diverse unterschiedlich organisierte Produktionsbereiche mit demselben Routenzugsystem versorgt werden (insgesamt 4 % der erfassten Systeme).

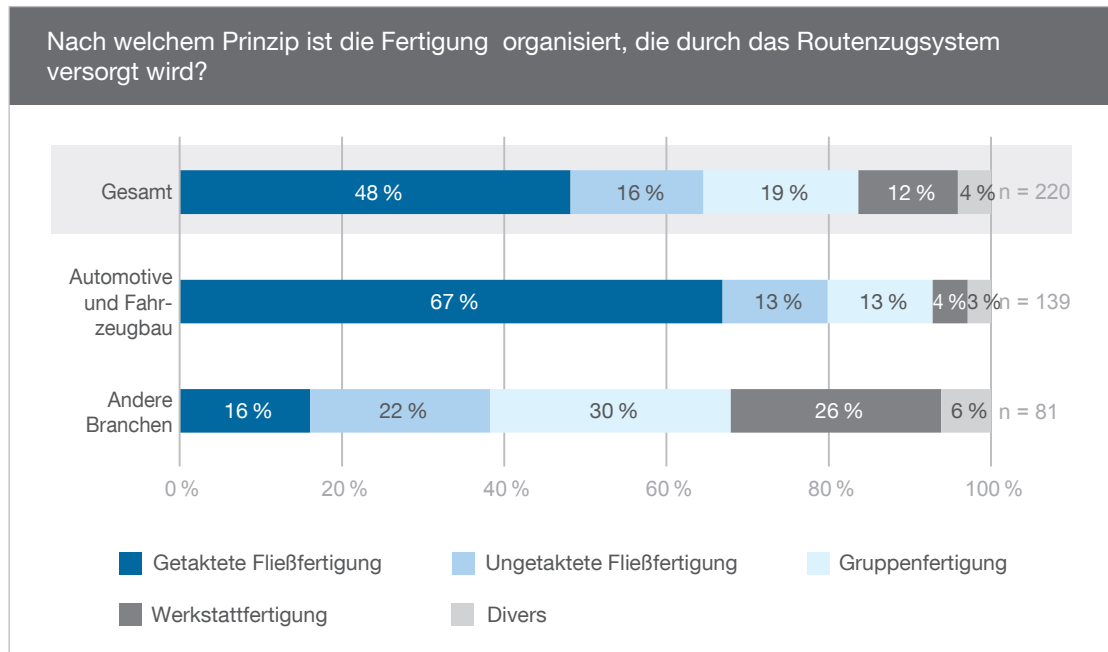


Abbildung 3-1

Abrufprinzip

Nach welchem Prinzip werden Materialabrufe für das Routenzugsystem ausgelöst?

Wann, wie und wo Transportaufträge für ein Routenzugsystem zur Produktionsversorgung entstehen, hängt neben dem aus dem Produktionsprogramm resultierenden Materialbedarf auch vom Abrufprinzip, d. h. der Logik, nach der Materialnachschub für die Produktion ausgelöst wird, ab. Grundsätzlich kann dabei zwischen verbrauchsorientierten und bedarfsorientierten Abrufen unterschieden werden. Verbrauchsorientierte Abrufe werden ausgelöst, wenn ein definierter Materialverbrauch bereits stattgefunden hat oder ein definierter Mindestbestand an Material (z. B. am Bereitstellort) erreicht wird. Bedarfsorientierte Abrufe hingegen basieren auf geplanten, zukünftigen Materialbedarfen. Das Auslösen von Materialabrufen

kann eine Aufgabe innerhalb des Routenzugsystems sein, z. B. wenn Routenzugfahrer an den Bereitstellorten Nachschubaufträge in Form von Kanban-Karten erhalten. Alternativ können Abrufe außerhalb des Routenzugsystems z. B. automatisch generiert und als Transportauftrag direkt an die Materialquelle übermittelt werden. Je nach Abrufprinzip können außerdem zur Disposition der Transportaufträge für das Routenzugsystem (z. B. Zusammenfassung zu Touren) unterschiedliche Informationen vorhanden sein (z. B. späteste Bereitstellzeitpunkte) und Transportaufträge unterschiedlich lange im Voraus bekannt sein.

In den in der Studie untersuchten Routenzugsystemen sind verbrauchsorientierte Abrufe insgesamt häufiger als bedarfsorientierte Abrufe (siehe Abbildung 3-2). In mehr als der Hälfte der Systeme werden jedoch beide Abrufprinzipien (für unterschiedliche

Materialien) genutzt. Wird weiter hinsichtlich der transportierten Ladungsträger unterschieden (siehe folgender Abschnitt), so zeigt sich, dass in Routenzugsystemen, in

denen lediglich Kleinladungsträger (KLT) transportiert werden, verbrauchsorientierte Abrufe häufiger sind als in Systemen zum Transport von Großladungsträgern (GLT).

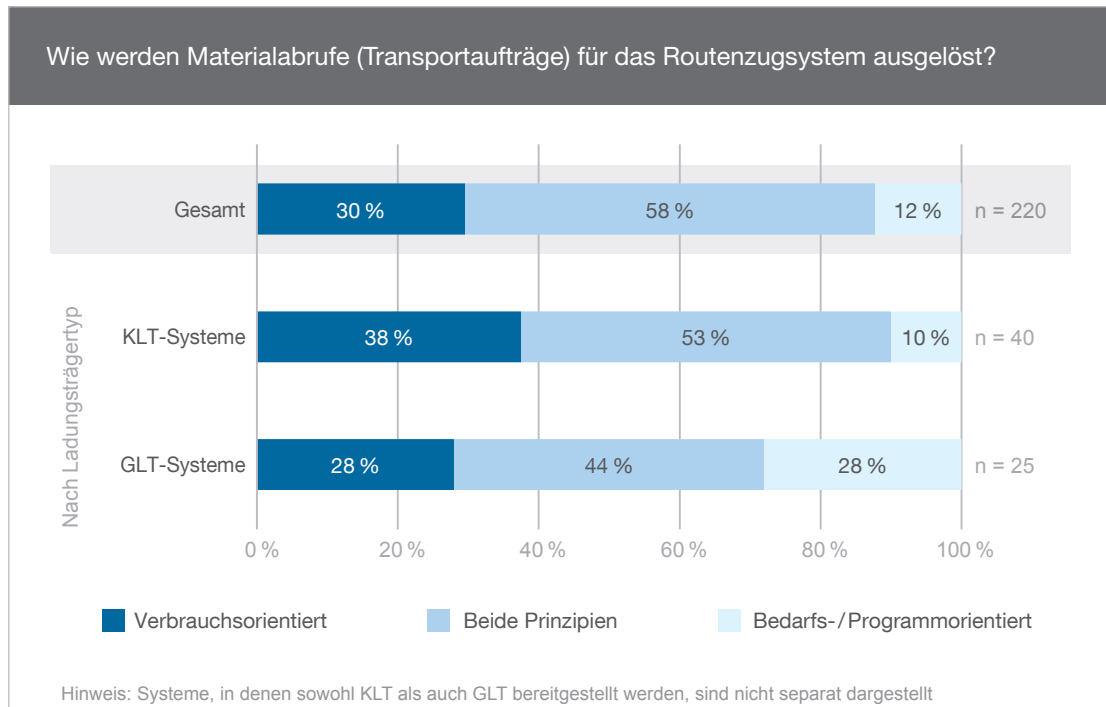


Abbildung 3-2

Wie und durch wen werden die Abrufe ausgelöst?

Das physische Auslösen der Abrufe wird dabei unterschiedlich umgesetzt (siehe Abbildung 3-3). Auch hier zeigt sich, dass in vielen Systemen mehrere Arten zum Auslösen von Abrufen gleichzeitig realisiert sind. Wird verbrauchsorientiert abgerufen, so werden die Abrufe am häufigsten manuell durch Produktionsmitarbeiter (58 % der Systeme) und Routenzugfahrer (56 % der Systeme) ausgelöst. Dies ist insofern erklärbar, als dass Produktionsmitarbeiter bzw. Routenzugfahrer ohnehin regelmäßig an den Bereitstellorten vor Ort sind und damit einen

guten Überblick über die noch vorhandenen Materialbestände haben. Verbrauchsorientierte manuelle Abrufe durch einen zusätzlichen Mitarbeiter (Feinlogistiker/Line-Runner) sind seltener umgesetzt ebenso wie automatisierte Abrufe durch ein technisches Hilfsmittel im Produktionsbereich (z. B. einen Lichttaster zur Füllstandsüberwachung).

Wird Material bedarfsorientiert abgerufen, so erfolgt dies im Großteil der Systeme (74 %) automatisch durch ein IT-System. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die für bedarfsorientierte Abrufe benötigten Informationen zum geplanten Produktionsprogramm in der Regel im IT-System (und nicht

dezentral an den Bereitstellorten) vorliegen. Daher können Bedarfs- und Abrufzeitpunkte aus dem Produktionsprogramm berechnet werden. Der hohe Anteil an Systemen, in denen Abrufe fürs Routenzugsystem manuell z. B. durch einen Disponenten oder Produk-

tionsplaner ausgelöst werden, überrascht. Hier kann davon ausgegangen werden, dass Abrufe nur zu wenigen Zeitpunkten im Tagesverlauf generiert werden und dass Transportaufträge für das Routenzugsystem damit nicht kontinuierlich anfallen.

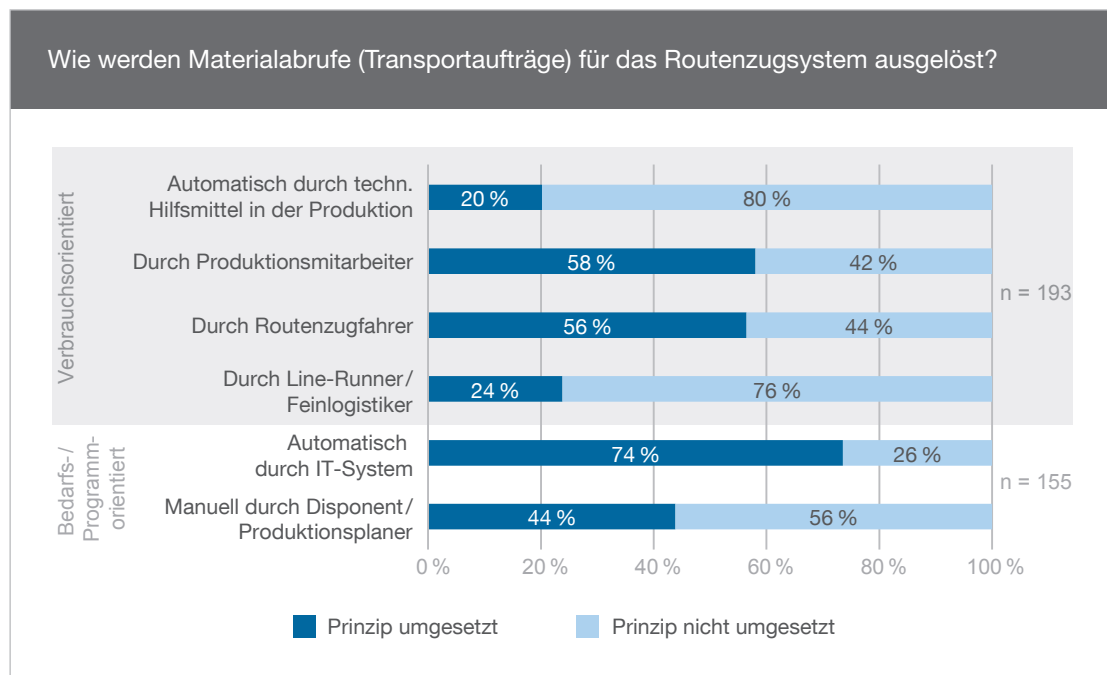


Abbildung 3-3

Die manuellen Abrufe durch Disponenten oder Produktionsplaner werden zudem deutlich häufiger als alle anderen Prinzipien in Kombination mit Gruppen- oder Werkstattfertigung eingesetzt (siehe Abbildung 3-4). Wie zuvor erläutert, resultiert bei diesen Organisationsprinzipien eine zusätzliche Varianz aus dem Produktionsprogramm. Wird ein Routenzugsystem unter diesen Rahmenbedingungen eingesetzt, sollte daher besonders geprüft werden, wie regelmäßig Transportaufträge für das Routenzugsystem anfallen und welche Strategien zum Umgang damit geeignet sind.

Automatische Abrufe durch technische

Hilfsmittel in der Produktion werden vergleichsweise häufig in Systemen mit getakteter Fließfertigung eingesetzt; niemals jedoch in Systemen mit Werkstattfertigung. Dies kann wieder auf den besonders häufigen Einsatz dieses Organisationsprinzips im Automotive-Bereich und dort schon länger diskutierte Ansätze zur automatischen Bestandsüberwachung und Abrufgenerierung zurückgeführt werden.

Zwischen den restlichen Abrufvarianten können keine Unterschiede hinsichtlich des Einsatzes für unterschiedliche Organisationsprinzipien festgestellt werden.

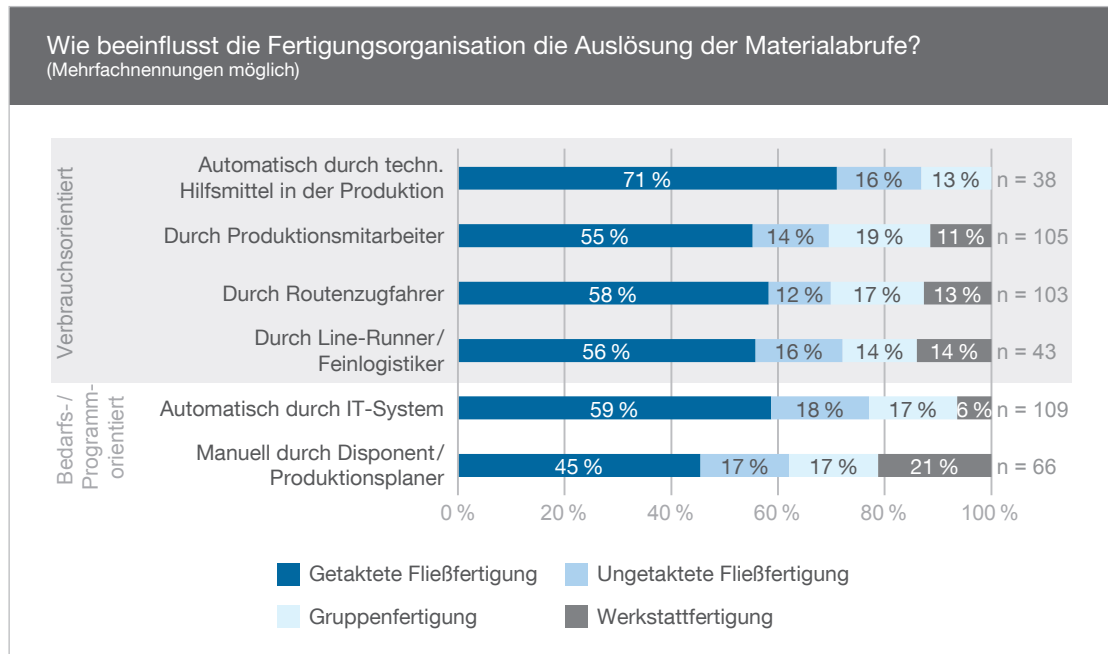


Abbildung 3-4

Transporteinheiten

Welche Einheiten werden im Routenzugsystem bereitgestellt?

Zu der Vielzahl von Transporteinheiten, die durch Routenzüge bereitgestellt werden, zählen u. a. VDA-Behälter, kleine Sonder-Behälter, Gitterboxen, Sequenzgestelle oder Bauteile, die ohne Ladungsträger transportiert werden. Für die isolierte Betrachtung des Transports von der Quelle zu einer Senke des Routenzugsystems sind die Abmessungen der Transporteinheiten entscheidend, da diese ausschlaggebend für abweichende Handhabungsvorgänge der Einheiten sind. Aus diesem Grund wird in Abbildung 3-5 die Vielzahl der Transporteinheiten zusammengefasst. Es werden die folgenden Kategorien unterschieden: Kleinladungsträger (KLT), Großladungsträger (GLT) und Ohne Ladungsträger (Ohne LT).

Die Mehrheit der Teilnehmer der Studie geben an, sowohl KLT als auch GLT mit Routenzugsystemen bereitzustellen. Dies bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass der Transport von KLT und GLT gleichzeitig auf dem identischen Routenzug erfolgt, da in einem Routenzugsystem unterschiedliche Routenzüge für die Bereitstellung von KLT und GLT verwendet werden können. Die Unterscheidung von KLT- und GLT-Routenzügen kann vorteilhaft sein, da für die Bereitstellung der Transporteinheiten oftmals unterschiedliche Transportmittel verwendet werden müssen oder sich die Materialquellen für den KLT- und GLT-Prozess unterscheiden. Nur in 21 % der Systeme werden Bauteile, die ohne Ladungsträger bereitgestellt werden, mit einem Routenzugsystem transportiert.

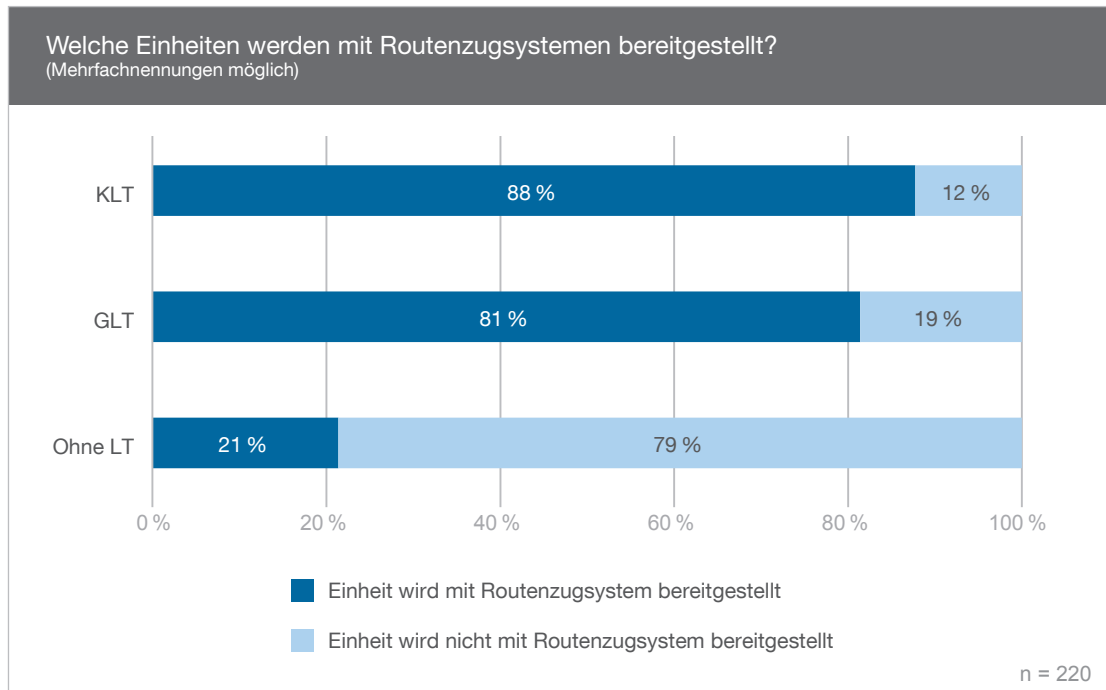


Abbildung 3-5

Wie lassen sich die Routenzugsysteme nach Transporteinheiten klassifizieren?

Um in den folgenden Kapiteln eine Auswertung von Fragestellungen mit Hinblick auf die Transporteinheit zu ermöglichen, ist die Ableitung einer Klassifikation der Routenzugsysteme hinsichtlich der transportierten Einheiten erforderlich.

Da in keinem der betrachteten Routenzugsysteme ausschließlich Transporte ohne Ladungsträger durchgeführt werden, werden diese bei der in der Studie verwendeten Klassifikation mit KLT- bzw. GLT-Systemen zusammengefasst. Daher wurden in

Abbildung 3-6 unter dem Begriff KLT-Systeme vereint, in denen sowohl nur KLT-Transporte als auch KLT-Transporte und Transporte ohne Ladungsträger stattfinden. Dies gilt analog für GLT-Systeme.

Mit einem Anteil von 69 % werden in der Mehrheit der betrachteten Routenzugsysteme sowohl KLT als auch GLT transportiert. Analog zu Abbildung 3-5 ist anzumerken, dass dies nicht automatisch bedeutet, dass beide Ladungsträgerarten (und gegebenenfalls Bauteile ohne Ladungsträger) gleichzeitig auf dem identischen Routenzugverfahren werden.

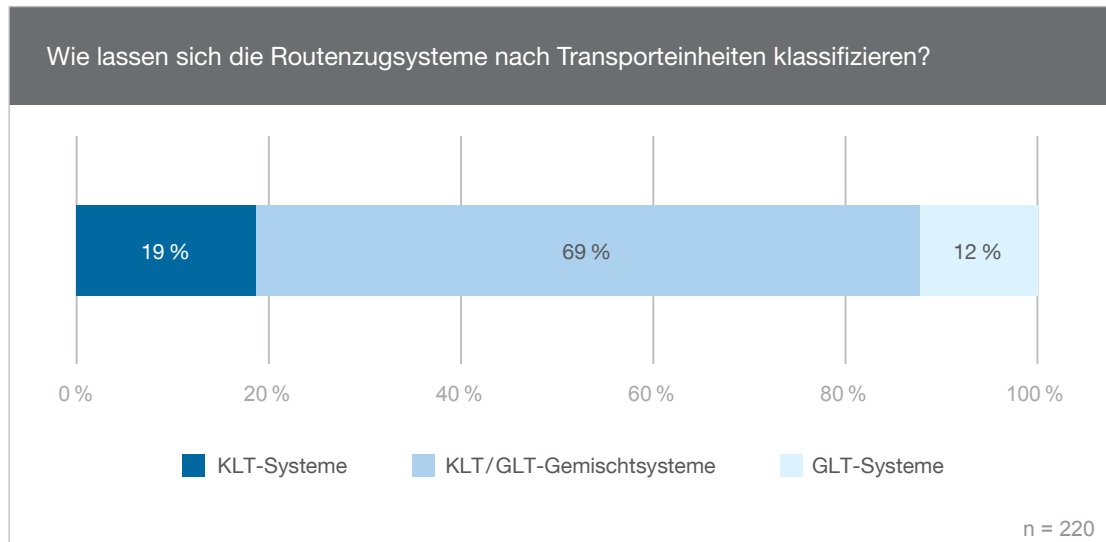


Abbildung 3-6

Die Klassifikation der Routenzugsysteme wird im weiteren Verlauf der Studie für eine separate Betrachtung von KLT- und GLT-Systemen verwendet. Hierbei handelt es sich um Systeme mit reinem Transport von KLT bzw. GLT; Systeme mit gemischtem Transport von KLT und GLT werden in Detailauswertungen nicht separat aufgeführt.

Quellen und Senken der Routenzugsysteme

Routenzugsysteme zur Produktionsversorgung verteilen Transporteinheiten, die oft aus einer einzigen Quelle stammen, an unterschiedliche Bedarfsorte in der Produktion. Diese bilden die Senken des Routenzugsystems. Als Quelle können beispielsweise ein Lager oder ein Supermarkt dienen. Am Bedarfsort kann die Bereitstellung beispielsweise in einem Regal oder auf dem Boden erfolgen. Die jeweils vorliegenden Gegebenheiten bestimmen die möglichen Aufnahme- und Bereitstellprozesse und stellen damit

eine Randbedingung für die Gestaltung des Routenzugsystems dar. Nachfolgend werden Ausprägungen der Quellen und Senken, die in den in der Studie betrachteten Routenzugsystemen vorliegen, vorgestellt. Randbedingungen, unter denen Routenzugsysteme typischerweise eingesetzt werden, können damit abgeleitet werden.

Aus welchen Quellen stammen die durch Routenzugsysteme ausgelieferten Transporteinheiten?

Als Quellen der Routenzugsysteme werden nachfolgend diejenigen Orte betrachtet, an denen Einheiten für die Auslieferung durch Routenzüge aufgenommen werden. Werden mehrere Routenzüge oder Routenzugsysteme eingesetzt, so können mehrere unterschiedliche Orte als Quelle dienen (z. B. ein KLT-Lager und ein GLT-Lager). Ein bestimmter Routenzug nimmt jedoch in der Regel Einheiten immer an derselben Quelle auf. Die Quelle muss dabei nicht unbedingt auch der Ort sein, aus dem das auszuliefernde

Material angefordert wird. Werden beispielsweise Einheiten aus einem GLT-Lager abgerufen, so werden diese häufig zunächst mit einem Gabelstapler ausgelagert und in einen Zwischenpuffer gebracht, wo anschließend die Beladung der Routenzüge stattfindet. In diesem Fall wird somit der Zwischenpuffer als Quelle des Routenzugsystems betrachtet.

Am häufigsten (66 %) nennen die Studienteilnehmer einen Zwischenpuffer (auch als Bahnhof bezeichnet) als Quelle (siehe Abbildung 3-7). In den meisten Fällen werden Einheiten nicht direkt aus diesem Puffer, sondern aus einem vorgelagerten Lager oder Produktionsbereich abgerufen und für die Auslieferung durch die Routenzüge im Puffer bereitgestellt. Bei der Bereitstellung können die Einheiten bereits für die Beladung der Routenzüge vorbereitet werden, beispielsweise indem GLT auf Trolleys aufgesetzt werden. Die Routenzugfahrer müssen dann zur Beladung lediglich den Verbund aus Trolley und GLT auf die Routenzug-Anhänger schieben. Außerdem können Transporteinheiten im Zwischenpuffer bereits nach Routen bzw. Touren sortiert bereitgestellt werden, wodurch für die Routenzugfahrer Aufwand für die Zusammenstellung der Transporteinheiten entfällt. Ein Zwischenpuffer kann zudem genutzt werden, wenn Einheiten aus mehreren unterschiedlichen Lagern oder Produktionsbereichen abgerufen, aber durch dieselben Routenzüge ausgeliefert werden sollen. Der Zwischenpuffer dient dann zur Zusammenführung der Einheiten.

Seltener (36 %) dient ein automatisiertes Lager als Quelle. Nach der Auslagerung werden Transporteinheiten in diesem Fall meist in einer Lagervorzone (z. B. auf einem Auslagerstich) ebenfalls kurz zwischengepuffert.

Die Verladung der Transporteinheiten auf die Routenzüge kann anschließend manuell, mit Hilfe eines weiteren Handhabungsmittels (z. B. Gabelstapler) oder durch spezielle automatisierte Beladeeinrichtungen erfolgen.

Von der Mehrheit der Befragten (60 %) wird auch ein manuelles Lager als Quelle genannt. Handelt es sich dabei um ein KLT-Lager, ist eine direkte Beladung der Routenzüge im Lager möglich. Handelt es sich beim manuellen Lager um ein GLT-Lager, wird zur Auslagerung zusätzliches Equipment (z. B. ein Gabelstapler) benötigt. Dieses kann auch zur Vorbereitung von Einheiten für den Transport (z. B. Aufsetzen auf Trolleys) oder zur Beladung des Routenzugs genutzt werden. In beiden Fällen kann die Auslagerung und Beladung der Routenzüge prinzipiell durch die Routenzugfahrer selbst erfolgen. Oft werden vorbereitende Schritte jedoch durch weitere Logistikmitarbeiter übernommen (siehe Kapitel 4).

Von 35 % der Teilnehmer wird außerdem ein interner Produktionsbereich als Quelle für die mit Routenzügen ausgelieferten Transporteinheiten genannt. Das Routenzugsystem verteilt damit Einheiten zwischen verschiedenen Produktionsstufen. Es ist davon auszugehen, dass in diesem Fall Einheiten zumindest in geringem Umfang im vorgelagerten Produktionsbereich gepuffert werden, bevor sie von den Routenzügen ausgeliefert werden. Die physischen Prozesse ähneln damit denjenigen für die Aufnahme von Einheiten in einem Zwischenpuffer bzw. an einem Bahnhof.

In vielen Systemen sind mehrere Arten von Quellen gemeinsam vorhanden.

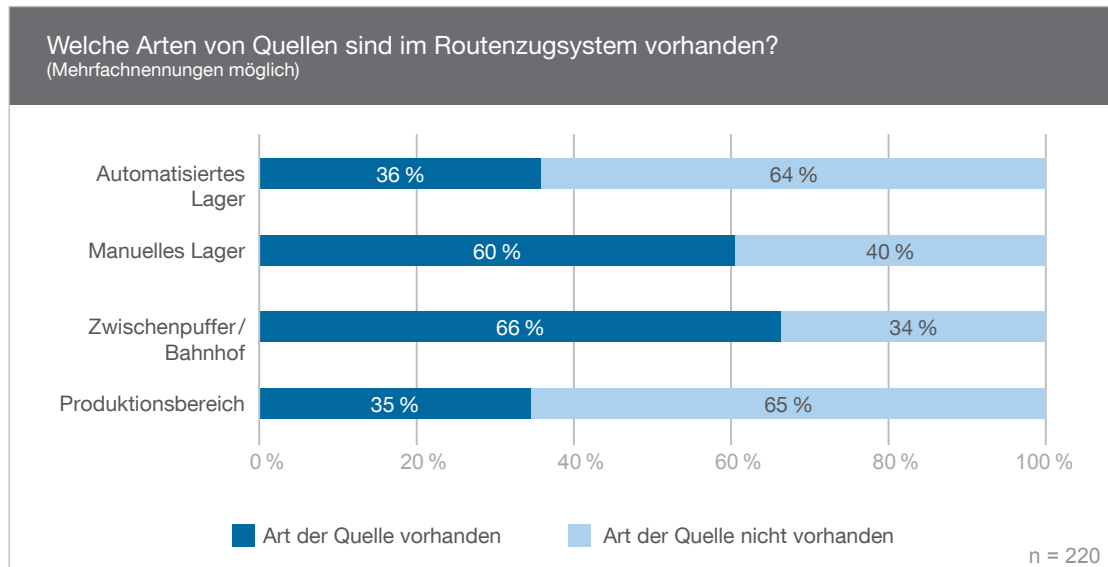


Abbildung 3-7

Die auf die Handhabbarkeit der Einheiten zurückführbaren Unterschiede zwischen KLT- und GLT-Systemen bestätigen sich auch in den Antworten der Studienteilnehmer (siehe Abbildung 3-8). So werden in reinen KLT-Systemen Transporteinheiten häufiger (55 %) im manuellen Lager aufgenommen als in GLT-Systemen (44 %). Umgekehrt werden Einheiten in GLT-Systemen (68 %) häufiger am Zwischenpuffer aufgenommen als in KLT-Systemen (40 %).

Außerdem dient ein automatisiertes Lager in KLT-Systemen (38 %) deutlich häufiger als Quelle als in GLT-Systemen (8 %). Hier kann vermutet werden, dass dies mit der generell höheren Verbreitung von automatisierten Lagern für KLT (als Lager zur Produktionsversorgung) zusammenhängt.

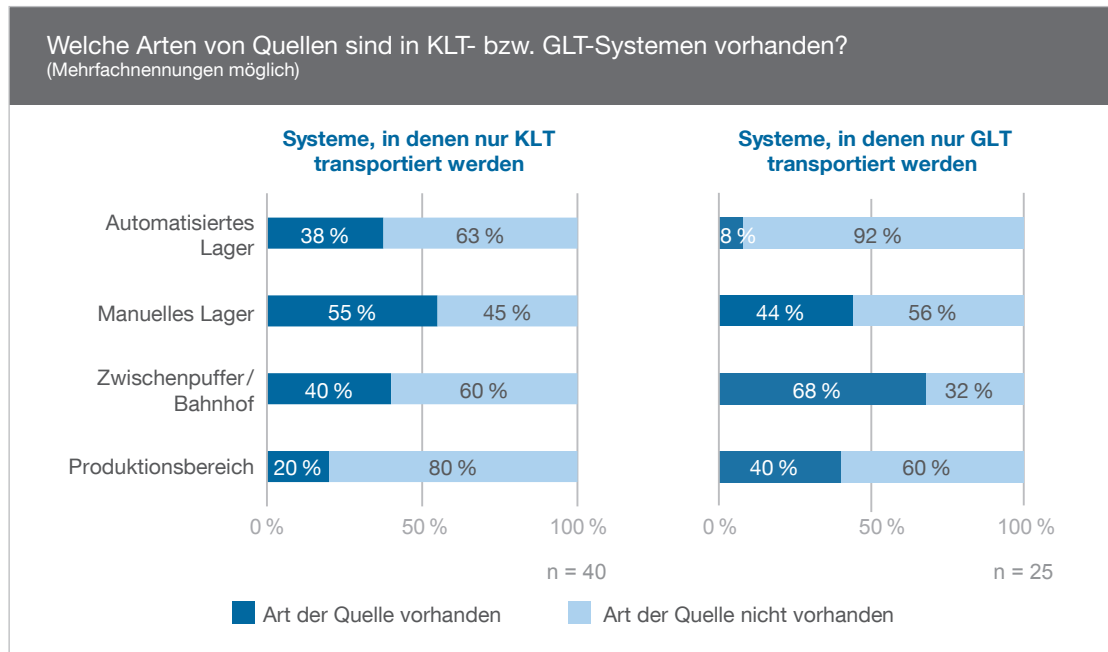


Abbildung 3-8

Wie erfolgt die Bereitstellung der Transporteinheiten im Produktionsbereich?

Mit der Bereitstellung im Produktionsbereich verlassen Transporteinheiten das Routenzugsystem. Die Bereitstellorte stellen damit die Senken des Routenzugsystems dar. Hinsichtlich der Art der Bereitstellung wird nachfolgend (siehe Abbildung 3-9) zwischen zentraler Bereitstellung im Produktionsbereich (z. B. auf einer Pufferfläche, von der aus Transporteinheiten an die Produktionsstationen weiter verteilt werden) und dezentraler Bereitstellung direkt an den Produktions-Arbeitsplätzen unterschieden. In letzterem Fall erfolgt die Bereitstellung in der Regel durch die Routenzugfahrer selbst. Voraussetzung dafür ist, dass die Bereitstellorte für die Fahrer schnell und einfach zugänglich sind. Je nachdem ob zentral oder dezentral bereitgestellt wird, resultiert eine

unterschiedliche Anzahl vom Routenzug anzufahrender Zielorte.

In den betrachteten Systemen erfolgt die Bereitstellung in fast 80 % der Fälle direkt am Arbeitsplatz, z. B. auf dem Boden oder in einem Regal. In Systemen mit getakteter Fließfertigung ist dieser Anteil höher (85 %) als in Systemen mit anderen Organisationsprinzipien. Dies kann wiederum auf die dort typische Struktur, d. h. die Anordnung der Bereitstellorte entlang der Fließlinie und die daraus resultierende einfache Zugänglichkeit zurückgeführt werden. Zwischen KLT- und GLT-Systemen kann kein Unterschied festgestellt werden.

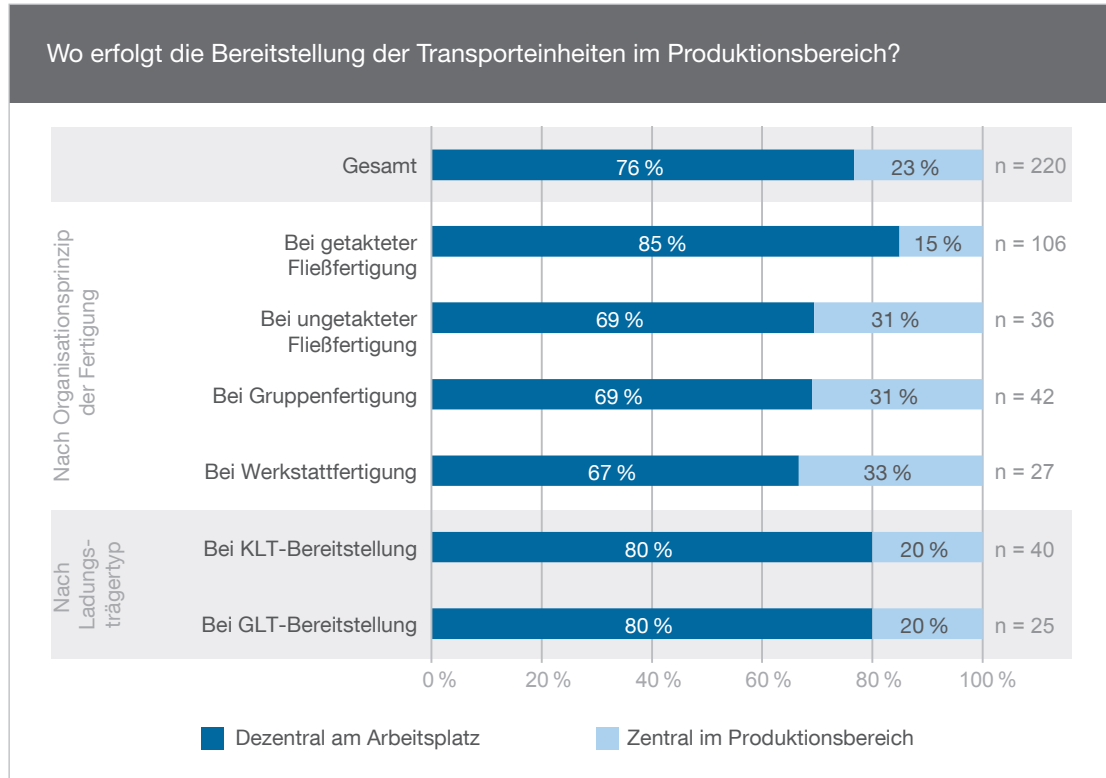


Abbildung 3-9

Fazit zu Einsatzszenarien

- Routenzugsysteme werden vorwiegend zur Versorgung von Fließproduktionen eingesetzt.
- Der Materialabruf erfolgt nach verschiedenen Prinzipien. Oft werden sowohl verbrauchs- als auch bedarfsorientierte Prinzipien gleichzeitig in einem System verwendet.
- In den meisten Routenzugsystemen werden sowohl KLT als auch GLT bereitgestellt.
- KLT-Systeme werden zumeist aus automatisierten oder manuellen Lagern gespeist; GLT-Systeme häufiger aus Zwischenpuffern und Bahnhöfen.
- Die Bereitstellung von Transporteinheiten in der Produktion erfolgt im Großteil der Systeme direkt am Arbeitsplatz.

4. Systemkonfigurationen

Dieses Kapitel beschreibt die Konfiguration der bei den Teilnehmern der Studie umgesetzten Routenzugsysteme. Dazu werden die in den Systemen vorliegenden Prozesse, die Tourenstartlogik der Systeme, die eingesetzten Transportmittel sowie die Systemgröße dargestellt und hinsichtlich der Häufigkeit ihres Auftretens eingeordnet. Somit können typische Systemkonfigurationen für Routenzugsysteme, auch in Abhängigkeit vom jeweiligen Einsatzszenario, abgeleitet werden.

Prozesse in Routenzugsystemen

Prozesse in Routenzugsystemen zur Produktionsversorgung umfassen typischerweise folgende Schritte: Transporteinheiten werden entsprechend der Transportaufträge aus einer Quelle entnommen und auf den Routenzug geladen (Vorbereitung der Touren); anschließend erfolgt die Fahrt zu den Produktionsbereichen, die Bereitstellung der Transporteinheiten an den dortigen Bereitstellorten und gegebenenfalls die Aufnahme von Leergut (Durchführung der Touren); falls Leergut eingesammelt wurde, wird dieses abschließend an einer Leergut-Senke vom Routenzug entladen, gegebenenfalls sortiert und eingelagert (Nachbereitung der Touren). Die genannten Prozessschritte können manuell von einer oder mehreren Personen durchgeführt oder teilweise bzw. vollständig automatisiert werden. Daraus resultiert eine Vielzahl möglicher Gesamtprozesse, wobei jeder Prozess verschiedene Vor- und Nachteile hat und für unterschiedliche Einsatzfälle geeignet ist. Welche Prozesse in der Industrie wie häufig und bei welchen Randbedingungen umgesetzt sind, wird nachfolgend untersucht.

Welche Tätigkeiten umfassen die Routenzugprozesse? Wer führt welche Tätigkeit durch?

Um die in den Routenzugsystemen der Studienteilnehmer umgesetzten Prozesse zu charakterisieren, wird zunächst untersucht, wer in den Systemen welche Tätigkeiten ausführt. Unterschieden wird dabei zwischen

Routenzugfahrern, weiteren Logistikmitarbeitern, automatisierten Elementen oder keiner Durchführung. Die Ergebnisse können Abbildung 4-1 entnommen werden.

Es zeigt sich, dass die Tätigkeiten bei der Durchführung der Routenzug-Touren (Fahrt, Bereitstellung von Vollgut und gegebenenfalls Aufnahme von Leergut im Produktionsbereich) in fast allen Systemen vom Routenzugfahrer durchgeführt werden. In den Systemen, in denen ein weiterer Logistikmitarbeiter Vollgut im Produktionsbereich bereitstellt (8 %) bzw. Leergut aufnimmt (6 %), erfolgt in der Regel durch den Routenzugfahrer eine Bereitstellung der Einheiten an einem zentralen Ort im Produktionsbereich (siehe Abbildung 3-9 in Kapitel 3). Der weitere Logistikmitarbeiter übernimmt dann die Feinverteilung an die Arbeitsplätze im Produktionsbereich.

Die Be- bzw. Entladung des Routenzugs wird in etwa zwei Drittel der erfassten Systeme vom Routenzugfahrer selbst durchgeführt, die Auslagerung von Vollgut aus dem Lager sowie die Einlagerung bzw. Sortierung von Leergut nur in etwa 20 % der Systeme. In allen anderen Fällen liegt ein mehrstufiger Prozess mit mehreren Beteiligten vor. Meist werden die genannten Tätigkeiten dann von einem weiteren Mitarbeiter übernommen, der Automatisierungsgrad ist mit gut 10 % bei den vorbereitenden und 4 % bei den nachbereitenden Tätigkeiten gering. Eine automatisierte Durchführung der Routenzug-Touren ist so gut wie nicht umgesetzt.

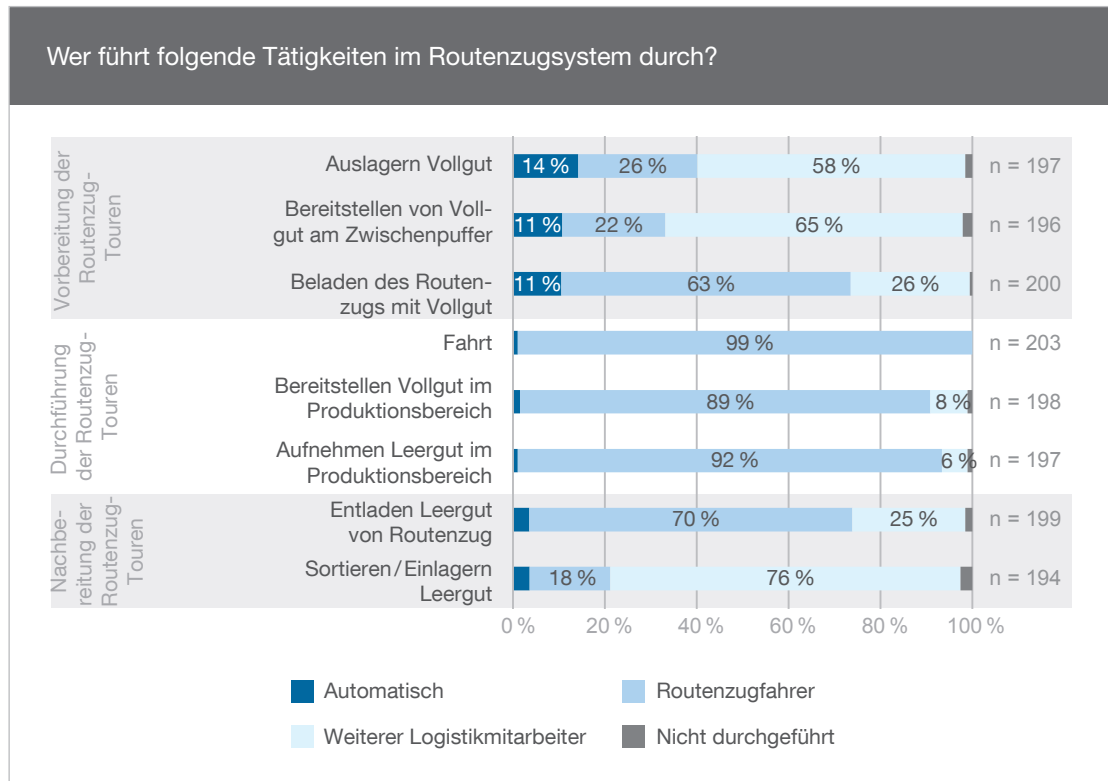


Abbildung 4-1

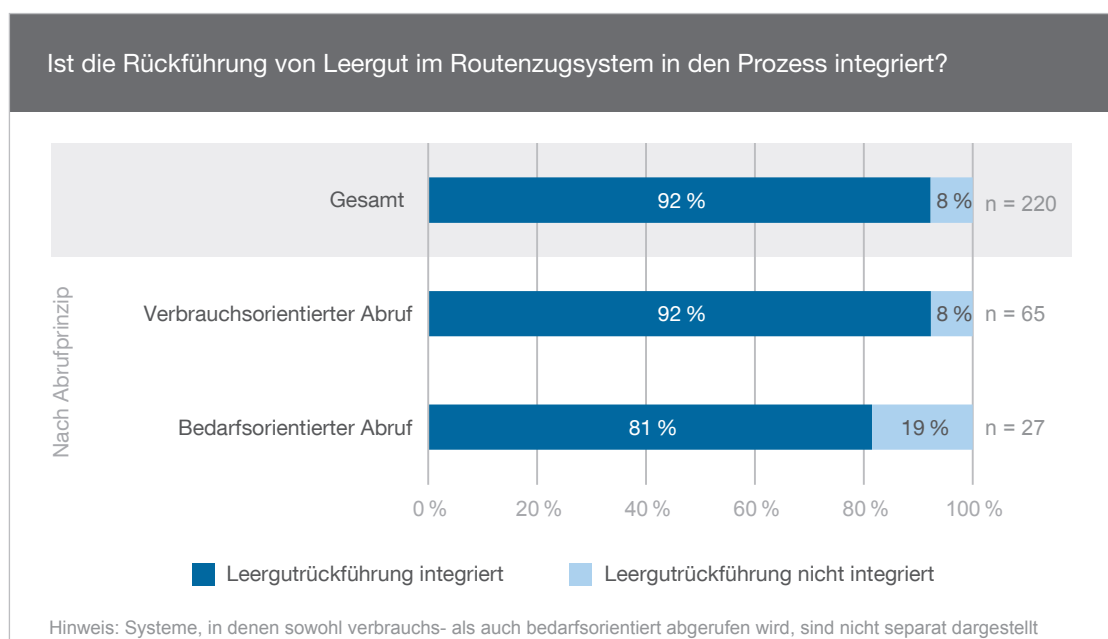


Abbildung 4-2

Die Rückführung von Leergut ist in den meisten Systemen in den Prozess integriert und wird im Mittel in 92 % der Systeme vom Routenzugfahrer übernommen. In Systemen mit bedarfsorientiertem Abruf ist dies weniger häufig der Fall als bei verbrauchsorientiertem Abruf (siehe Abbildung 4-2). Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass für erstere Systeme ein 1:1-Tausch von Vollgut gegen Leergut im Produktionsbereich einfacher zu realisieren und daher häufiger umgesetzt ist.

Gibt es Unterschiede in der Durchführung zwischen KLT- und GLT-Systemen?

Gerade beim Automatisierungsgrad in den vor- und nachbereitenden Schritten bestehen Unterschiede zwischen Routenzugsystemen, die zur Auslieferung von KLT bzw. GLT dienen (siehe Abbildung 4-3). Diese sind vor allem in den vorbereitenden Prozessschritten der reinen KLT-Systeme deut-

lich höher als bei reinen GLT-Systemen. In nachbereitenden Schritten lässt sich für KLT-Systeme ebenfalls ein höherer Automatisierungsgrad feststellen; GLT-Systeme, in denen die nachbereitenden Schritte automatisiert sind, sind bei den Teilnehmern der Studie derzeit nicht vorhanden.

Unterschiede bestehen ebenfalls bei der Beladung des Routenzugs: diese wird in GLT-Systemen deutlich häufiger vom Routenzugfahrer selbst durchgeführt als in KLT-Systemen. Dies ist insofern überraschend, als GLT im Gegensatz zu KLT nicht ohne zusätzliches Handhabungsmittel manipuliert und auf den Routenzug geladen werden können. In diesen Fällen wird der GLT häufig direkt nach der Auslagerung auf einen Trolley geladen, sodass der Routenzugfahrer diese zur Beladung des Routenzugs nur noch auf den Routenzug schieben muss.

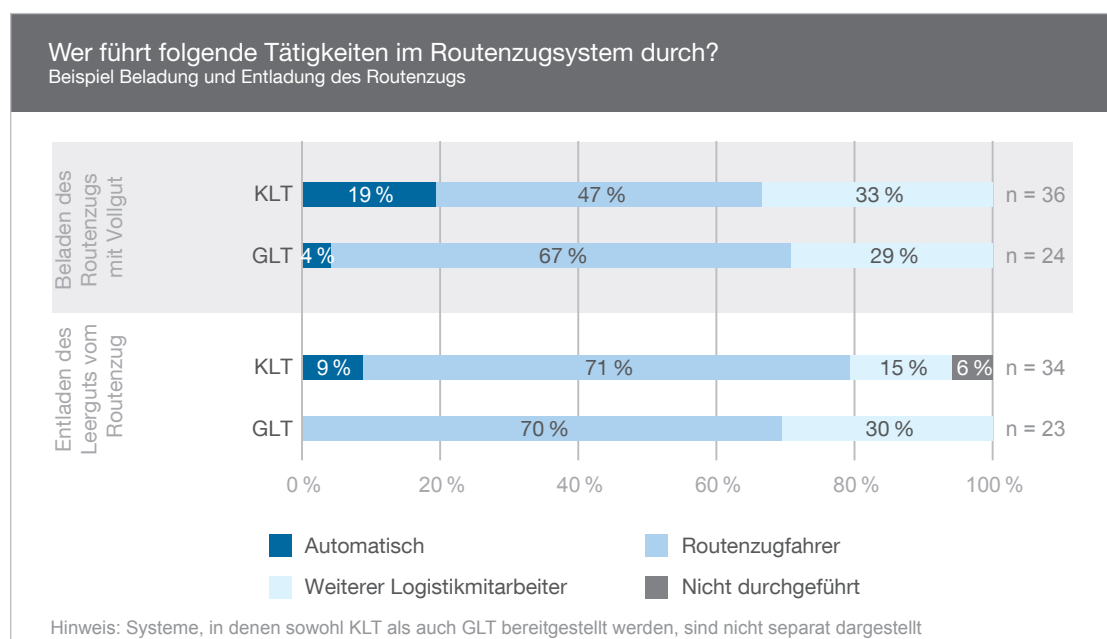


Abbildung 4-3

Welche Gesamtprozesse sind typischerweise in Routenzugsystemen umgesetzt?

Aus der Zuordnung der Tätigkeiten zu Beteiligten lassen sich die in den erfassten Routenzugsystemen vorliegenden Gesamtprozesse ableiten. Die am häufigsten beschriebenen Prozesse sind in Abbildung 4-4 dargestellt.

Im Großteil der Systeme liegt demnach ein mehrstufiger Prozess vor (Prozesse 1 bis 11), wobei die Tätigkeiten jeweils unterschiedlich zwischen Routenzugfahrern, weiteren Logistikmitarbeitern und automatisierten Elementen aufgeteilt werden. In derartigen mehrstufigen Prozessen müssen die einzelnen Prozessschritte aufeinander abgestimmt werden, damit Transporteinheiten möglichst schnell und fehlerfrei durch den Gesamtprozess fließen können; dies geht mit Steuerungs- und Abstimmungsaufwand einher. Außerdem können in den einzelnen Teilprozessen gleichartige Tätigkeiten gebündelt und effizienter ausgeführt werden. Auch kann eine Aufteilung der Prozessschritte auf mehrere Beteiligte sinnvoll sein, wenn für die einzelnen Prozessschritte unterschiedliche Handhabungsmittel benötigt werden oder wenn Transporteinheiten aus mehreren Quellen zusammengeführt werden müssen.

In 9 % der Systeme sind alle vorbereitenden Tätigkeiten automatisiert (Prozesse 1 bis 3), die Nachbereitung erfolgt in diesen Prozessen meist jedoch manuell durch einen Logistikmitarbeiter. Den größten Anteil (70 %) stellen Systeme dar, in denen Tätigkeiten zwischen Routenzugfahrern und weiteren Logistikmitarbeitern aufgeteilt werden (Prozesse 4 bis 11). Am häufigsten wird dies folgendermaßen realisiert (Prozess 8): Transporteinheiten werden durch die Logistikmitarbeiter ausgelagert und in einem Zwischenpuffer bereitgestellt; aus diesem nimmt der Routenzugfahrer die Einheiten auf und lädt sie auf den Routenzug, führt die Tour durch und entlädt am Ende der Tour aufgesammeltes Leergut wiederum in einen Zwischenpuffer; die Sortierung und Einlagerung des Leerguts übernimmt wieder ein Logistikmitarbeiter.

Prozesse, in denen sämtliche Tätigkeiten vom Fahrer übernommen werden (Prozess 11 abgesehen von der Einlagerung/Sortierung des Leerguts und Prozess 12) wurden hingegen von den Studienteilnehmern sehr selten beschrieben. Dies überrascht insofern, als viele in der Literatur veröffentlichte Planungsansätze lediglich einstufige Prozesse fokussieren, wodurch nur ein geringer Teil der in der Praxis umgesetzten Prozesse abgebildet wird.

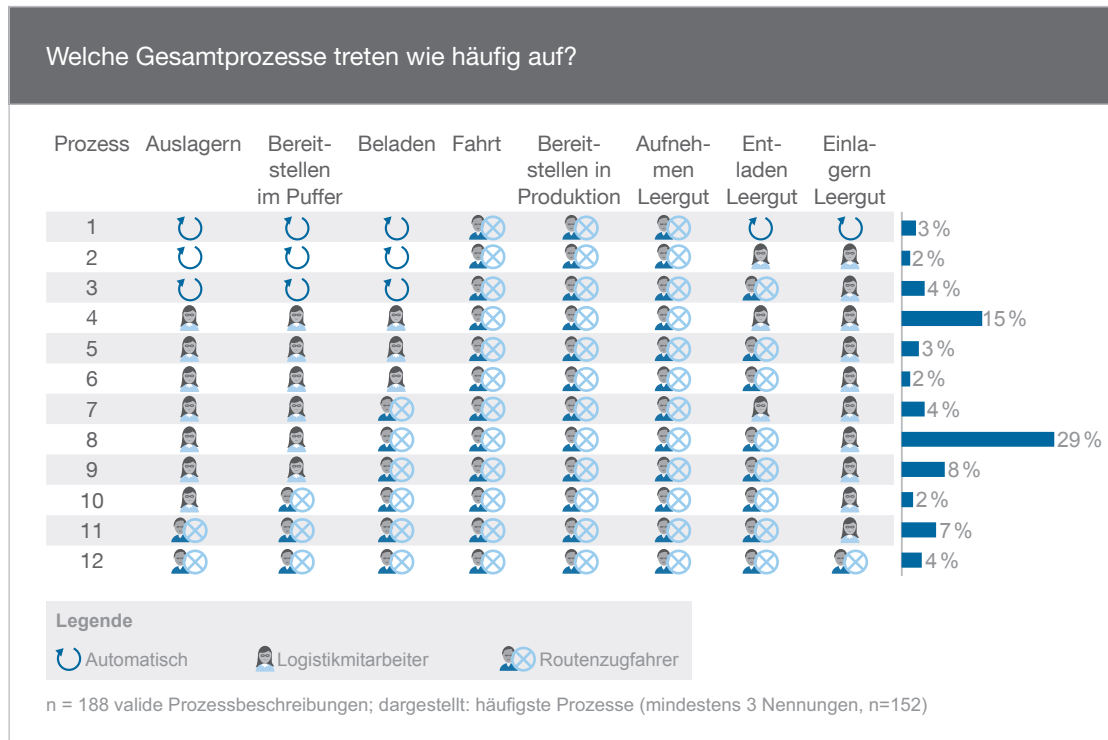


Abbildung 4-4

Steuerungslogik des Tourenstarts

Wie werden die Touren der Routenzüge gestartet?

Durch den Zeitpunkt des Tourenstarts wird maßgeblich festgelegt, welche Transportaufträge auf welcher Tour ausgeliefert werden können. Eine optimierte Festlegung der Startzeitpunkte ermöglicht eine hohe Auslastung der Routenzüge und die Vermeidung gegenseitiger Blockaden. Prinzipiell kann der Tourenstart nach festem Fahrplan, auslastungsorientiert oder permanent erfolgen.

Die Abfahrtszeitpunkte der Touren können auf Basis von Plandaten im vornhinein festgelegt werden; diese Art der Festlegung wird im Folgenden als statisch bezeichnet. Dies geschieht entweder durch die Festlegung eines Takts, so dass Routenzüge

z. B. alle 30 Minuten eine Tour starten, oder durch die Fixierung von festen Abfahrtszeitpunkten, die aber keinem einheitlichen Takt unterliegen, z. B. in Form eines Fahrplans. Dadurch können die Transporte mit dem Produktionstakt synchronisiert werden. Außerdem besteht eine hohe Transparenz, da sowohl Routenzugfahrer als auch weitere Mitarbeiter ohne technische Hilfsmittel nachvollziehen können, wann Fahrten der Routenzüge stattfinden. Abbildung 4-5 zeigt die Auftretenshäufigkeiten der Logiken zum Tourenstart. Eine statische Tourenstartlogik ist in 46 % der Routenzugsysteme implementiert. Diese setzen sich aus 33 % getakteten und 13 % ungetakteten Systemen zusammen. Bei den Routenzugsystemen mit getaktetem Tourenstart werden in 68 % der Szenarien unterschiedliche Takte für unterschiedliche Routen verwendet. Bei 32 %

werden die gleichen Taktzeiten für alle Routen festgelegt.

Alternativ können Startzeitpunkte auf Basis aktuell vorliegender Transportaufträge und Systemzustände operativ festgelegt werden. 53 % der Studienteilnehmer geben an, eine solche Logik im Einsatz zu haben. Grundsätzlich können drei Ausprägungen dieses dynamischen Tourenstarts unterschieden werden: Beim permanenten Tourenstart wird eine neue Tour gestartet, sobald die vorherige Tour beendet wurde. Es werden dann nur die Transportaufträge mitgenommen, die beim Ende der vorherigen Tour für die neue Tour zur Verfügung stehen und die Kapazität des Routenzugs nicht überschreiten. 23 % der Studienteilnehmer geben an, dass eine permanente Tourenstartlogik im Routenzugsystem angewandt wird. Dieses Prinzip ist einfach umzusetzen, da wenig bzw. keine IT-Unterstützung im Prozess notwendig ist. Ohne IT-Unterstützung ist eine Optimierung der Touren durch

das Verschieben von Transportaufträgen dann aber nicht möglich. Um die Versorgungssicherheit dennoch zu gewährleisten, müssen dementsprechend viele Ressourcen eingeplant werden, die im operativen Betrieb dann im Durchschnitt nur gering ausgelastet sind. Ein auslastungsorientierter Tourenstart mit Zeitgrenze wird in 19 % der Systeme eingesetzt. Dies bedeutet, dass eine Tour dann startet, sobald entweder die definierte maximale Kapazitätsauslastung bzw. Mindestauslastung des Routenzugs oder eine definierte Zeitgrenze erreicht ist. Die Zeitgrenze leitet sich entweder aus einer maximalen Zeitspanne seit dem letzten Tourenstart ab oder wird durch einen Auftrag auf der Tour bestimmt, der, sollte die Tour nicht sofort starten, nicht mehr pünktlich ausgeliefert werden kann. Zuletzt kann der Abfahrtszeitpunkt einer Tour auch durch ein IT-System aufgrund der aktuellen Aufträge dynamisch berechnet werden. In 11 % der erfassten Szenarien wird dies eingesetzt.

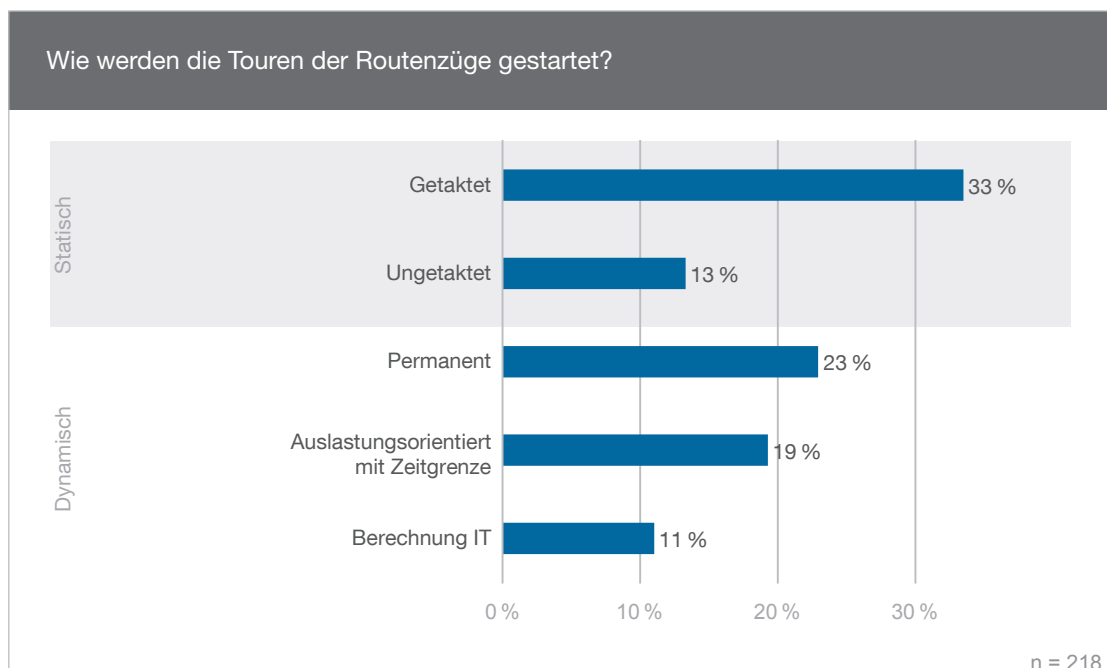


Abbildung 4-5

Um Versorgungssicherheit bei gleichzeitig hoher Ressourcenauslastung zu ermöglichen, ist eine Anpassung der Logik an das Einsatzszenario des Routenzugsystems erforderlich. Im folgenden Abschnitt wird gezeigt, wie die Tourenstartlogik mit dem Abrufprinzip zusammenhängt.

Ist die Logik des Tourenstarts vom Abrufprinzip abhängig?

Für eine dynamische Steuerung des Tourenstarts ist es wichtig, die tatsächlichen Transportaufträge möglichst früh zu kennen, da dann ein größerer Spielraum zur Bildung auslastungsoptimierter Touren besteht. Bei einem verbrauchsorientierten Abrufprinzip sollte daher möglichst wenig Zeit zwischen Registrierung des Nachschubbedarfs und Meldung des Transportbedarfs an die Routenzugsteuerung vergehen. Ebenso sollte bei einem bedarfs-/programmorientierten Abrufprinzip der tatsächliche durch das Produktionsprogramm fixierte Transportauftrag möglichst früh erzeugt werden.

renstartlogiken in innerbetrieblichen Routenzugsystemen, unterschieden nach dem Abrufprinzip, dar. Bei einem verbrauchsorientierten Abruf sind mehrheitlich Logiken vertreten, die einen festen Abfahrtszeitpunkt statisch vorgeben (60 %). Dagegen überwiegen für den bedarfs-/programmorientierten Abruf Logiken, die einen dynamischen Tourenstart ermöglichen (66 %).

Die Tendenz zu einem dynamischeren Tourenstart bei einem bedarfs-/programmorientierten Abruf basiert hauptsächlich auf einem höheren Anteil an auslastungsorientierten Tourenstarts und einem Rückgang der getakteten Tourenstarts. Dies erklärt sich zum einen dadurch, dass die Zeitgrenze bei diesem Abrufprinzip oft einfacher zu bestimmen ist; denn für den kurzfristigen Horizont sind das Produktionsprogramm und der Produktionstakt meist bekannt. Zum anderen beinhaltet der bedarfs-/programmorientierte Abruf auch manuelle Abrufe durch einen Disponenten. Da dies aufgrund der fehlenden Synchronisation von physischen Prozessen und Materialfluss häufig zu Bedarfsspitzen führt, können die

Abbildung 4-6 stellt die Verbreitung der Tou-

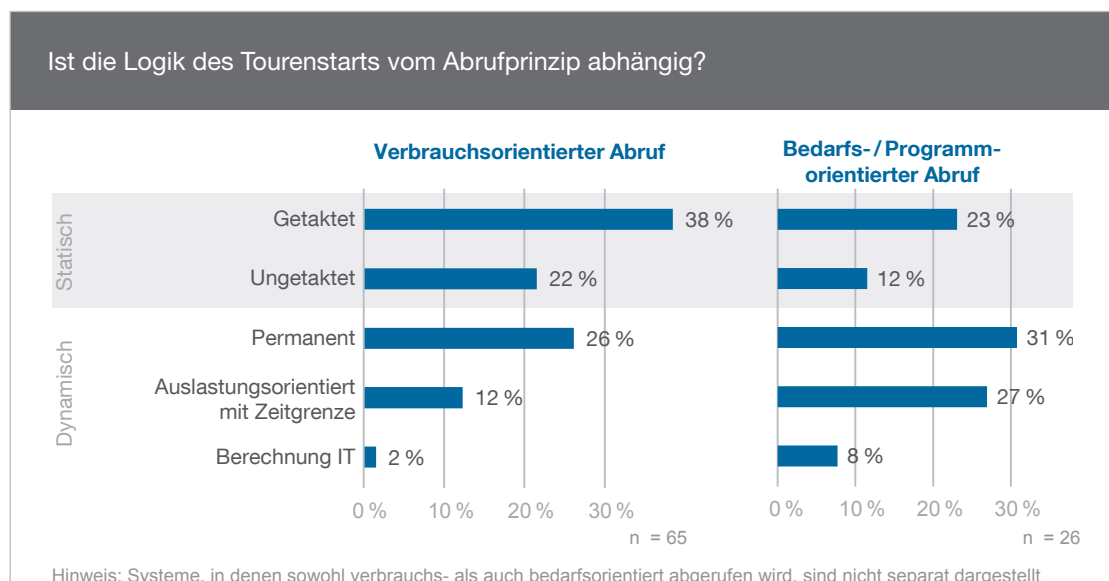


Abbildung 4-6

Routenzüge bei statischem Tourenstart nicht gleichmäßig ausgelastet werden.

Je nach Einsatzszenario haben sowohl statische Logiken als auch dynamische Logiken des Tourenstarts ihre Vor- und Nachteile. Sowohl für einen verbrauchsorientierten als auch einen bedarfs-/programmorientierten Abruf können sich beide Prinzipien eignen.

Routenzugtechnik

Welche Transportmittel werden für den Transport von KLT eingesetzt?

Der Transport von KLT durch Routenzugsysteme erfolgt in 77 % der betrachteten Fälle durch ein Zugfahrzeug mit Anhängern, auf denen sich KLT-Regale befinden (siehe Abbildung 4-7). Bei mehr als der Hälfte dieser Systeme ist das KLT-Regal nicht fest mit dem Anhänger verbunden, sondern wird in der Regel nach dem Ende einer Tour im Bahnhof ausgewechselt.

Weniger verbreitet, mit einem Anteil von 12 %, ist der KLT-Transport durch Zugfahrzeuge mit Anhängern ohne Regal-Aufbau. In diesem Fall werden die KLT z. B. auf der Bodenplatte des Anhängers oder auf einer Palette transportiert. In 9 % der betrachte-

ten Systeme kommen als Transportmittel für den KLT-Transport Niederflurkommissionierer (NFK), ebenfalls mit einem Regal zur Aufnahme der KLT, zum Einsatz.

Für weiterführende Informationen zu unterschiedlichen Routenzugtechniken sei auf den Exkurs zu Anhängerbauformen auf Seite 47 verwiesen.

Welche Transportmittel werden für den Transport von GLT eingesetzt?

Der Transport von GLT erfolgt in 87 % der betrachteten Routenzugsysteme durch ein Zugfahrzeug mit Anhängern (siehe Abbildung 4-8). Der Einsatz von Niederflurkommissionierern für den GLT-Transport in 14 % der Fälle ist hervorzuheben, da in der ersten Routenzugstudie des Lehrstuhls fml angegeben wurde, dass in keinem Fall NFK für den GLT-Transport eingesetzt werden.

Unter den 87 % der Routenzugsysteme mit Zugfahrzeugen und Anhängern werden in knapp zwei Drittel der Fälle zusätzliche Trolleys zur Materialbereitstellung verwendet, die für den Transport in die Routenzuganhänger ein- oder aufgeschoben werden. In 66 % dieser Systeme werden Anhänger verwendet, die nur einseitig entladen werden können.

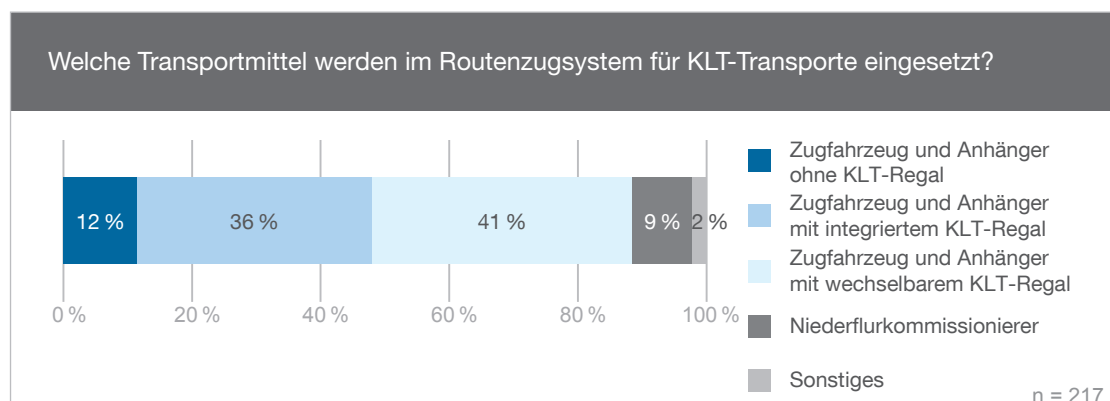


Abbildung 4-7

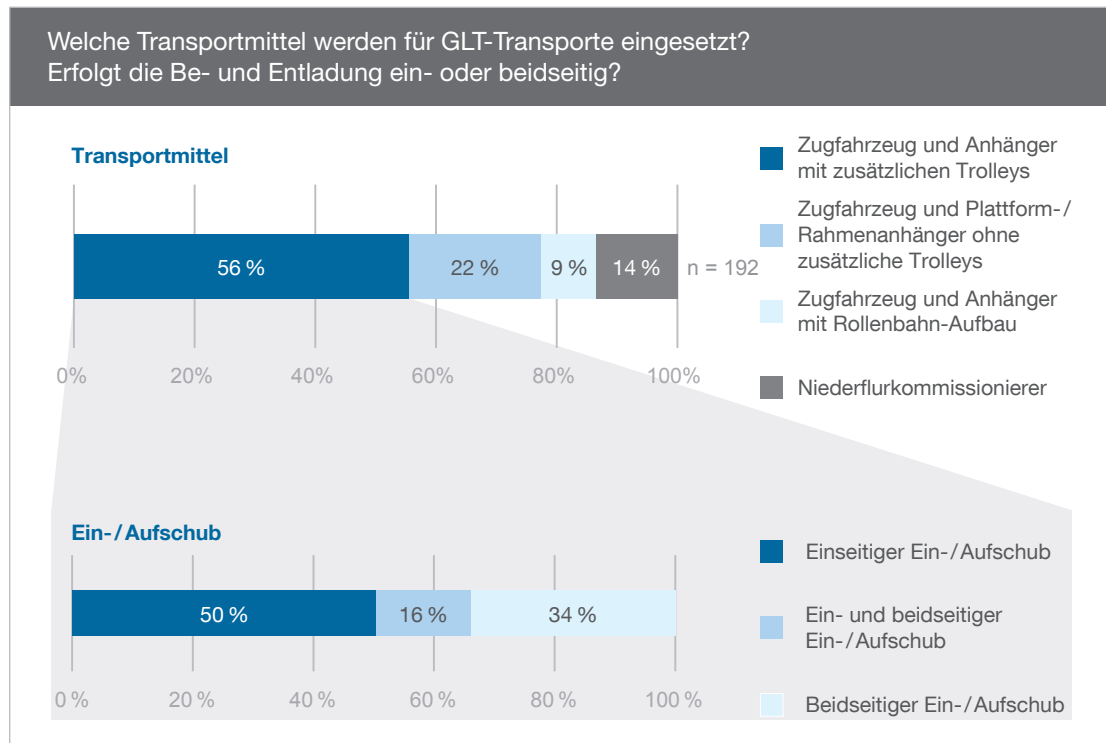


Abbildung 4-8

Mit einem Anteil von 9 % werden Anhänger mit einem Rollenbahn-Aufbau, bei denen die Bereitstellung durch Schieben der GLT auf fest an den Senken installierte Rollenbahnen erfolgt, nur in wenigen Routenzugsystemen verwendet. In der Regel werden Anhänger mit Rollenbahn-Aufbau für den Transport von GLT mit hohen Gewichten eingesetzt.

Wie sind die Anhänger- / Trolleyrollen beim manuellen Handling angeordnet?

Die Bereitstellung von GLT erfolgt in der Regel durch das manuelle Verschieben von Anhängern oder Trolleys durch den Routenzugfahrer. Da insbesondere bei der Bereitstellung hoher Gewichte eine gute Manipulierbarkeit sichergestellt sein muss, werden im folgenden Abschnitt geeignete Anordnungen der Rollen der Trolleys oder Anhänger für das manuelle Handling diskutiert.

In unterschiedlichen Anordnungen werden frei drehbare Lenkrollen sowie feststehende Bockrollen eingesetzt.

In Abbildung 4-9 erfolgt eine Trennung in Anordnungen für Plattform-/Rahmenanhänger, die für die Bereitstellung an der Senke von Hand verschoben werden, und Anordnungen für Trolleys. Trolleys werden in separaten Anhängern, die fest in einem Verband verbleiben, verfahren und an den Bereitstellorten durch den Routenzugfahrer von Hand verschoben. Die Trennung der Rollenordnungen ist erforderlich, da sich für die abweichenden Anforderungen an Anhänger und Trolleys in der Praxis unterschiedliche Anordnungen etabliert haben.

Unter den Studienteilnehmern, die Plattform-/Rahmenanhänger einsetzen, wird in 85 % der Fälle die Anordnung mit zwei

Lenk- und zwei Bockrollen eingesetzt. Während weitere 15 % eine Anordnung mit zwei zentralen Bockrollen und vier an den Eckpunkten angebrachten Lenkrollen einsetzen, ist die sogenannte Rauten-Anordnung unter den erfassten Systemen nicht vertreten.

Unterschiede in der Ergonomie und den Vorgangszeiten aufgrund der unterschiedlichen Rollenordnungen behandelt der Exkurs auf Seite 61. Dort werden am Lehrstuhl fml durchgeführte Probandenstudien zur Ergonomie vorgestellt.

Werden in den Routenzugsystemen der Befragten Trolleys eingesetzt, so verfügen diese in 62 % der Fälle über vier Lenkrollen und in 32 % über zwei Lenk- und zwei Bockrollen. Rollenordnungen mit drei Lenk- und einer Bockrolle (5 %) und vier Bockrollen (1 %) werden nur selten eingesetzt.

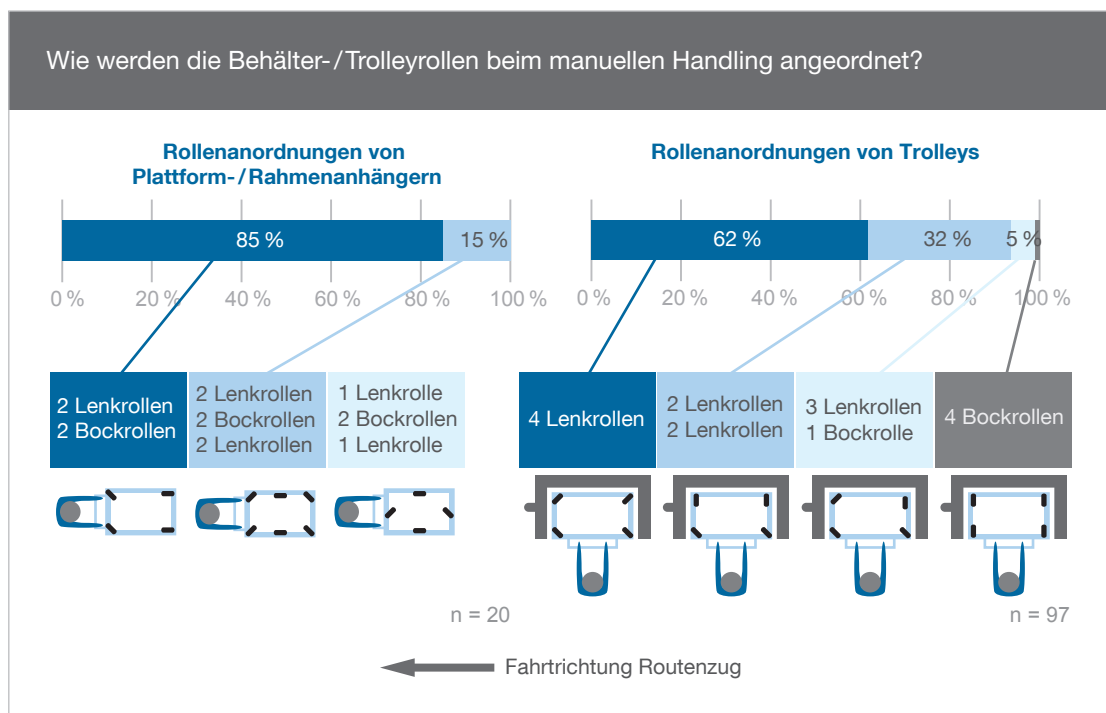


Abbildung 4-9

Exkurs: Anhänger- / Routenzugtechniken

Nachfolgend wird ein Überblick über die Vielzahl der am Markt verfügbaren Routenzugtechniken gegeben. Basierend auf vergleichbaren Handhabungsschritten bei der Bereitstellung sowie für die Materialanstellung zusätzlich erforderlicher Elemente wurden vier Oberkategorien gebildet (siehe Abbildung 4-10). Der Großteil der Techniken kann zum Transport von GLT eingesetzt werden – durch die Verwendung von KLT-Regalen ist jedoch mit allen Techniken ebenfalls die Bereitstellung von KLT möglich.








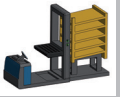




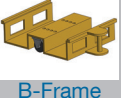

Anhänger- / Routenzugtechniken			
Transportwagen	Ein- / Aufschubkonzept	Rollenverschiebesysteme	Niederflurkommissionierer
 Plattformwagen	 E-Frame	 RVS mit fester Deichsel	 Standard-NFK
 Trailer	 C-Frame	 RVS mit flexibler Deichsel	 NFK mit Hubtisch
 KLT-Regalwagen	 H-Frame		
 Flexible Transportplattform	 U-Frame		
	 B-Frame		
	 Taxiwagen		

Abbildung 4-10: Klassifizierung von Anhänger- / Routenzugtechniken (vgl. [Keu-2016b])

Während bei klassischen Transportwagen die Materialbereitstellung auf dem Transportwagen selbst geschieht, werden bei Ein- / Aufschubkonzepten zusätzliche Hand-schiebewagen/Trolleys verwendet. Beim Einsatz von Rollenverschiebesystemen

Fortsetzung →

erfolgt die Abgabe von GLT direkt auf fest an den Bereitstellorten installierte Rollenbahnen. Da Niederflurkommissionierer ebenfalls für die hochfrequente Versorgung auf festgelegten Routen eingesetzt werden, stellen diese die vierte Oberkategorie der Routenzugtechniken dar. Im Folgenden werden ausgewählte Unterschiede zwischen den technischen Realisierungen innerhalb der einzelnen Oberkategorien diskutiert.

Die beiden für die GLT-Versorgung eingesetzten Realisierungsformen des Transportwagens unterscheiden sich derart, dass bei Plattformwagen eine durchgängige Aufstandsfläche für die GLT existiert, während Trailer nur Aufstandspunkte an den Ecken haben.

Die größte Vielfalt von technischen Realisierungsformen bietet sich bei den Ein-/Aufschubkonzepten. Als etablierte Lösungen sind der mit einer robusten ca. zwei Meter hohen Stahlkonstruktion ausgeführte U-Frame, der mit herunterklappbaren Seitenwänden ausgestattete Taxiwagen sowie die nur einseitig be- und entladbaren C- und E-Frames zu nennen. Sowohl H-Frames als auch B-Frames ermöglichen ein beidseitiges Aufschieben auf die Anhänger, wobei B-Frames über eine zusätzliche Hubfunktion verfügen und somit ein geringerer Höhenunterschied beim Aufschieben der Trolleys überwunden werden muss.

Bei Rollenverschiebesystemen mit fester Deichsel sind an Bereitstellorten installierte Rollenbahnen direkt anzufahren; mit einer flexiblen Deichsel kann ein Anhänger zwischen einer Leergut- und Vollgutrollenbahn zum Halten kommen und der Behältertausch durch manuelles Verschieben auf der Deichsel ohne eine zusätzliches Verfahren des Routenzugs durchgeführt werden.

Werden Niederflurkommissionierer für die Bereitstellung von KLT eingesetzt, kann eine Technik-Variante verwendet werden, die durch einen höhenverstellbaren Rollentisch eine ergonomische Unterstützung des Routenzugfahrers bei der KLT-Bereitstellung bietet.

Systemgröße

Wie groß ist der Ladungsträgerdurchsatz im Routenzugsystem?

Zur Bestimmung der Größe eines Systems eignet sich der Durchsatz aufgeteilt nach der Art der Ladungsträger. Abbildung 4-11 zeigt die Größeneinteilung der Routenzugsysteme, in denen KLT transportiert werden. In mehr als der Hälfte dieser Routenzugsysteme werden weniger als 200 KLT pro Stunde transportiert. Mit steigendem Ladungsträgerdurchsatz nimmt der Anteil der Systeme ab. Mehr als 1000 KLT pro Stunde werden jedoch immer noch in 9 % der betrachteten Routenzugsysteme umgesetzt.

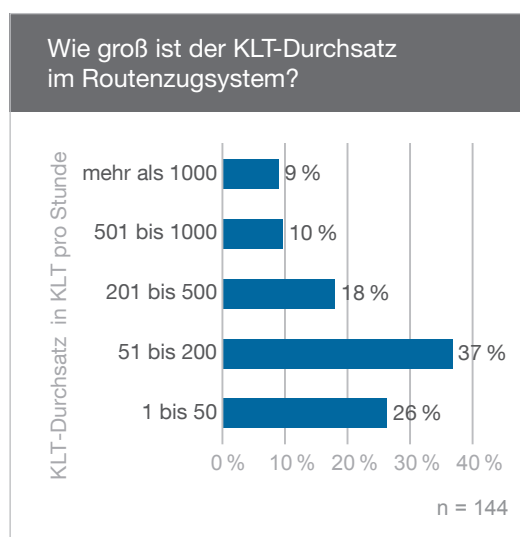


Abbildung 4-11

In Abbildung 4-12 ist die analoge Auswertung in Bezug auf GLT aufgezeigt. Bis zu einem Durchsatz von 200 GLT pro Stunde nimmt der Anteil der Systeme monoton ab. Mehr als 200 GLT pro Stunde werden in 12 % der erfassten Routenzugsysteme mit GLT-Transporten umgesetzt. Der Schwerpunkt liegt beim GLT-Transport noch deutlicher auf Systemen mit kleinerem Durchsatz.

Zwei Drittel dieser Szenarien transportieren weniger als 50 GLT pro Stunde.

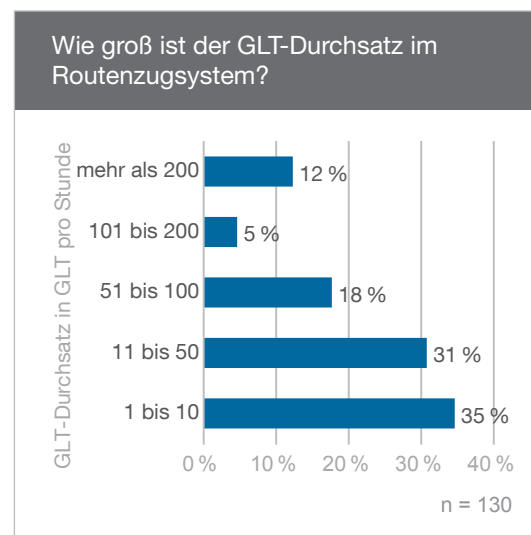


Abbildung 4-12

Wie viele Routenzüge werden im Routenzugsystem eingesetzt?

Die Anzahl der im System eingesetzten Routenzüge bestimmt maßgeblich die Investitionen und die Kosten des Routenzugsystems. Beim Vergleich zweier Systeme mit gleichem Ladungsträgerdurchsatz kann eine

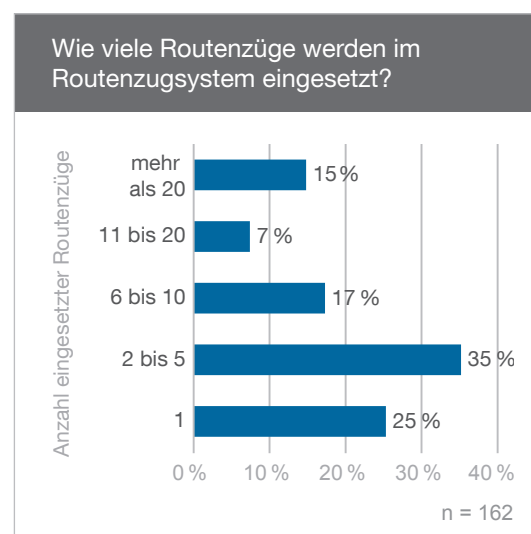


Abbildung 4-13

höhere Anzahl an Routenzügen auf ineffiziente Prozessabläufe hindeuten. Am häufigsten treten Systeme mit zwei bis fünf Routenzügen auf (35 %, siehe Abbildung 4-13). In einem Viertel der Systeme wird sogar nur ein Routenzug verwendet. Sehr große Systeme, mit mehr als 20 eingesetzten Routenzügen, wurden von 15 % der Studienteilnehmer genannt. Diese Systeme werden alle in der Branche Automotive und Fahrzeugbau eingesetzt.

Wie hängt die Anzahl an Routenzügen mit dem Durchsatz zusammen?

In den meisten Routenzugsystemen werden sowohl KLT als auch GLT transportiert. Abbildung 4-14 zeigt für die Kombinationen von KLT- und GLT-Durchsatz wie viele Routenzüge in den jeweiligen Systemen eingesetzt werden. Sowohl für Systeme, in denen nur KLT bzw. GLT bereitgestellt wer-

den, als auch für Gemischt-Systeme ist erkennbar, dass mit steigendem Durchsatz tendenziell mehr Routenzüge im Einsatz sind. Allerdings ist auch ersichtlich, dass in verschiedenen Systemen der gleichen Durchsatzkategorien eine unterschiedliche Anzahl an Routenzügen eingesetzt wird. So werden in 13 % der Routenzugsysteme mit einem KLT-Durchsatz von über 500 Behältern pro Stunde und einem GLT-Durchsatz von über 100 Behältern pro Stunde zwei bis fünf Routenzüge verwendet. 88 % der Routenzugsysteme setzen dagegen mehr als 20 Routenzüge ein. Dies kann z. B. bedeuten, dass die Wege und Bereitstellungszeiten in den Szenarien länger oder die Routenzugkapazitäten kleiner sind. Allerdings kann dies auch auf einen ineffizienten Prozess hinweisen.

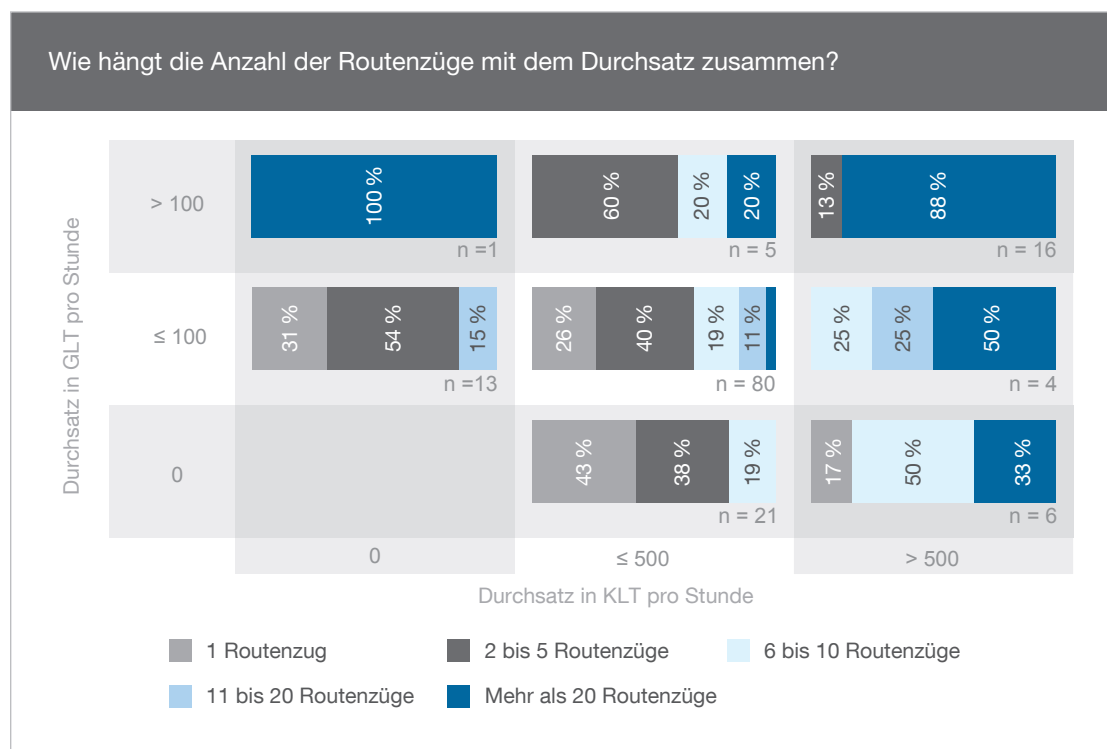


Abbildung 4-14

Wie viele Sachnummern werden im Routenzugsystem bereitgestellt?

Die Anzahl an Sachnummern bestimmt nicht unbedingt den Durchsatz im System oder die Anzahl der eingesetzten Routenzüge. Vielmehr ist sie ein Maß für die Komplexität des Systems. Je mehr Sachnummern durch ein Routenzugsystem transportiert werden, desto höher ist der Organisationsaufwand. Abbildung 4-15 zeigt, dass die in der vorliegenden Studie erfassten Routenzugsysteme in Bezug auf die bereitgestellten Sachnummern beinahe gleichverteilt sind. Es sind sowohl Systeme mit bis zu 100 Sachnummern (14 %) als auch mit über 10.000 Sachnummern (5 %) in den Auswertungen vertreten.

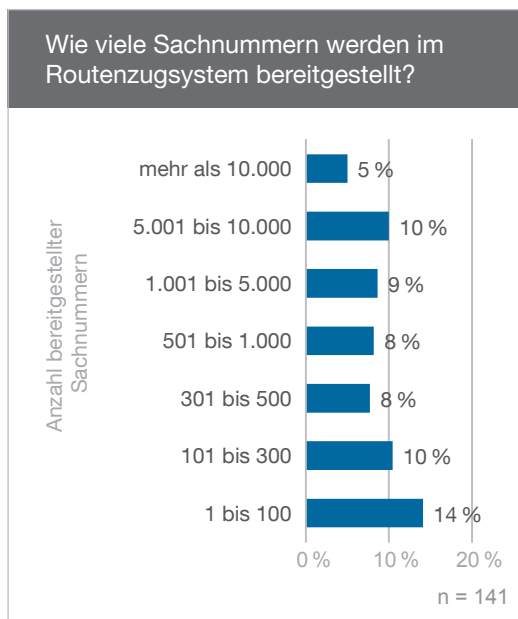


Abbildung 4-15

Welche Arten von Quellen werden für welche Systemgröße eingesetzt?

Die Art der Quelle im Routenzugsystem begrenzt den maximal möglichen Durchsatz des Systems. Abbildung 4-16 zeigt, welche Quellen bei welcher Systemgröße eingesetzt werden. Die Systemgröße wird in diesem Fall über die Anzahl an Routenzügen bestimmt, um eine Trennung nach Ladungsträgern zu vermeiden. Falls ein automatisiertes Lager zum Einsatz kommt, geschieht dies häufiger in großen Routenzugsystemen mit vielen Routenzügen. Dies lässt sich damit erklären, dass ein automatisiertes Lager erst bei hohem Durchsatz und damit bei hohem Transportbedarf für das Routenzugsystem wirtschaftlich betrieben werden kann.

Umgekehrt werden manuelle Lager vermehrt bei sehr kleinen Routenzugsystemen als Materialquelle eingesetzt, da hier der Umschlagsaufwand noch überschaubar ist.

Für die anderen Arten von Quellen kann keine Tendenz zu großen oder kleinen Routenzugsystemen ausgemacht werden. Dies zeigt, dass Routenzugsysteme im Allgemeinen mit unterschiedlichen Quellen unabhängig von der Systemgröße betrieben werden können. Besonders in großen Systemen werden meist auch mehrere und unterschiedliche Arten von Quellen eingesetzt.

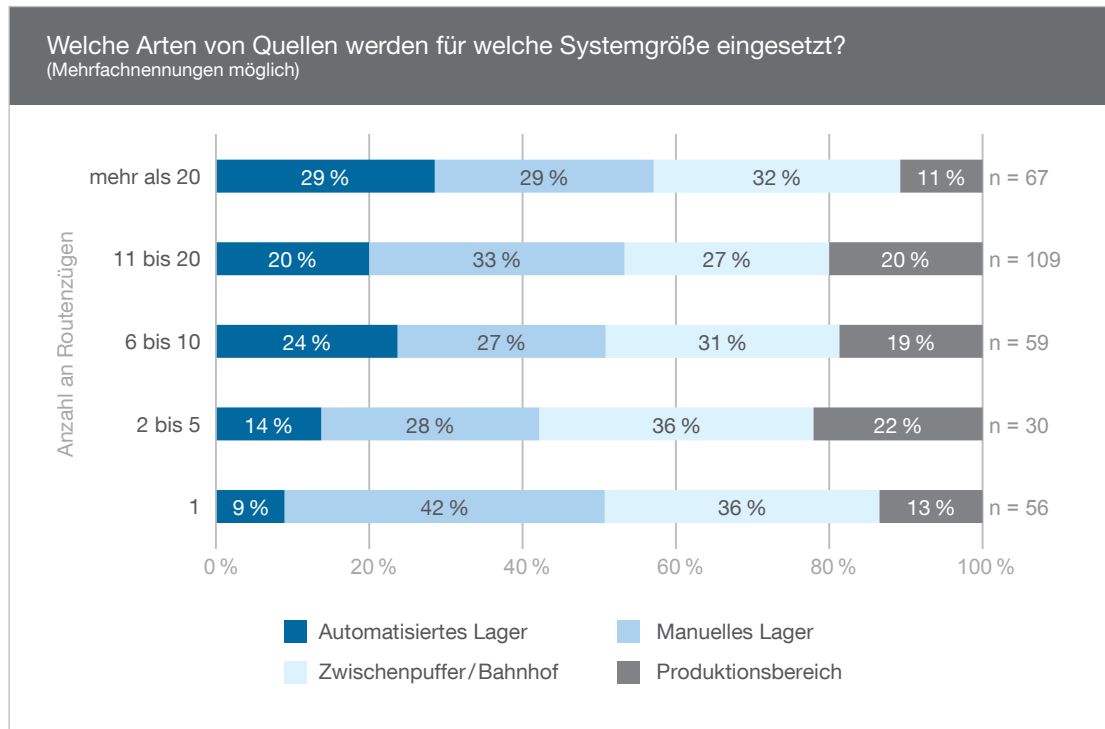


Abbildung 4-16

Fazit zu Systemkonfigurationen

- Routenzugsysteme unterscheiden sich in den umgesetzten Prozessen, den eingesetzten Transportmitteln, der Steuerungslogik sowie der Systemgröße. In der Industrie sind verschiedenste Kombinationen umgesetzt, die für unterschiedliche Einsatzfälle geeignet sind. Die typische Systemkonfiguration gibt es nicht.
- Im Großteil der Routenzugsysteme liegt ein mehrstufiger Prozess mit mehreren Beteiligten vor. Meist werden Prozessschritte dabei zwischen Routenzugfahrern und weiteren Logistikmitarbeitern aufgeteilt.
- Der Automatisierungsgrad in Routenzugsystemen ist gering. Derzeit sind lediglich die Auslagerung und Beladung der Routenzüge in KLT-Systemen in nennenswertem Umfang automatisiert.
- Die Logik des Tourenstarts bestimmt die Dynamik des Abfahrtszeitpunkts der Touren. Derzeit werden statische und dynamische Prinzipien ungefähr gleich häufig eingesetzt. Grundsätzlich können beide Arten unabhängig vom Abrufprinzip verwendet werden.
- Als Transportmittel für die KLT-Bereitstellung werden in der Regel Anhänger mit festen oder austauschbaren KLT-Regalen genutzt. Die Bereitstellung von GLT erfolgt im Großteil der betrachteten Routenzugsysteme mit Trolleys, die in zusätzliche Anhänger ein- oder beidseitig eingeschoben werden.
- Automatisierte Lager werden bevorzugt in großen Routenzugsystemen als Quelle eingesetzt. Bei kleinen Systemen dominieren manuelle Lager.

5. Planung von Routenzugsystemen

Die Planung eines Routenzugsystems erfordert eine Vielzahl an Entscheidungen, wie die Auswahl der Routenzugtechnik, die Prozessgestaltung oder die Festlegung der Steuerlogik. Aufgrund diverser Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Unternehmensbereichen sind die Konsequenzen von zu treffenden Planungsentscheidungen oftmals nur schwer in Gänze absehbar. Dies erschwert die Planung maßgeblich. Im vorliegenden Kapitel wird die Planungsmethodik der Studienteilnehmer untersucht und u. a. beleuchtet, welche Planungshilfsmittel eingesetzt werden und welcher Grad an Standardisierung in der Routenzugplanung erreicht wird. Es wird ebenfalls untersucht, welche Ziele mit der Einführung eines Routenzugsystems verfolgt werden und welche Bewertungskriterien, nach erfolgter grundsätzlicher Entscheidung für die Routenzugeinführung, für den Vergleich verschiedener Planungsalternativen herangezogen werden. Abschließend wird thematisiert, in welcher Form und mit welchen Methoden das Thema Ergonomie in der Planung von Routenzugsystemen berücksichtigt wird.

Welche Ziele wurden mit der Einführung des Routenzugsystems verfolgt?

Abbildung 5-1 zeigt die Beweggründe für die Einführung von Routenzugsystemen, die von den Studienteilnehmern angegeben

wurden. Strategische Aspekte, wie z. B. die Standardisierung des Versorgungsprozesses (73 %) und die Erhöhung der Versorgungssicherheit (53 %), nehmen einen höheren Stellenwert ein als die Reduzierung von Personalkosten (40 %). Die mit einem

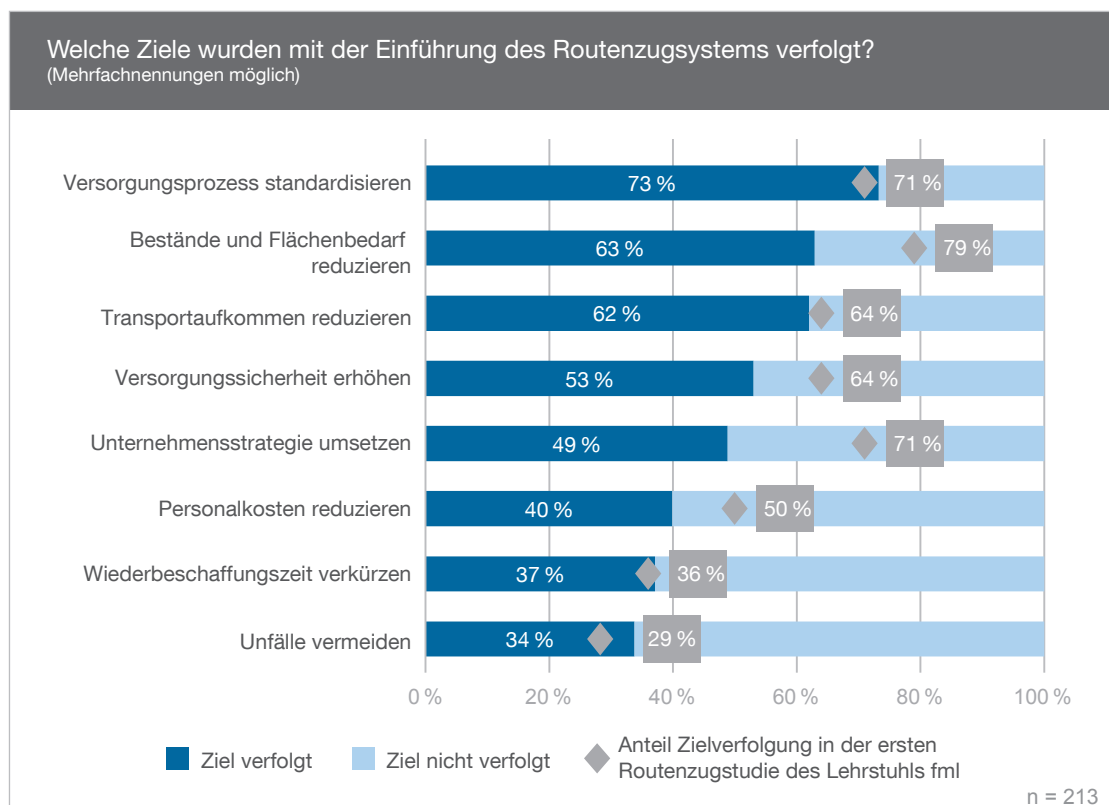


Abbildung 5-1

Anteil von 63 % vertretene Reduzierung von Beständen und Flächenbedarfen hat eine monetäre Komponente; in vielen Fällen dominiert jedoch die Notwendigkeit der Bereitstellung diverser Bauteile auf stark eingeschränkten Bereitstellflächen das Ziel einer finanziellen Einsparung. Die oftmals im Kontext von Routenzugsystemen erwähnte Vermeidung von Unfällen wird nur von 34 % der Befragten als Ziel der Routenzugeinführung angegeben.

Abbildung 5-1 beinhaltet ebenfalls, visualisiert durch graue Rauten, die Beweggründe zur Routenzugeinführung, die in der im Jahr 2012 am Lehrstuhl fml durchgeführten Routenzugstudie erfasst wurden. Das Antwortverhalten der Teilnehmer der vorliegenden Studie deckt sich im Wesentlichen mit den Ergebnissen jener Erhebung. Die höhere Gewichtung der Umsetzung einer Unternehmensstrategie lässt sich auf die abweichende Teilnehmerstruktur der Umfragen zurückführen. Während in der ersten Routenzugstudie vor allem Großkonzerne vertreten waren, liegt der aktuellen Studie ein breiteres Teilnehmerspektrum inklusive kleinerer Unternehmen zugrunde. Es kann davon ausgegangen werden, dass in der Unternehmensstrategie von Großkonzernen

die Implementierung von Lean-Prinzipien oder die Materialversorgung durch Routenzugsysteme häufiger verankert sind als in kleineren Unternehmen.

Wie ist die Planung des Routenzugsystems standardisiert?

Die Vorgabe eines Standardvorgehens in der Planung unterstützt reproduzierbare und nachvollziehbare Planungsergebnisse. Dies führt idealerweise dazu, dass eine andere Planungsabteilung bzw. ein anderer Planer zu identischen Ergebnissen kommt.

Abbildung 5-2 zeigt, dass 89 % der Teilnehmer angeben, standardisiert zu planen. Der Grad der Standardisierung variiert jedoch deutlich: Während 20 % der Befragten unternehmensweite Planungsstandards verwenden, ist bei über der Hälfte der Befragten eine Standardisierung auf Abteilungs- bzw. Werksebene vorhanden. Ein Anteil von 17 % der Befragten berücksichtigt in der Planung individuell durch einen Planer definierte Standards, die in unterschiedlichen Planungsprojekten gleichermaßen angewandt werden.

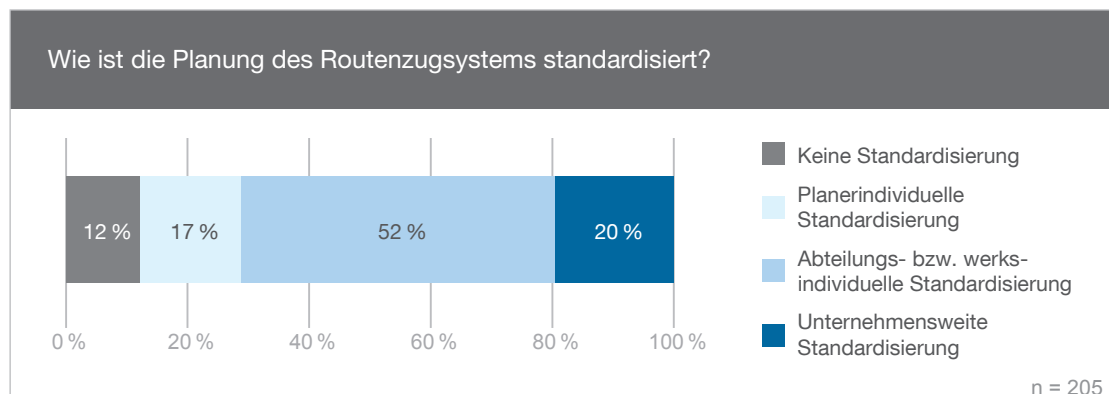


Abbildung 5-2

Welche Hilfsmittel werden in der Planung eingesetzt?

In Abbildung 5-3 ist dargestellt, welche Planungshilfsmittel von den Teilnehmern der Studie eingesetzt werden. Es ist festzustellen, dass für die Dimensionierung des Routenzugsystems auf Basis von Durchsatz und Prozesszeit die Mehrheit der Befragten allgemeingültige Hilfsmittel und Methoden ohne direkten Routenzugbezug, z. B. logistische Stücklisten (64 %) oder MTM-Analysen (48 %), einsetzen.

Die Verwendung routenzugspezifischer Planungshilfsmittel ist deutlich weniger weit verbreitet; so wird jeweils von ca. einem Viertel der Befragten eine routenzugspezifische Planungsmethodik und Software zur Systemgestaltung oder Routenbildung eingesetzt. 19 % der Teilnehmer berichten vom

Einsatz von Simulationen, welche oftmals zur Analyse der Systemauslastung oder dynamisch schwankenden Einflussparametern verwendet werden.

Weiterhin ist anzumerken, dass es sich bei der Verwendung softwarebasierter Planungshilfsmittel nicht automatisch um kommerzielle Lösungen handelt und (wie z. B. unter Sonstiges genannt) oftmals unternehmenseigene Werkzeuge, z. B. auf Basis von Microsoft Excel, eingesetzt werden.

Welche Entscheidungskriterien werden in der Planung berücksichtigt?

Für die Auswahl einer Variante aus unterschiedlichen Planungsalternativen werden in Planungsprojekten unterschiedliche wirtschaftliche und nicht monetär quantifizierbare Kriterien verwendet.

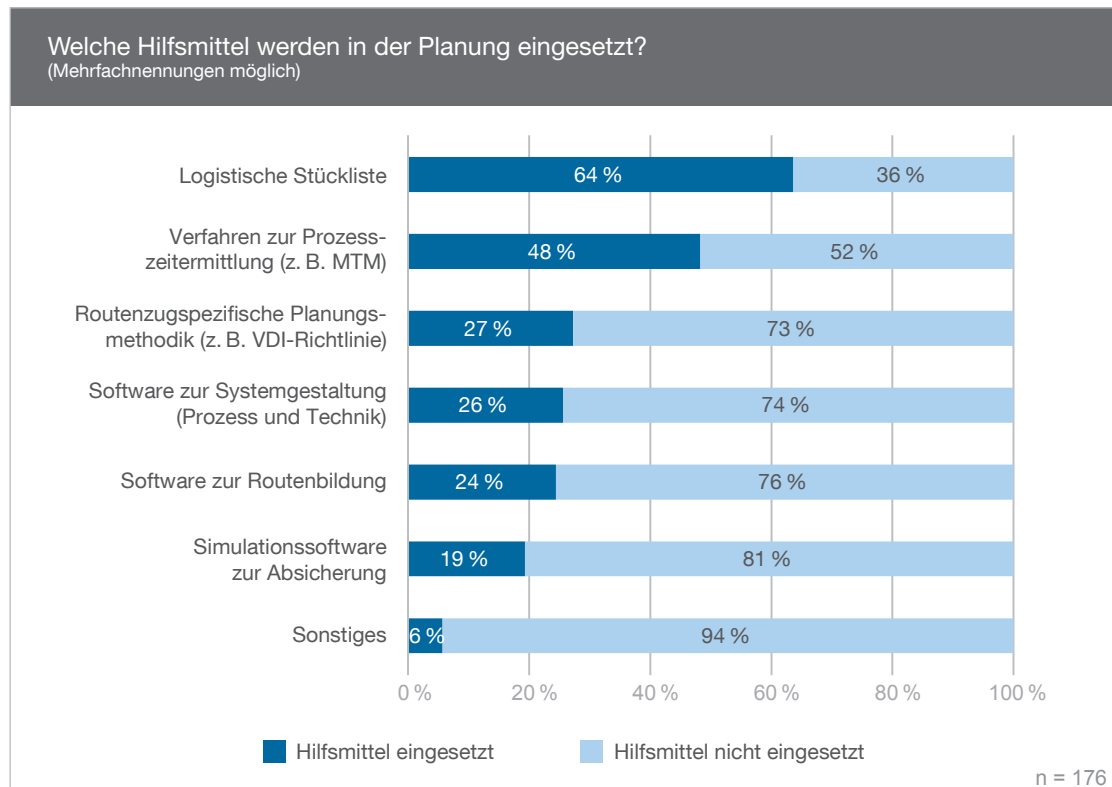


Abbildung 5-3

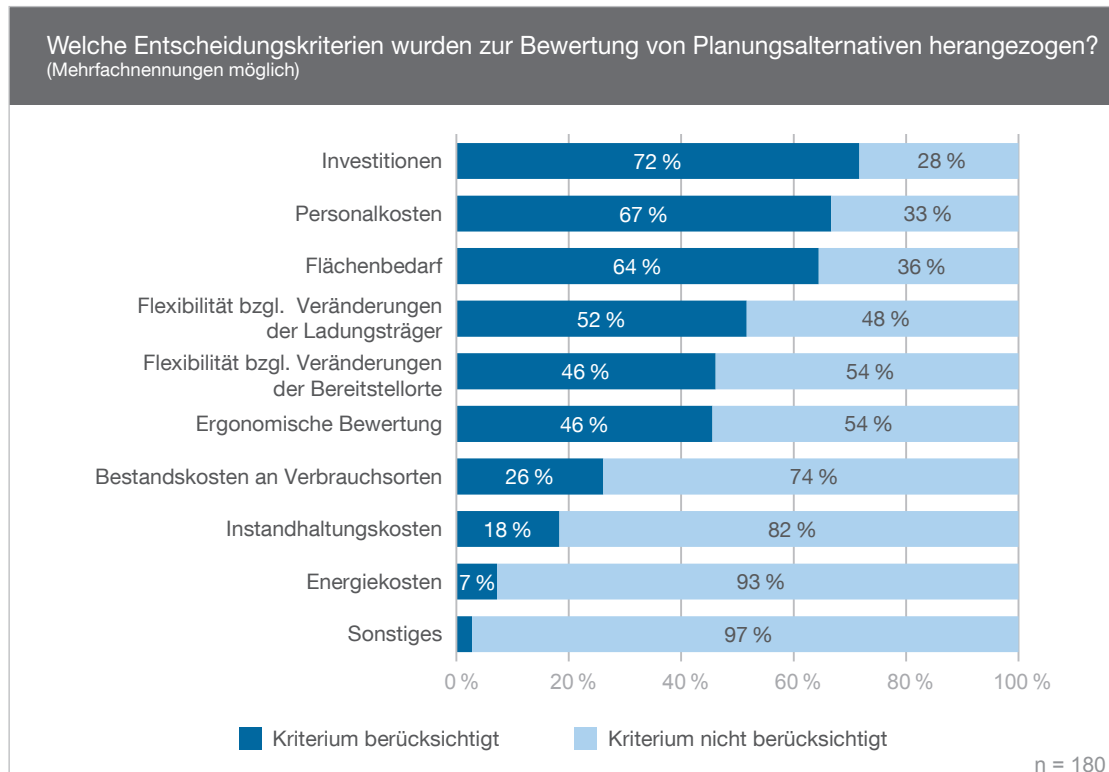


Abbildung 5-4

Aus Abbildung 5-4 geht hervor, dass die wirtschaftlichen Kennzahlen wie Investitionen (72 %), Personalkosten (67 %) und der oftmals ebenfalls monetär bewertbare Flächenbedarf (64 %) nicht-monetäre Kriterien deutlich dominieren.

Jeweils ca. 50 % der Befragten geben an, die Flexibilität bezüglich einer Veränderung von Ladungsträgern oder Bereitstellorten sowie die Ergonomie in Routenzugplanungen zu berücksichtigen.

In einem geringeren Anteil der betrachteten Projekte wurden weitere wirtschaftliche Kriterien wie die Bestandskosten an Verbrauchsorten (26 %), die Instandhaltungskosten (18 %) sowie die Energiekosten (7 %) als Entscheidungskriterium in der Planung verwendet. Unter dem Punkt Sonstiges wird

von den Befragten z. B. die Unternehmensstrategie sowie die Zuverlässigkeit als Entscheidungskriterium genannt.

Wie viele Anhängerbauformen wurden in der Planung betrachtet?

Bereits der Exkurs zu Anhänger- und Routenzugtechniken auf Seite 47 zeigt, dass sich derzeit noch keine technischen Standards etabliert haben und eine Vielzahl unterschiedlicher Lösungen am Markt existiert. Dies macht einen Vergleich verschiedener Anhängerbauformen im Rahmen der Planung notwendig.

Abbildung 5-5 zeigt, wie viele unterschiedliche Anhängerbauformen in den Planungsprojekten der Studienteilnehmer miteinander verglichen wurden.

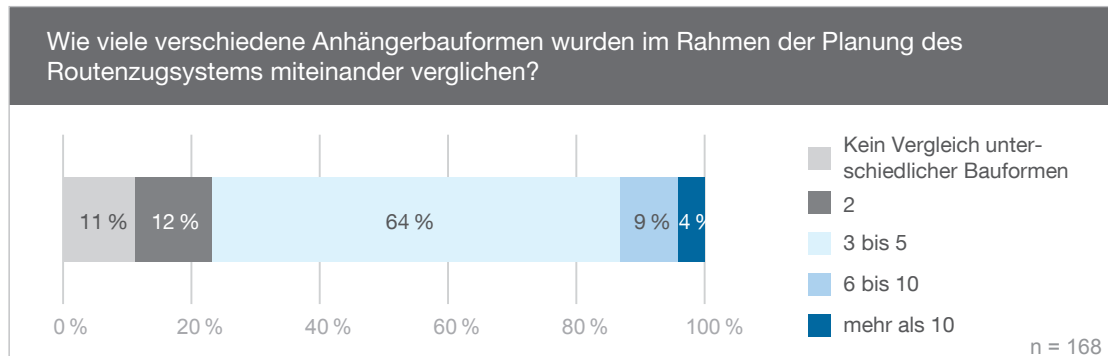


Abbildung 5-5

Die Mehrheit der Befragten (64 %) geben an, drei bis fünf verschiedene Anhängerbauformen in der Planung zu vergleichen. Bei 12 % der Teilnehmer werden nur zwei Anhängerbauformen gegenübergestellt; gar kein Vergleich unterschiedlicher Techniken findet in 11 % der betrachteten Projekte statt.

Ein kleiner Teil der Teilnehmer (4 %) führt einen Vergleich von mehr als zehn Anhängerbautechniken im Rahmen der Planung des Routenzugsystems durch. Ein solcher umfassender Vergleich könnte durch eine hohe Zahl von definierten Anforderungen, z. B. aufgrund des geplanten Einsatzes an unterschiedlichen Standorten, motiviert sein.

Ergonomie

In Routenzugsystemen, insbesondere wenn mit diesen GLT transportiert werden, müs-

sen bei der Bereitstellung von GLT oft Gewichte von mehreren Hundert Kilogramm manipuliert werden, was zu einer hohen körperlichen Beanspruchung führt. Nachfolgend wird die Einschätzung der Teilnehmer zur ergonomischen Beanspruchung dargestellt und erläutert, welche Methoden bei der Bewertung der Ergonomie verwendet sowie welche Elemente des Routenzugsystems auf ihren Einfluss auf die Ergonomie hin in der Planung berücksichtigt werden.

Wie wird die ergonomische Beanspruchung des Routenzugfahrers bewertet?

Die Mehrheit der Befragten (68 %) sieht eine mittlere Beanspruchung des Routenzugfahrers; nur 7 % der Studienteilnehmer schätzen die Beanspruchung als hoch ein (siehe Abbildung 5-6).

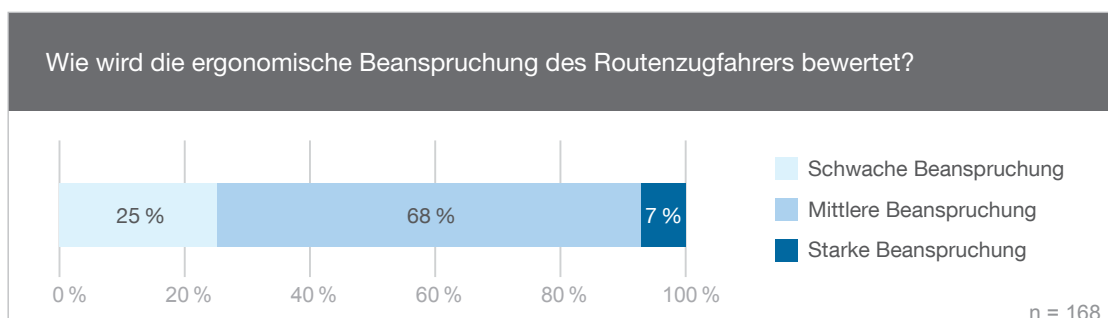


Abbildung 5-6

Die Tatsache, dass 25 % der Befragten die ergonomische Beanspruchung des Mitarbeiters als schwach einschätzen, könnte teilweise dadurch begründet sein, dass in einigen Systemen nur leichte GLT oder KLT bereitgestellt werden. Wie aus ergänzenden Kommentaren hervorgeht, könnte eine weitere Ursache in den in einigen Unternehmen eingesetzten technischen Hilfsmitteln zur Handhabung schwerer GLT liegen.

Wie wird die Ergonomie bei der Planung des Routenzugsystems berücksichtigt?

In der arbeitsmedizinischen Analyse von Arbeitsplätzen können neben Screeningverfahren zur Bewertung der Ergonomie (wie z. B. den Leitmerkalmethoden) Messtechniken zur objektiven Ermittlung der auf Mitarbeiter wirkenden Einflüsse eingesetzt werden. Da der Einsatz solcher Methoden in der Planung von Routenzugsystemen

deutlich schwieriger realisierbar ist als z. B. durch Screeningverfahren, wird im Rahmen von Abbildung 5-7 thematisiert, in welcher Weise die Ergonomie in der Planung berücksichtigt wird.

Mit einem Anteil von 71 % für das praktische Ausprobieren überwiegt die subjektive Beurteilung der Ergonomie deutlich den Einsatz von objektiven Bewertungsmethoden. Unter den etablierten Bewertungsmethoden ist mit 36 % der Einsatz der Leitmerkalmethoden am weitesten verbreitet; nur 7 % der Befragten geben an, Messungen der von Mitarbeitern aufzubringenden Handkräfte durchzuführen.

Im Zusammenhang mit den Messungen von Handkräften sei auf den Exkurs zu am Lehrstuhl fml durchgeführten Probandenstudien zur Ergonomie von Routenzügen hingewiesen (siehe Seite 61).

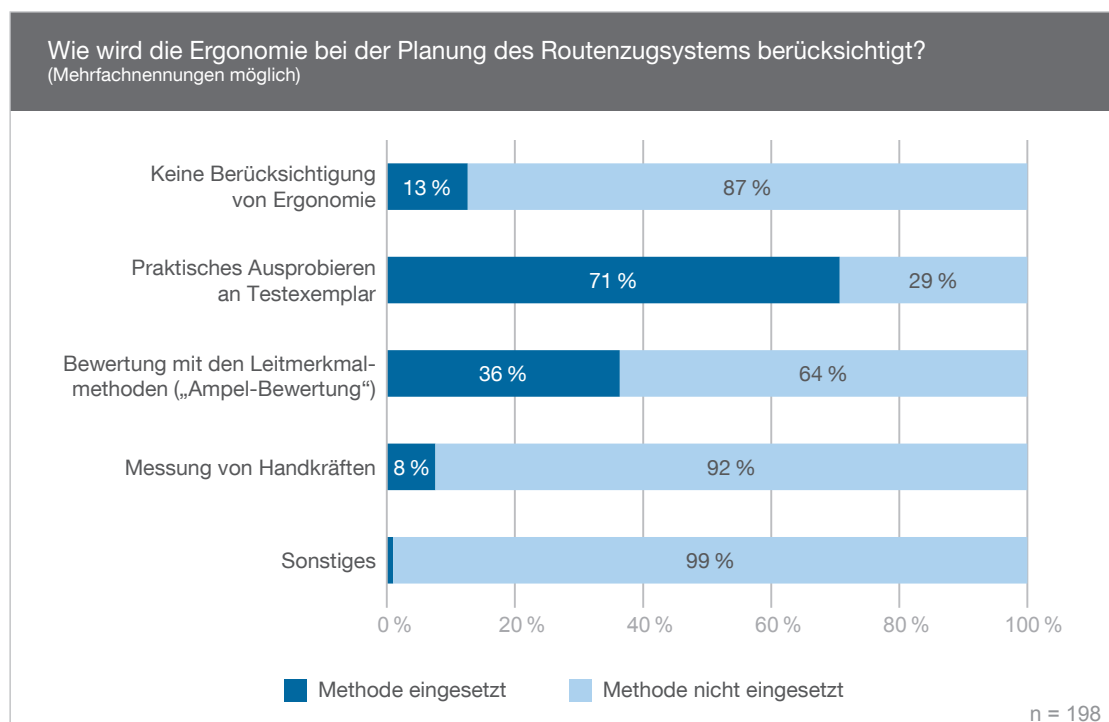


Abbildung 5-7

Welche Elemente werden bei der Planung des Routenzugsystems bezüglich ihres Einflusses auf die Ergonomie betrachtet?

Abbildung 5-8 kann entnommen werden, dass unter den Studienteilnehmern mit einem Anteil von 71 % am häufigsten der Einfluss des Beladungs- und Bereitstellprozesses auf die Ergonomie des Routenzugsystems betrachtet wird. Exemplarisch sei hier erwähnt, dass durch die Beladung eines Anhängerverbands mit einem Gabelstapler im Vergleich zum Einschleusen von Ladungsträgern auf Trolleys durch den Routenzugfahrer eine Vielzahl manueller Handhabungsschritte eingespart werden kann.

Erstaunlicherweise wird die Routenzugtechnik (51 %) nur geringfügig häufiger als die Festlegung der Routen (40 %) und die Anordnung der Transporteinheiten auf dem Routenzug (39 %) untersucht. Dies ist bemerkenswert, da die Ergonomie im Wesentlichen durch die eingesetzte Technik bestimmt wird und Routenfestlegung sowie Anordnung der Transporteinheiten einen deutlich geringeren Einfluss besitzen.

Beispielsweise kann abhängig von der eingesetzten Routenzugtechnik der Bereitstellvorgang mehrere manuelle Zieh- und Schiebevorgänge oder – bei Einsatz eines Rollenverschiebesystems – eine wenige Sekunden benötigende Übergabe an eine fest installierte Rollenbahn erfordern. Zur Betrachtung des Einflusses der Routenfestlegung auf die Ergonomie ist zu erwähnen, dass in Abhängigkeit der auf den Routen bereitzustellenden Gewichte eine Nivellierung zwischen den Routenzugfahrern angestrebt werden kann. Alternativ wäre eine Konzentrierung hoher Gewichte auf einer mit einem zusätzlichen technischen Hilfsmittel ausgestatteten Route denkbar.

Ein Potenzial in der Betrachtung der Informationsbereitstellung hinsichtlich des Einflusses auf die Ergonomie sehen nur 21 % der Studienteilnehmer. Als ein Beispiel sei hier eine deutlichere oder intuitivere Anzeige des jeweils nächsten anzusteuern Lagerplatzes genannt.

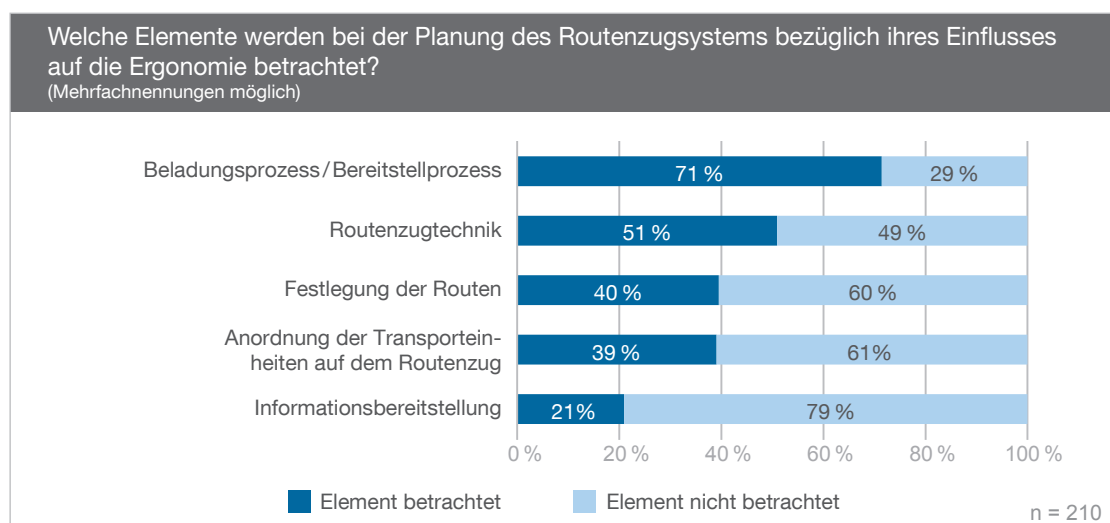


Abbildung 5-8

Fazit zu Planung von Routenzugsystemen

- Bei der Einführung von Routenzugsystemen dominieren strategische Ziele – wie die Standardisierung des Versorgungsprozesses und die Erhöhung der Versorgungssicherheit – deutlich eine durch eine Einführung erhoffte Kostenreduzierung.
- Bei der Auswahl einer zu realisierenden Planungsalternative liegt der Fokus hingegen auf wirtschaftlichen Kriterien.
- Die Planung von Routenzugsystemen erfolgt in der Mehrheit der betrachteten Fälle auf Basis unternehmens- oder abteilungsweit definierter Standards.
- In der Planung werden deutlich häufiger allgemeine Hilfsmittel (z. B. logistische Stücklisten oder Verfahren zur Prozesszeitermittlung) als routenzugspezifische Methoden und Werkzeuge (z. B. VDI-Richtlinie oder Software zur Routenbildung) eingesetzt.
- Ein Vergleich unterschiedlicher Anhängerbauformen ist erforderlich, da eine Vielzahl von Techniken mit abweichenden Funktionen am Markt verfügbar ist. Im Mittel werden drei bis fünf unterschiedliche Anhängerbauformen im Rahmen der Planung eines Routenzugsystems miteinander verglichen.
- Die Mehrheit der Studienteilnehmer geht von einer mittleren ergonomischen Beanspruchung von Routenzugfahrern aus. Wird die Ergonomie in der Planung berücksichtigt, dominiert ein praktisches Ausprobieren unterschiedlicher Planungsalternativen den Einsatz objektiver Ergonomiebewertungsverfahren. In der Mehrheit der Planungsprojekte wird der Einfluss von Beladungs- und Bereitstellprozess sowie der Routenzugtechnik auf die Ergonomie betrachtet.

Exkurs: Probandenstudien zur Ergonomie von Routenzügen

Am Lehrstuhl fml wurden umfangreiche Probandenstudien zum Handling von Großladungsträgern in Routenzugsystemen durchgeführt.



Abbildung 5-9: Rollenauswahl und Messtechnik

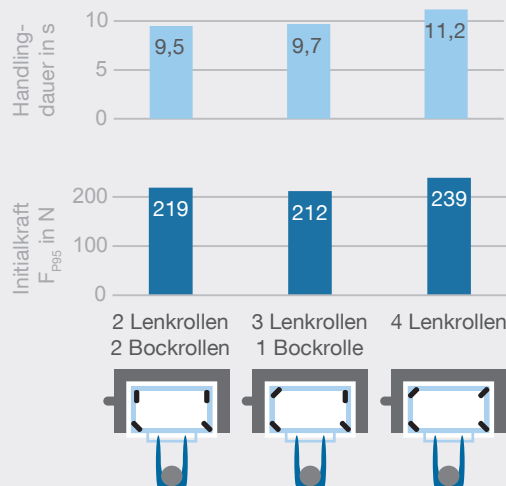


Abbildung 5-10: Einfluss der Rollenordnung auf Dauer und Kräfte beim Handling von Trolleys

Als eines der zentralen Ergebnisse der Untersuchungen ist in Abbildung 5-10 der Einfluss der Rollenordnung auf die Handhabung von Trolleys dargestellt. Neben einer signifikanten Erhöhung der Handkräfte bei Verwendung von 4 frei beweglichen Lenkrollen ist herauszustellen, dass die Dauer für das Durchfahren eines Parcours-Abschnitts bei 4 Lenkrollen ebenfalls signifikant höher ist als bei Verwendung von mindestens einer feststehenden Bockrolle. Dies ist durch die schlechtere Kontrolle des Trolleys in Kurvenfahrten und die damit verbundene Verminderung der Fahrgeschwindigkeit zu erklären und kann für einen kompletten Behältertausch am Bereitstellort einen Zeitunterschied von über zehn Sekunden ausmachen.

Untersuchungsmethodik

Versuche mit 42 Probanden wurden in einem Versuchszeitraum von zwei Monaten durchgeführt. In über 11.000 Teilversuchen wurden Gewichte zwischen 125 kg und 800 kg auf festgelegten Parcours manipuliert.

Durch den Einsatz von 3-Achs-Kraftmessgriffen mit einer Messfrequenz von 50 Hz war es (im Vergleich zu Messungen mit einer Federwaage) möglich, die beim Durchfahren von Kurven auf Mitarbeiter wirkenden Seitenführungskräfte zu quantifizieren.

In den Versuchen wurden die von den Probanden zu manipulierenden Versuchsobjekte systematisch variiert und z. B. unterschiedliche Rollenmaterialien, -durchmesser und -anordnungen untersucht (siehe Abbildung 5-9).

Als eines der zentralen Ergebnisse der Untersuchungen ist in Abbildung 5-10 der Einfluss der Rollenordnung auf die Handhabung von Trolleys dargestellt. Neben einer signifikanten Erhöhung der Handkräfte bei Verwendung von 4 frei beweglichen Lenkrollen ist herauszustellen, dass die Dauer für das Durchfahren eines Parcours-Abschnitts bei 4 Lenkrollen ebenfalls signifikant höher ist als bei Verwendung von mindestens einer feststehenden Bockrolle.

Fortsetzung

Auswahl weiterer Ergebnisse

- Bei identischen zu transportierenden Gewichten unterscheiden sich die auftretenden Kräfte deutlich in Abhängigkeit der eingesetzten Routenzugtechnik-Oberkategorie (siehe Exkurs auf Seite 47). Die mit Abstand niedrigsten Kräfte können bei Verwendung eines Rollenverschiebesystems gemessen werden.
- Eine Steigerung der Shore-Härte des Rollenmaterials führt zu einer Reduzierung der Handling-Dauer und der von Mitarbeitern aufzubringenden Kräfte.
- Sehr harte Rollen aus Materialien wie z. B. Polyamid führen zu einer deutlichen Erhöhung von Vibrationen und Stößen, die auf den Mitarbeiter wirken.
- Für den Rollendurchmesser kann bei der Verwendung industrietypischer Bodenbeläge kein systematischer Einfluss auf Kräfte oder Handling-Dauer gefunden werden.

6. Festlegung von Routen und Touren

Die Festlegung von Routen und Touren ist ein zentraler Aspekt bei der Planung und Steuerung von Routenzugsystemen. Neben der räumlichen Festlegung der Route muss bestimmt werden, welche Transportaufträge zusammen wann und auf welchem Routenzug transportiert werden. Diese voneinander abhängigen Entscheidungen beeinflussen maßgeblich die Effizienz des Routenzugsystems. Je nach Konzept werden die Entscheidungen bereits in der Planung oder kurzfristig durch die Steuerung festgelegt. In diesem Kapitel wird zunächst untersucht, wie häufig die Parameter der Routen und Touren in der Praxis angepasst werden. Daraus ergeben sich unterschiedliche Gesamtkonzepte, die von der rein planerischen Festlegung aller Entscheidungen bis zur kurzfristigen Steuerung der Routen und Touren reichen. Derzeit werden dynamische Ansätze, in denen die Routen und Touren aufgrund aktueller Bedarfsdaten festgelegt werden, besonders intensiv diskutiert. Deshalb wird anschließend gezeigt, welchen Nutzen sich die Studienteilnehmer von einem dynamischen Konzept versprechen und welche konkreten Erwartungen an dieses gestellt werden. Den Erwartungen werden Erfahrungen gegenübergestellt, die bereits mit dynamischen Konzepten gemacht wurden.

Begriffe bei der Festlegung von Routen und Touren

Route



Die Route ist eine Gruppierung von Haltepunkten, die durch einen definierten Fahrweg des Routenzugs im Layout verbunden sind [VDI 5586]. Routen können entweder fix festgelegt und regelmäßig von mehreren Touren abgefahren werden; oder sie werden einmalig für eine konkrete Tour bestimmt.

Tour



„Eine Tour [...] beinhaltet neben der Fahrt entlang der Route die Be- und Entladung an den Haltepunkten einschließlich der dort anfallenden Tätigkeiten“ [VDI-5586, S. 4]. Für eine Tour werden konkrete Transportaufträge zusammengefasst, deren Auslieferungsreihenfolge festgelegt ist.

Scheduling



Im Rahmen des Scheduling werden die Touren eines Routenzugsystems unter der Berücksichtigung einer hinterlegten Logik terminiert (siehe Kapitel 4). Mindestens werden dabei die Abfahrtszeitpunkte der Touren bestimmt. Sollen die Routenzüge z.B. getaktet fahren, gilt es im Scheduling die Taktzeit der Routen zu bestimmen. Des Weiteren können ebenfalls die Abfahrtszeitpunkte an einzelnen Bereitstellorten im System festgelegt werden. Je nach hinterlegter Logik erfolgt das Scheduling statisch oder dynamisch.

Ressourcenzuweisung



Bei der Ressourcenzuweisung werden den Routen bzw. Touren des Systems Routenzüge, Mitarbeiter sowie weitere Systemressourcen zugewiesen. Dabei kann eine Ressource in der Planung sowohl einer bis mehreren Touren, aber auch einer bis mehreren Routen zugeteilt werden.

Alternative Konzepte

Wie häufig werden die Parameter von Routen und Touren angepasst?

Bei der Festlegung von Routen und Touren müssen verschiedene, voneinander abhängige Entscheidungen getroffen werden (siehe Abbildung 6-1). Die Reihenfolge, welche Entscheidung auf welche andere folgt, ist vom Gesamtkonzept abhängig. Häufig werden zwei oder mehr Entscheidungen auch integriert getroffen.

Durch das Zusammenfassen von mehreren Haltepunkten, von denen aus Bereitstellorte bedient werden, entsteht eine Route. In 58 % der in der Studie erfassten Systeme wird diese Routenbildung seltener als monatlich durchgeführt. Dies bedeutet, dass die Route langfristig bestehen bleibt. Je häufiger sich die Randbedingungen des Routenzugsystems verändern, desto häufiger müssen auch die Routen angepasst werden. 20 % der Studienteilnehmer geben

an, dass die Routenbildung öfter als täglich, z. B. für jede Schicht, angepasst wird. Dies kann bedeuten, dass nur ein einziger Bereitstellort der Route hinzugefügt wird oder dass im Extremfall jede Tour auf einer individuellen Route verkehrt. Eine weitere Möglichkeit, die Route anzupassen, besteht darin, die Reihenfolge der Bereitstellorte innerhalb der Route zu ändern. 56 % der Teilnehmer geben an, dass dies seltener als monatlich stattfindet. In 22 % der erfassten Routenzugsysteme geschieht dies öfter als täglich. Auch wenn beide Entscheidungen in manchen Fällen getrennt getroffen werden, zeigen die Auswertungen, dass dies in den meisten Fällen integriert entschieden wird.

Neben der Routenbildung entscheidet in vielen Systemen maßgeblich das Scheduling, welche Transportaufträge auf welcher Tour ausgeliefert werden. Logiken zur Tourenfreigabe wurden bereits in Kapitel 4 näher erläutert. Diese werden in statische und dynamische Logiken unterteilt. Wie häufig die Parameter der Logik angepasst werden,

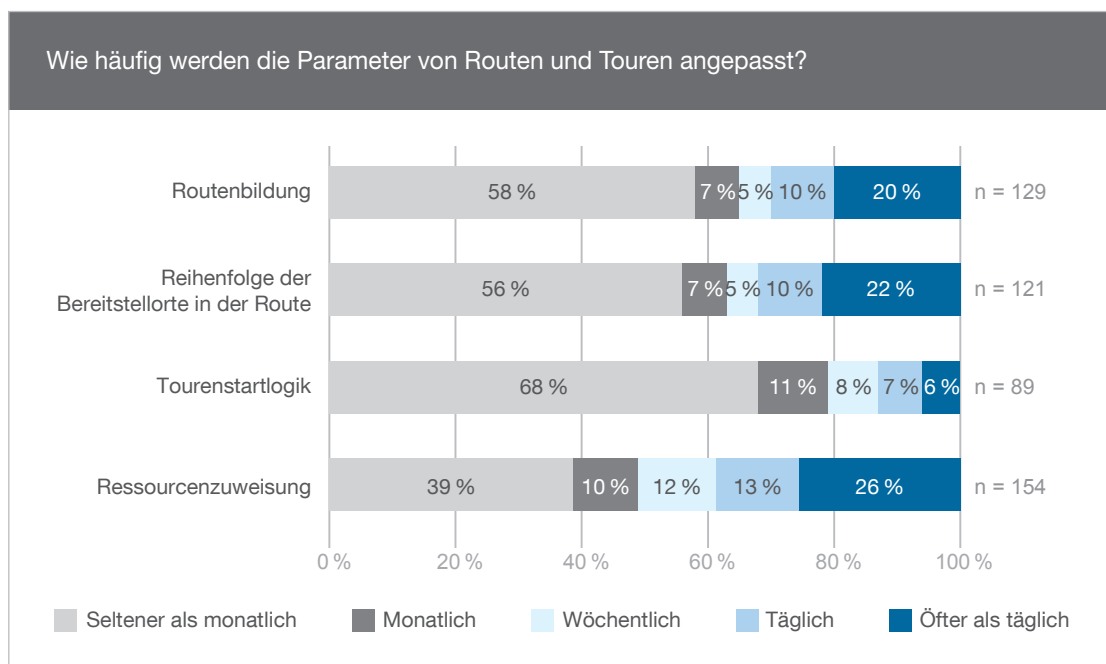


Abbildung 6-1

ist in Abbildung 6-1 dargestellt. In den meisten Fällen bleiben die Parameter der Tourenstartlogik langfristig bestehen. 79 % der Studienteilnehmer geben an, dass diese nur monatlich oder seltener angepasst werden. In 6 % der Szenarien wird die Logik dagegen öfter als täglich angepasst, z. B. durch die Variation des Takts über verschiedene Schichten.

Bei der Ressourcenzuweisung werden die Routen bzw. Touren mit Routenzügen und Mitarbeitern sowie weiteren Ressourcen des Systems verknüpft. Dabei kann eine Ressource sowohl für eine bis mehrere Touren, aber auch für eine bis mehrere Routen eingeplant sein. Des Weiteren können einer Route auch mehrere gleichartige Ressourcen, z. B. zwei Routenzüge, zugeordnet werden. Einer Tour kann aber jeweils nur eine gleichartige Ressource, z. B. ein Routenzug, zugewiesen werden. Die Auswertung, wie häufig die Ressourcenzuweisung getroffen wird, zeigt, dass dies in 49 % der Routenzugsysteme monatlich oder seltener und in 39 % täglich oder öfter geschieht. Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass die Festlegung der Routen und Touren in der Praxis auf vielfältige Weise passiert.

Welche Konzepte gibt es bei der Routen- und Tourenbildung?

Es gibt verschiedene Konzepte der Routen- und Tourenbildung, die sich hinsichtlich der Fristigkeit der Festlegung der Parameter unterscheiden. Die Wahl eines Konzepts hängt stark von den Randbedingungen und der Philosophie des Routenzugsystems ab. Alle Konzepte weisen Vor- sowie Nachteile auf und sind für unterschiedliche Randbedingungen geeignet. Das gemeinsame Ziel ist jeweils die Festlegung, welche Transportaufträge wann auf welchem Routenzug und

auf welchem Weg bearbeitet werden.

Herkömmlicherweise wird die Route langfristig aufgrund von durchschnittlichen Transportbedarfen bzw. der Lage der Bereitstellorte im Produktionslayout festgelegt. Günthner et al. unterscheiden zwischen der layoutbasierten und der taktbasierten Festlegung der Routen. Erstere wird vor allem bei sehr restriktiven Layouts empfohlen. Auf den aus dem Layout bestimmten Routen basierend, werden anschließend die Taktzeiten aus den durchschnittlichen Transportbedarfen der dazugehörigen Bereitstellorte gebildet. Umgekehrt wird bei der taktbasierten Festlegung zunächst ein einheitlicher Takt für alle Routen definiert. Im Anschluss werden dann die Bereitstellorte so zusammengefasst, dass alle entstehenden Routen gleichmäßig ausgelastet sind. Haben unterschiedliche Routen einen gemeinsamen Bahnhof, lassen sich durch eine Terminierung Blockaden der Routenzüge vermeiden. [Gün-2013]

Neben den Transportbedarfen der Bereitstellorte ist der mögliche Fahrweg ein Kriterium bei der Bildung der Route. Abbildung 6-2 stellt dar, welche Aspekte dabei berücksichtigt werden. In den meisten Routenzugsystemen werden die Gesamtzeit einer Tour auf der Route (63 %), Engpässe im Produktionslayout (59 %) sowie die Gesamtdistanz einer Route (52 %) bei der Festlegung des Fahrwegs berücksichtigt. Verkehrsbelastung (44 %) und Überholmöglichkeiten (20 %) werden seltener beachtet. Dadurch können jedoch vermehrt ungeplante Blockaden der Routenzüge, z. B. durch andere Routenzüge, auftreten, wodurch wiederum die tatsächliche Zykluszeit verlängert wird. Umso wichtiger ist eine ausgeglichene Freigabe der Touren auf der Route. Diese werden dann häufig im operativen

Betrieb unter der Berücksichtigung der Tourenstartlogik gebildet. Wurde z. B. ein Takt von 30 Minuten für eine Route definiert, beginnt jede halbe Stunde eine neue Tour auf dieser Route.

Allgemein bieten diese Konzepte klare Strukturen und Systemtransparenz. Bei schwankenden Transportbedarfen müssen jedoch Sicherheitspuffer im Routenzugsystem vorgesehen werden, da die Steuerung wenig Spielraum zur Reaktion auf den aktuellen Systemzustand hat.

Eine Flexibilisierung des Routenzugsystems gegenüber veränderten Transportbedarfen oder Störungen wird erreicht, indem einzelne Entscheidungen nicht mehr langfristig, sondern operativ getroffen werden. So kann unter anderem eine dynamische Tourenstartlogik für eine langfristig festgelegte Route verwendet werden. Dadurch ist es möglich, die Auslastung einzelner Touren zu optimieren. Des Weiteren kann die Routenbildung dynamisiert werden, indem einzelne Bereitstellorte kurzfristig zur Route hinzuge-

fügt werden oder die Reihenfolge der Bereitstellorte innerhalb der Route kurzfristig angepasst wird. Diese Dynamisierung kann so weit gehen, dass die gesamte Route individuell von einer Tour abgeleitet wird. Die Routenbildung erfolgt dann unter Berücksichtigung des aktuellen Transportbedarfs und Systemzustands, also dynamisch. Die Dynamisierung bietet das Potenzial, Belastungsspitzen kurzfristig effizient abzufangen. Allerdings steigt der Steuerungsaufwand immens und die Transparenz des Routenzugsystems sinkt, sofern die gesammelten Daten nicht in geeigneter Form visualisiert werden.

Die Auswertung des Fragebogens ergab, dass 5 % der Routenzugsysteme ein Szenario aufweisen, bei dem sowohl die Routenbildung als auch die Tourenbildung mittels dynamischem Scheduling operativ erfolgen. Diese Szenarien werden im Folgenden als dynamisch gesteuertes Routenzugsystem bezeichnet. Da aktuell besonders die Potenziale und Gestaltung dieser dynamischen Konzepte diskutiert werden, aber noch

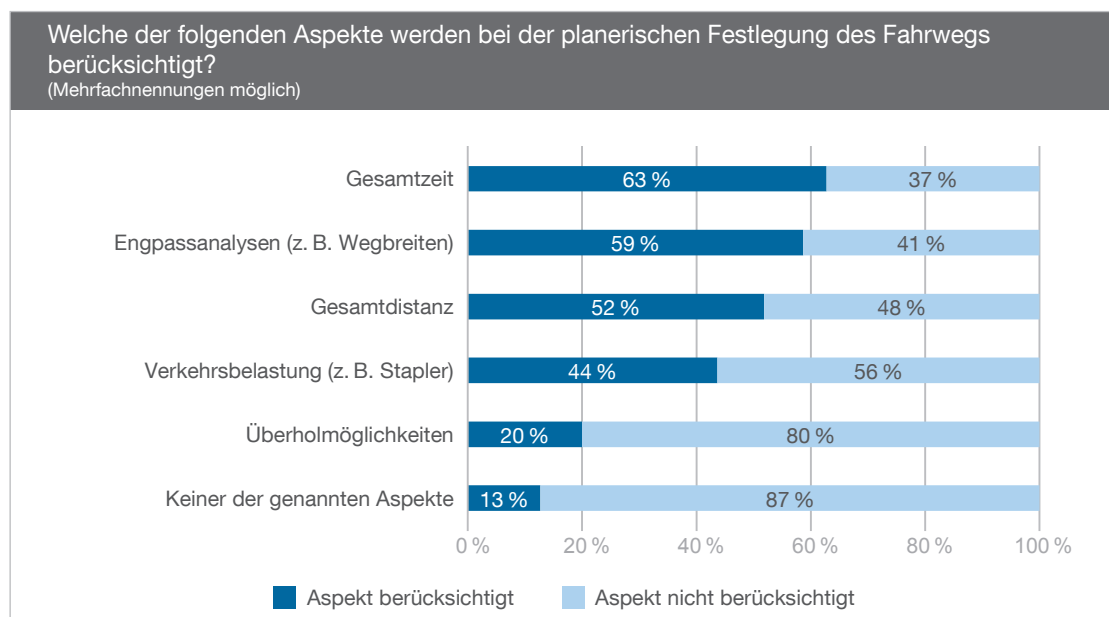


Abbildung 6-2

keine Untersuchungen dazu veröffentlicht wurden, wird im Folgenden näher auf die diesbezüglichen Erwartungen und Erfahrungen der Studienteilnehmer eingegangen.

Dynamische Routenzugsteuerung

Wie beurteilen Sie den Nutzen eines dynamisch gesteuerten Routenzugsystems?

Dynamisch gesteuerte Routenzugsysteme legen die Routen und Touren dynamisch im laufenden Betrieb unter der Berücksichtigung des aktuellen Systemzustands und der aktuellen Transportbedarfe fest. Häufig werden sie als Möglichkeit erachtet, auch in einem volatilen Produktionsumfeld mit hohen Transportbedarfsschwankungen die Produktion robust und effizient zu versorgen.

Abbildung 6-3 stellt dar, inwiefern die Studienteilnehmer tatsächlich einen Nutzen in einem dynamisch gesteuerten Routenzugsystem sehen.

Demnach erkennen 94 % der Studienteilnehmer einen Nutzen in einer dynamischen Routen- und Tourenbildung. 73 % beurteilen diesen Nutzen als hoch. 5 % bescheinigen diesem Konzept jedoch keinen Nutzen.

Des Weiteren beurteilen 92 % der Studienteilnehmer das dynamische Scheduling als nützlich. 65 % beurteilen diesen Nutzen sogar als hoch. Dem gegenübergestellt haben nur 53 % der erfassten Routenzugsysteme eine Logik zum Tourenstart implementiert, die eine dynamische Abfahrt ermöglicht (siehe Kapitel 4).

Eine Ausrichtung der Routenzugsystemsteuerung an den aktuellen Bedarfen wird somit von der Mehrheit der Studienteilnehmer positiv bewertet.

Bei der Festlegung des Fahrwegs finden 87% der Teilnehmer eine Berücksichtigung von aktuellen Blockaden der Fahrwege nützlich. Einen Nutzen in der Berücksichtigung des aktuellen Verkehrsaufkommens erkennen 84 % der Studienteilnehmer. Keinen

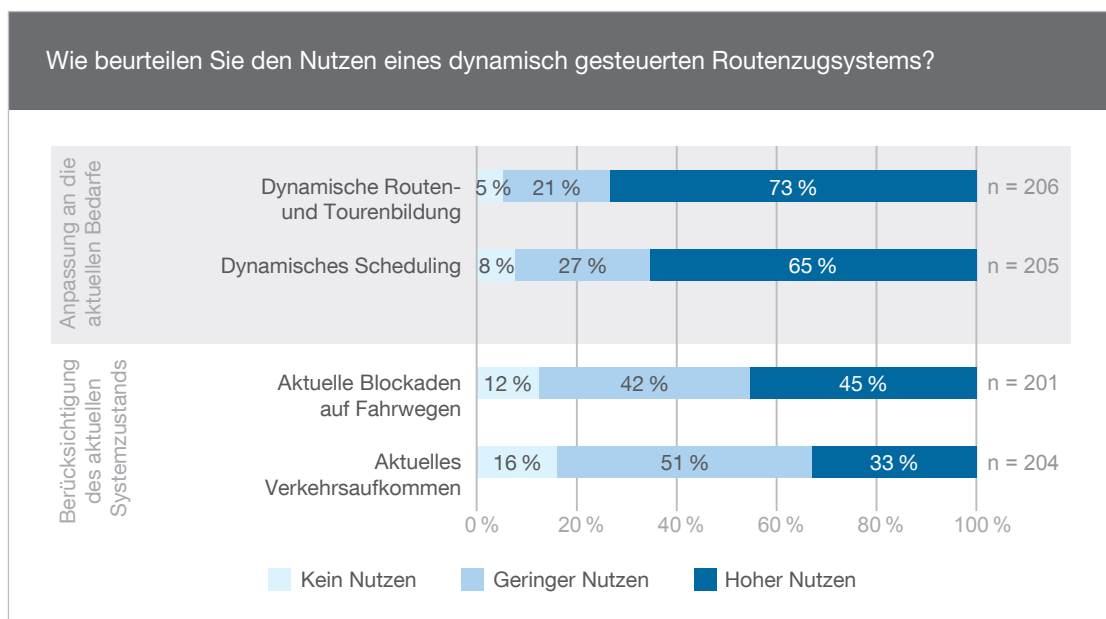


Abbildung 6-3

Nutzen in beiden Aspekten sehen 12 % bzw. 18 %. Die Anpassung des Fahrwegs aufgrund der Interaktion eines Routenzugs mit externen Faktoren wird insgesamt als weniger nützlich eingestuft als die Dynamisierung aufgrund der aktuellen Bedarfe. Blockaden der Routenzüge stellen eine reine Verschwendung im Prozess dar. Konzepte zur dynamischen Steuerung von Routenzügen sollten daher so gestaltet sein, dass Blockaden vermieden werden.

Wie effektiv, effizient und transparent ist ein dynamisch gesteuertes Routenzugsystem?

Im Folgenden werden die Erwartungen an ein dynamisch gesteuertes Routenzugsystem den Erfahrungen einzelner Teilnehmer gegenübergestellt. Die Erfahrungen leiten sich aus den Bewertungen der Studienteilnehmer ab, die angeben, ein dynamisch gesteuertes Routenzugsystem einzusetzen.

Abbildung 6-4 stellt die Erwartungen der Studienteilnehmer an ein dynamisch gesteuertes Routenzugsystem hinsichtlich der Effektivität den tatsächlichen Erfahrungen gegenüber. Dabei wurden die Versorgungssicherheit sowie die Blockaden der Routenzüge bewertet. Ist der Weg eines Routenzugs durch ein Hindernis, z. B. einen anderen Routenzug, einen beschränkten Übergang über die Produktionslinie oder einen Stapler versperrt, kann die Transportaufgabe oft nicht in der geplanten Zeit erfüllt werden. Dies wirkt sich negativ auf die Effektivität aus. Zudem stellen Wartezeiten aufgrund von Blockaden eine Verschwendung im Prozess dar.

56 % der Studienteilnehmer erwarten, dass die Versorgungssicherheit bei einem dynamisch gesteuerten System steigt. Dahingegen bestätigen dies sogar 75 % der Erfahrungen. In 17 % blieb die Versorgungssicherheit unverändert; in 8 % wurde sie schlechter als in einem vergleichbaren statisch gesteuerten System.

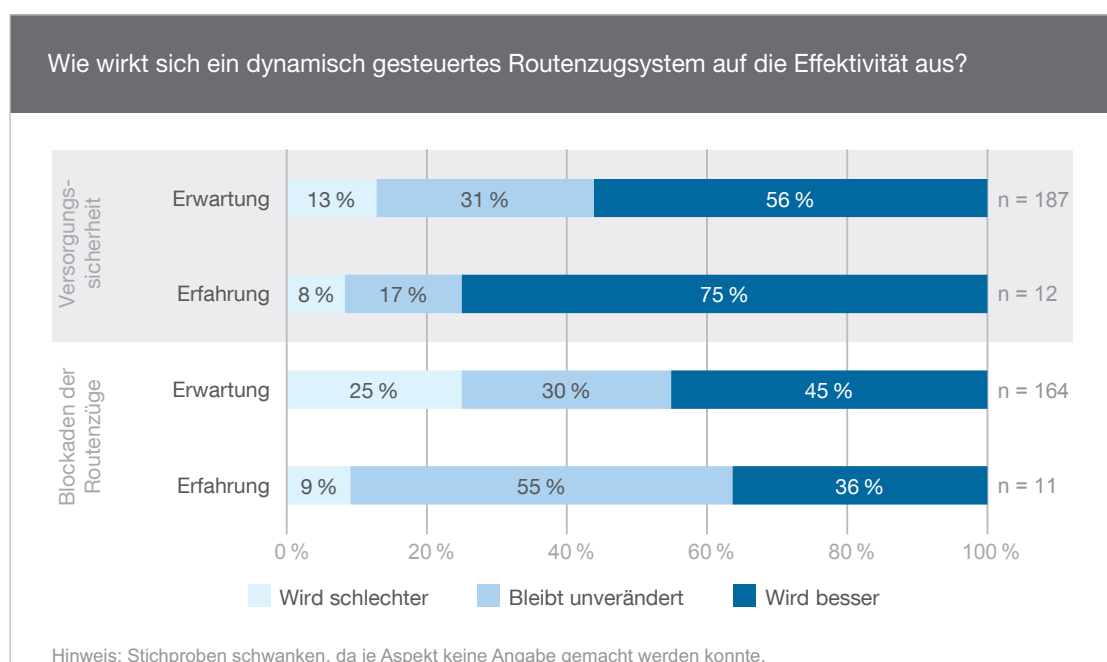


Abbildung 6-4

45 % der Befragten gehen davon aus, dass Blockaden der Routenzüge in einem dynamisch gesteuerten Routenzugsystem abnehmen. Hingegen erwarten 25 % eine Zunahme der Blockaden. Die Erfahrungen zeigen, dass die Blockaden in 36 % der Routenzugsysteme abnahmen. In 55 % blieben sie unverändert und in 9 % nahmen sie sogar zu, wenn eine dynamische Steuerung eingeführt wurde. Häufig können Blockaden aufgrund des Produktionslayouts nicht vermieden werden.

In Bezug auf die Effektivität zeigt sich bereits das Potenzial eines dynamisch gesteuerten Routenzugsystems. Allerdings gilt es zu beachten, dass das dynamische Konzept nicht in jedem Anwendungsfall nur Vorteile mit sich bringt.

Abbildung 6-5 zeigt die Erwartungen und Erfahrungen der Studienteilnehmer hinsichtlich der Auswirkungen eines dynamisch gesteuerten Routenzugsystems auf die Effizienz. Betrachtet werden die kapazitive Auslastung der Routenzüge sowie die Bestände im Produktionsbereich. Die Studienteilnehmer

erwarten mehrheitlich (69 %), dass eine dynamische Steuerung des Routenzugsystems die kapazitive Auslastung der Routenzüge erhöht. 15 % sehen jedoch einen Rückgang der Auslastung bei der Einführung eines dynamisch gesteuerten Systems. Die Erfahrungen für die kapazitive Auslastung bestätigen die gemischten Erwartungen. In 55 % der betrachteten dynamischen Konzepte wurde die Effizienz durch eine höhere kapazitive Auslastung der Routenzüge gesteigert. Allerdings sank die Auslastung in 27 % der Routenzugsysteme.

Die Erwartungen der Studienteilnehmer hinsichtlich der Auswirkungen einer dynamischen Steuerung auf die Bestände im Produktionsbereich sind überwiegend positiv. Mehrheitlich (48 %) wird erwartet, dass die Bestände sinken. 44 % gehen von keiner Veränderung aus, wohingegen 8 % einen Anstieg des Bestands prognostizieren. Erfahrungen zeigen eine durchweg neutrale bzw. positive Auswirkung. In 58 % der dynamisch gesteuerten Routenzugsysteme sanken die Bestände im Vergleich zum Ausgangssystem. Im Rest der Szenarien war

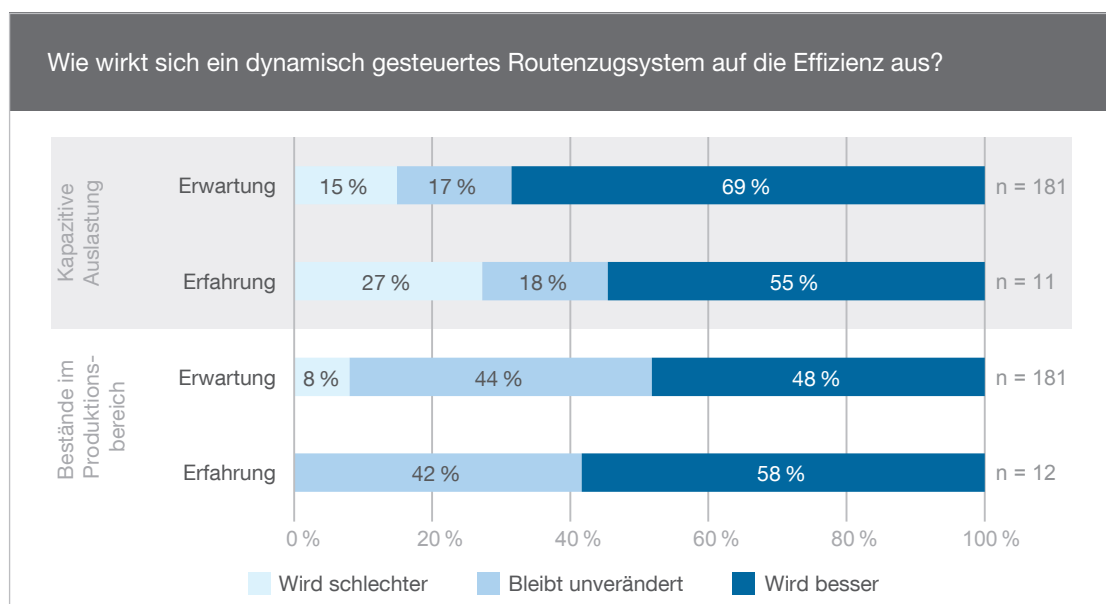


Abbildung 6-5

keine Veränderung des Bestandsniveaus erkennbar.

Eine wichtige Basis zur Beurteilung der Effektivität und Effizienz ist die Transparenz eines Systems. In einem dynamischen System verändern sich die offensichtlichen Abläufe permanent. Durch die erhöhte Komplexität der Steuerung ist für den Mitarbeiter ohne technische Unterstützung zunächst nicht ersichtlich, welche Entscheidungen in der Steuerung ablaufen. Daher erwarten 48 % der Studienteilnehmer, dass die Systemtransparenz bei einem dynamisch gesteuerten Routenzugsystem schlechter ist als bei statisch gesteuerten Systemen (siehe Abbildung 6-6).

Erst durch technische Unterstützung werden den Mitarbeitern der Zustand und die aktuellen Prozesse des Systems veranschaulicht. Durch die benötigte elektronische Erfassung von Daten steigt die Informationskomplexität. 34 % der Teilnehmer prognostizieren, dass die Transparenz durch

eine geeignete Visualisierung dieser Daten insgesamt steigt. Dies wird auch durch die angegebenen Erfahrungen verdeutlicht. In 50 % der dynamisch gesteuerten Systeme wurden die Abläufe transparenter. In 25 % verschlechterte sich die Transparenz allerdings.

Grundsätzlich sind die Erwartungen an eine dynamische Steuerung des Routenzugsystems überwiegend positiv. Lediglich hinsichtlich der Transparenz gehen die Studienteilnehmer mehrheitlich von einer Verschlechterung aus. Die größtenteils positiven bzw. neutralen Erfahrungen bereits eingesetzter dynamischer Steuerungen bestätigen die Erwartungen. In Bezug auf die Transparenz wurden diese sogar übertroffen. Trotz der mehrheitlich positiven Erfahrungen gibt es auch Szenarien, in denen einzelne Aspekte verschlechtert wurden. Dies zeigt, dass eine dynamische Steuerung nicht für jedes Einsatzszenario geeignet sein muss.

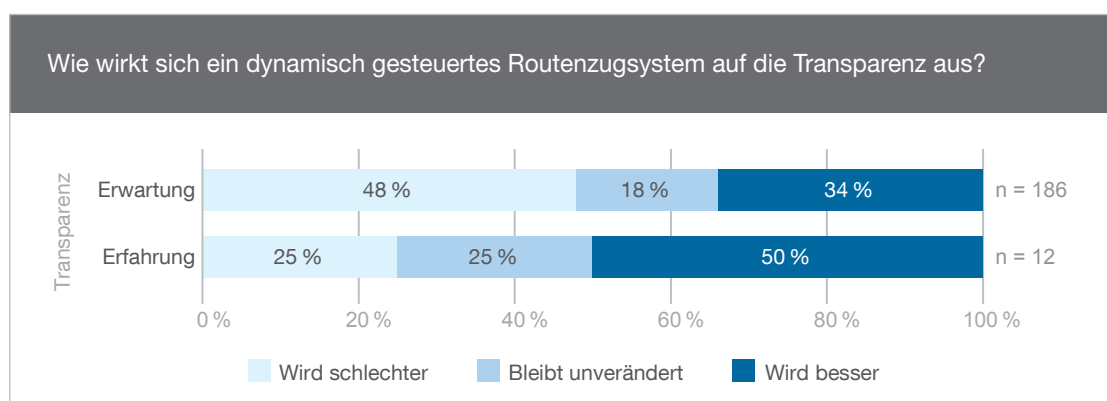


Abbildung 6-6

Fazit zu Festlegung von Routen und Touren

- Aktuell sind hauptsächlich Routenzugsysteme im Einsatz, in denen Routen fix festgelegt werden. Auf diesen Routen verkehren mehrere Touren entweder mit einem dynamischen Tourenstartzeitpunkt oder nach einem festen Takt. Dynamisch gesteuerte Routenzugsysteme, bei denen sowohl die Routen individuell dynamisch als auch der Tourenstart in Abhängigkeit der aktuellen Bedarfe bestimmt werden, sind vereinzelt umgesetzt. Je nach Einsatzszenario sind unterschiedliche Konzepte der Routen- und Tourenfestlegung sinnvoll.
- Der erwartete Nutzen dynamisch gesteuerter Routenzugsysteme ist insgesamt hoch. Erste Erfahrungen mit der Anwendung dynamischer Konzepte zeigen überwiegend positive Ergebnisse. Je nach Einsatzszenario wurden einzelne Aspekte aber auch negativ im Vergleich zu statisch gesteuerten Systemen bewertet. Bei einer dynamischen Steuerung des Routenzugsystems ist es deshalb wichtig, die richtigen Algorithmen zu verwenden und die Parameter an die Randbedingungen des Systems anzupassen.
- Die Transparenz eines Routenzugsystems hängt maßgeblich von der Visualisierung der Informationen ab und nicht von der Art der Steuerung.

7. Betrieb von Routenzugsystemen

In den vorangestellten Kapiteln wurde gezeigt, welche Informationen in die Planung und Steuerung von Routenzugsystemen einfließen. Es stellt sich aber zudem die Frage, in welcher Form die Informationen in den einzelnen Systemen vorliegen. Aus diesem Grund werden zu Beginn dieses Kapitels die Themen Informationsverfügbarkeit und Datenvisualisierung näher betrachtet. Im weiteren Verlauf wird erläutert, welche kritischen Störungen das Routenzugsystem und damit die Produktionsversorgung beeinflussen können. Im Anschluss wird der Einfluss von schwankenden Transportmengen auf das Routenzugsystem betrachtet.

Informationsverfügbarkeit und Datenvisualisierung

Welche der nachfolgend genannten Daten sind im Unternehmen in digitaler Form verfügbar?

Kernaufgabe der in der vorliegenden Studie betrachteten Routenzüge ist die Versorgung der Produktion mit Material. Essentiell für diese Aufgabe ist die Kenntnis über den Materialbedarf der Produktion und den sich daraus ableitenden Transportbedarf. In Kapitel 3 wurde bereits auf die unterschiedlichen Abrufprinzipien eingegangen. Unabhängig davon, ob ein verbrauchs- oder bedarfsorientierter Abruf erfolgt, liegen in den meisten Fällen (87 %) die Informationen zum Materialabruf in digitaler Form vor (siehe Abbildung 7-1). Hier lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen Systemen mit dynamischer oder statischer Steuerung feststellen.

Informationen über die Materialbedarfe sind wesentlich für das Routenzugsystem, da aus ihnen abgeleitet wird, welches Material wohin und in einigen Fällen auch bis wann transportiert werden muss. Häufig werden diese Daten von einem PPS-System für die Routenzugsteuerung zur Verfügung gestellt. In 13 % der betrachteten Systeme liegen diese Informationen nicht in digitaler Form vor. Hier ist davon auszugehen, dass noch ein klassisches Kanban-Prinzip mit physisch gehandhabten Karten genutzt wird oder ma-

nuelle Materialbuchungen durch einen Disponenten vorgenommen werden, der dann die Logistikmitarbeiter bzw. Routenzugfahrer über die zu transportierenden Materialien informiert. Solche Prinzipien sind einfach und günstig umzusetzen, haben aber den Nachteil, dass relativ viel Zeit zwischen der Bedarfsauslösung und der Informationsweitergabe an das Routenzugsystem vergeht. Bestes Beispiel hierfür ist die Kanban-Karte, die direkt nachdem der Routenzug am Bereitstellort abgefahren ist, durch die Produktion in einen Kanban-Briefkasten gesteckt und damit Materialbedarf signalisiert wird. Durch die daraus resultierenden Liegezeiten der Informationen wird die Wiederbeschaffungszeit des Materials verlängert, was zwangsläufig durch höhere Bestände in der Produktion ausgeglichen werden muss.

Informationen zum Layout (62 %) stehen meistens für die Planung in digitaler Form bereit. In der Hälfte der betrachteten Systeme stehen zudem digitale Informationen zu Zeitfenstern für die Bereitstellung zur Verfügung. Damit ist gemeint, dass für jeden Materialabruf sowohl ein frühester als auch ein spätester Zeitpunkt für die Materialbereitstellung am Bedarfsort definiert ist. Mit diesen zeitlichen Vorgaben soll sichergestellt werden, dass das Material rechtzeitig, aber nicht zu früh bereitgestellt wird, was gegebenenfalls zu überfüllten Bereitstellungsflächen führen kann. Je enger ein solches

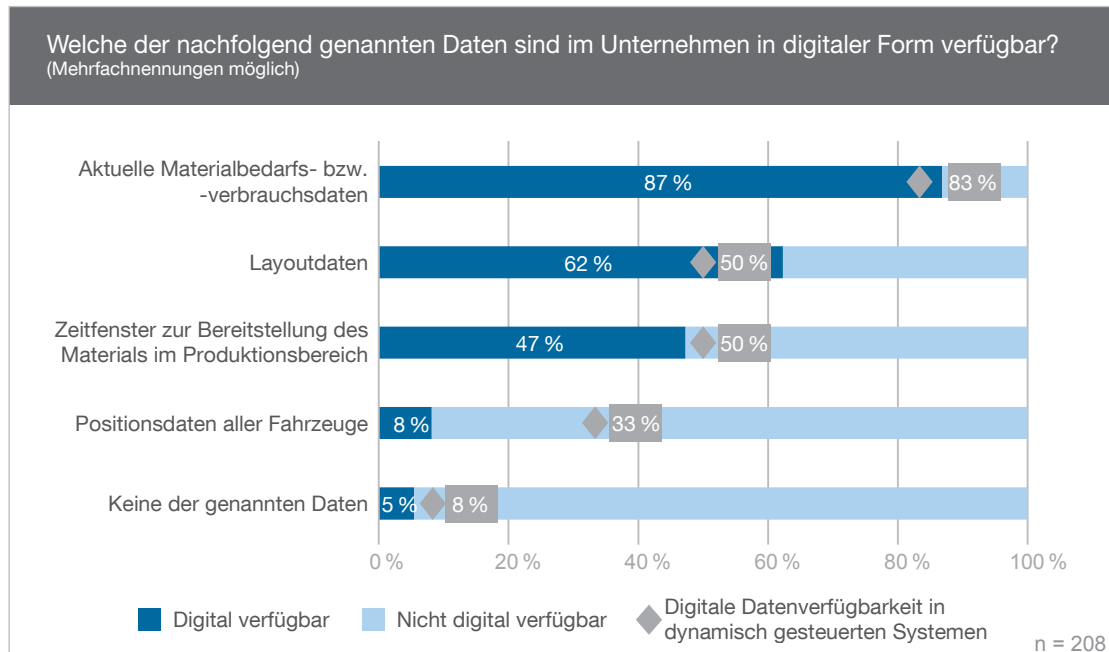


Abbildung 7-1

Zeitfenster definiert wird, desto höher sind die Anforderungen an die Routenzugsteuerung, da die Menge an Materialien, die gemeinsam auf einer Tour transportiert werden kann, sehr klein ist und damit die Effizienz des Routenzugsystems beeinflusst wird.

Positionsdaten liegen nur in 8 % der betrachteten Systeme in digitaler Form vor. Auffällig ist hierbei, dass der Anteil bei dynamisch gesteuerten Systemen deutlich höher ausfällt. Hier kann in 33 % der Fälle auf Positionsdaten zurückgegriffen werden.

Wie werden dem Fahrer Informationen zur Route und Tour bereitgestellt?

Trotz der in den Medien propagierten Digitalisierung der Produktions- und Logistiklandschaft wird in mehr als der Hälfte der Routenzugsysteme noch auf die analoge Papierliste zur Weitergabe von Informationen gesetzt (siehe Abbildung 7-2). 53 %

der Studienteilnehmer geben an, bestimmte Informationen in Papierform, z. B. in Form einer Auftragsliste oder eines Labels an der Transporteinheit, an den Fahrer zu übermitteln. Häufig wird die analoge Informationsweitergabe in Kombination mit digitaler Kommunikation eingesetzt. In 41 % der Routenzugsysteme werden jedoch keinerlei digitale Informationen übertragen.

Die digitale Kommunikation mit dem Routenzugfahrer kann entweder an zentralen Orten (25 %), z. B. auf einem Bildschirm an der Quelle oder dezentral auf dem Routenzug (47 %), z. B. durch ein Fahrerterminal oder einen Handheld, erfolgen. 18 % der Befragten geben an, dass Informationen im Routenzugsystem dem Fahrer rein digital übermittelt werden.

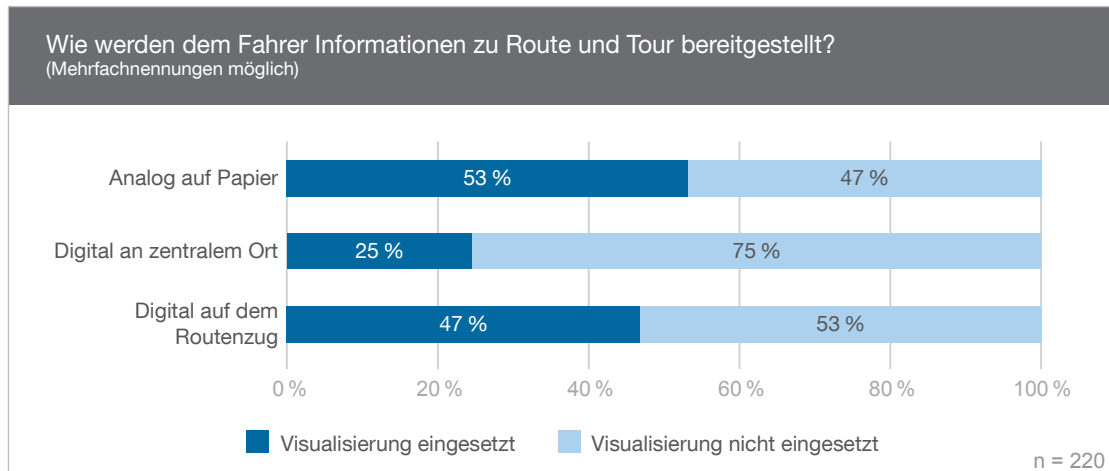


Abbildung 7-2

Störungen und Schwankungen

Welche Arten von Störungen treten in Routenzugsystemen auf und wie kritisch sind diese?

Im operativen Betrieb von Routenzugsystemen führen Einflüsse aus vor- und nachgelagerten Prozessen oder aus dem Rou-

tenzugsystem selbst zu Abweichungen von den regulären Abläufen. Dazu gehören Störungen, die in der Regel sporadisch, ungeplant und zu unvorhersehbaren Zeitpunkten auftreten, wie etwa technische Störungen einzelner Elemente des Routenzugsystems oder Fehler in den Prozessen. Abbildung 7-3 zeigt die Störungsarten, die

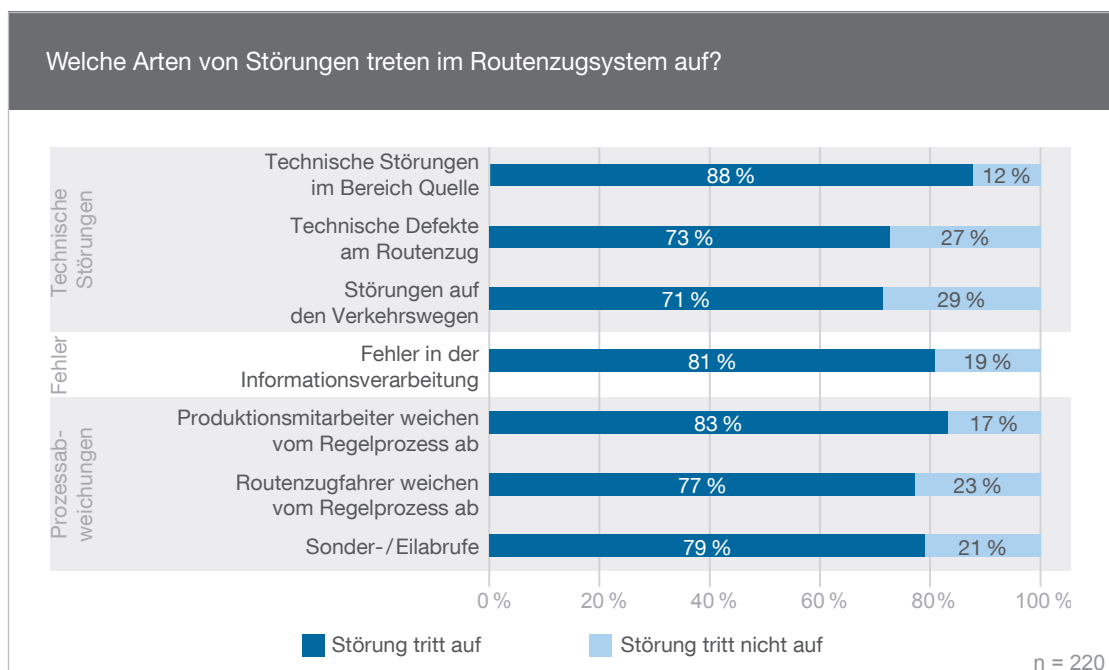


Abbildung 7-3

nach Aussage der Teilnehmer in den meisten Routenzugsystemen (> 70 %) auftreten. Am häufigsten genannt wurden technische Störungen im Bereich der Quelle (88 %), am seltensten technische Defekte am Routenzug (73 %) und Störungen auf den Verkehrswegen (71 %). Größere Unterschiede hinsichtlich der Auftretenshäufigkeiten zwischen den einzelnen Störungsarten können nicht festgestellt werden.

Die am seltensten auftretenden Störungen (Störungen auf den Verkehrswegen, technische Defekte des Routenzugs) werden außerdem als am wenigsten kritisch eingeschätzt (Abbildung 7-4). Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass diese Störungsarten relativ einfach und schnell zu beheben sind (z. B. durch Umfahren der Störung auf dem Verkehrsweg bzw. durch kurzfristige Nutzung eines anderen Fördermittels). Alle anderen Störungsarten werden von mehr als der Hälfte der Teilnehmer als kritisch oder sehr kritisch bewertet. Prozessabweichungen und Fehler in der Informationsverarbeitung werden dabei als kritischer angesehen

als technische Störungen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass derartige Abweichungen schwer zu erkennen sind und gegebenenfalls erst bemerkt werden, wenn an den Bereitstellorten benötigtes Material fehlt und damit nicht mehr eingegriffen werden kann.

Welche Arten von Schwankungen treten in Routenzugsystemen auf und wie kritisch sind diese?

Schwankungen, z.B. im Transportbedarf oder in der Tourdauer, treten in den meisten Routenzugsystemen systembedingt auf und sind in gewissem Umfang vorhersehbar. Beispielsweise führen Variationen im Produktionsprogramm zu variierenden Materialbedarfen und in der Folge auch zu variierenden Abrufmengen.

Schwankungen in den Bedarfen, d. h. in der Anzahl der Abrufe pro Zeiteinheit, in der Anzahl der je Zeiteinheit im Produktionsbereich benötigten Behälter und in der Anzahl der je Routenzug-Tour transportierten Behälter,

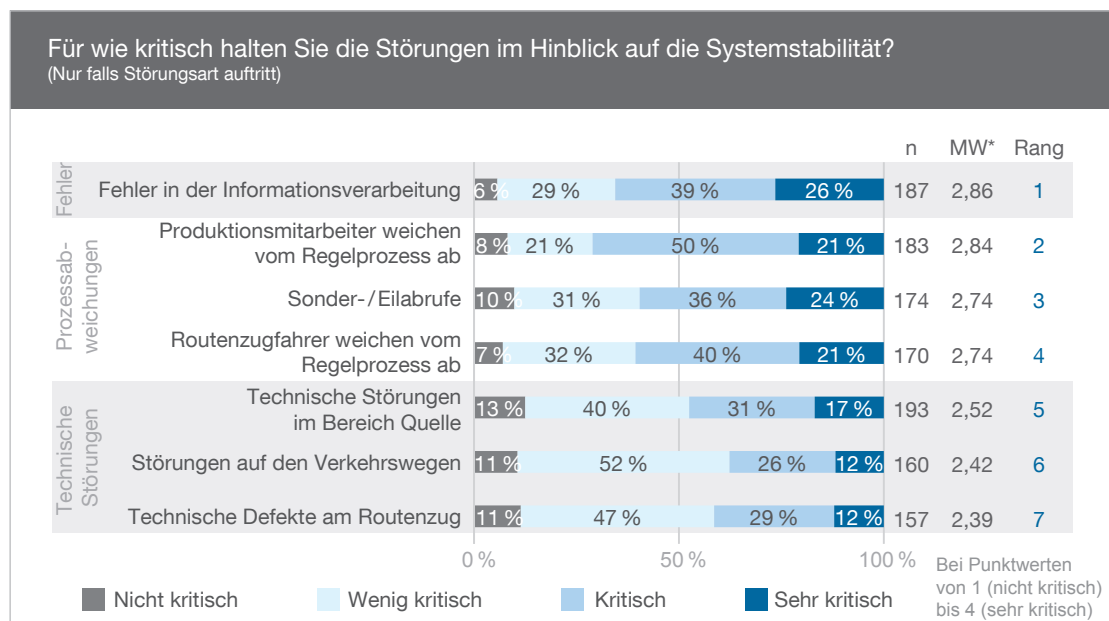


Abbildung 7-4

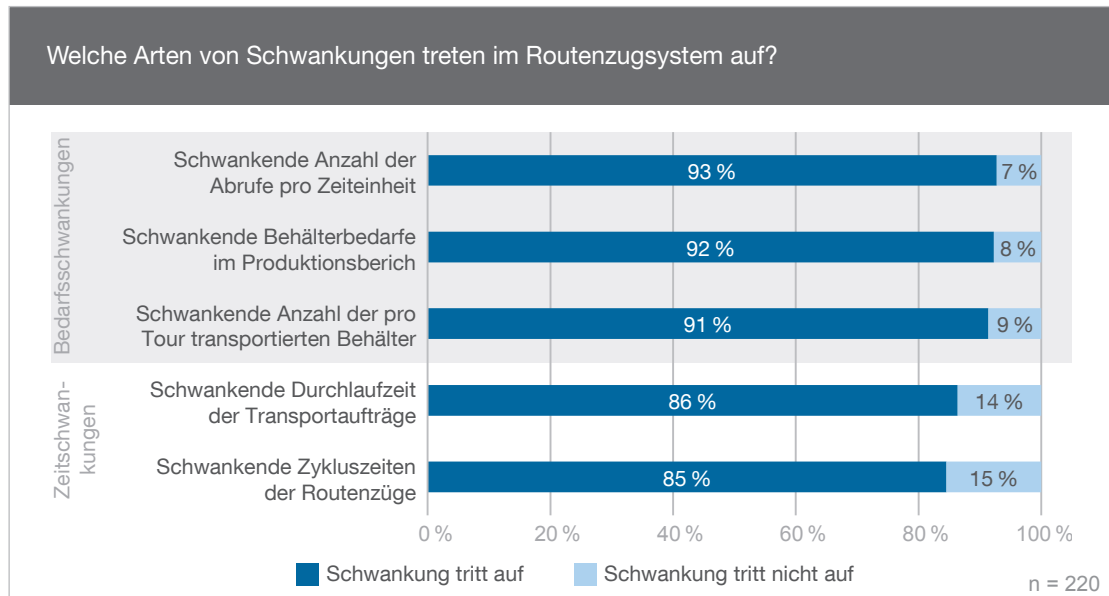


Abbildung 7-5

treten in fast allen von den Studienteilnehmern beschriebenen Routenzugsystemen auf (> 90 %, siehe Abbildung 7-5). Schwankende Durchlaufzeiten und Zykluszeiten als Folge davon treten zwar seltener, aber immer noch sehr häufig auf (85 – 86 %). Dies zeigt, dass Routenzugsysteme in der Lage

sein müssen, mit diesen Schwankungen umzugehen.

Alle Schwankungsarten werden im Durchschnitt als ungefähr mittel-kritisch eingeschätzt (siehe Abbildung 7-6). Schwankende Abrufanzahlen werden als am meisten,

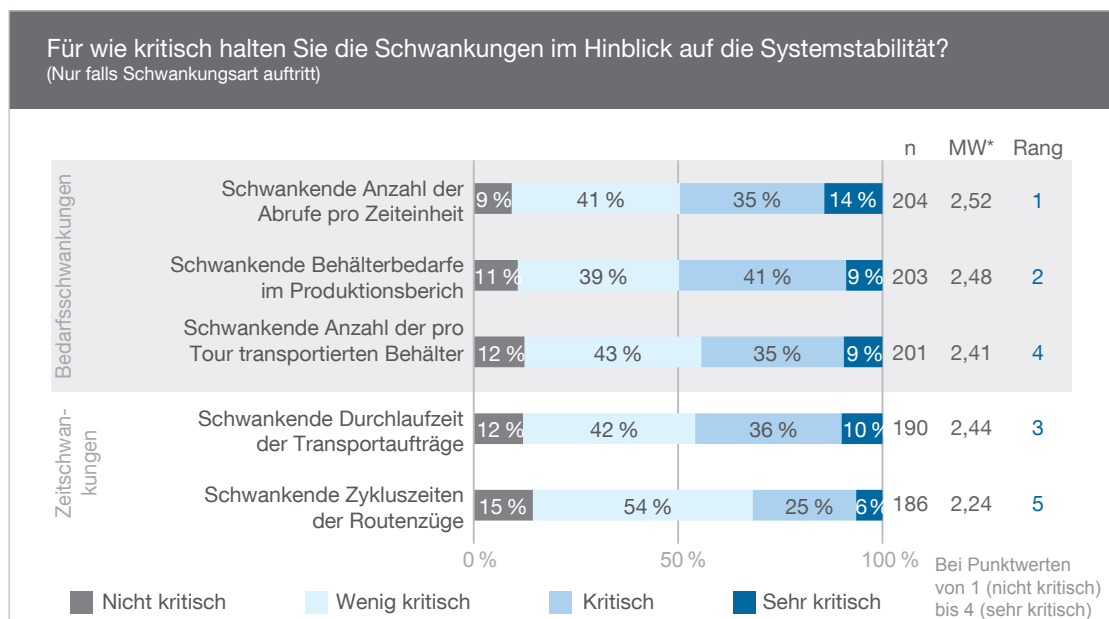


Abbildung 7-6

schwankende Zykluszeiten der Routenzüge als am wenigsten kritisch bewertet, wobei die Unterschiede zwischen den einzelnen Schwankungsarten nicht sehr groß sind. Im Vergleich zu den zuvor diskutierten Störungsarten werden Schwankungen als etwas weniger kritisch im Hinblick auf die Systemstabilität eingestuft, gleichzeitig treten Schwankungen im Vergleich häufiger auf. Dies deutet wiederum darauf hin, dass die Schwankungen als für das Routenzugsystem gegeben angesehen werden und dass Strategien und Maßnahmen zum Umgang damit eingeplant werden sollten.

Welche Strategien und Maßnahmen werden zum Umgang mit Schwankungen eingesetzt?

Um trotz auftretender Schwankungen stets

einen stabilen Systembetrieb zu gewährleisten und sicherzustellen, dass Transportaufträge rechtzeitig bereitgestellt werden können, sollten diese bereits bei der Planung von Routenzugsystemen berücksichtigt werden. Hierzu können geeignete Strategien und Maßnahmen definiert werden.

Abbildung 7-7 stellt dar, welche Strategien in der Praxis verwendet werden. Gemäß der Angaben der Studienteilnehmer kommt in jedem der beschriebenen Routenzugsysteme mindestens eine Strategie zum Umgang mit Schwankungen zum Einsatz, in den meisten Systemen sogar zwischen drei und fünf unterschiedliche Strategien. Am häufigsten steht ein Springer zur Verfügung, der falls nötig eine Sonderfahrt durchführen kann und bei Schwankungen, die im regulären Prozess zu Problemen führen würden

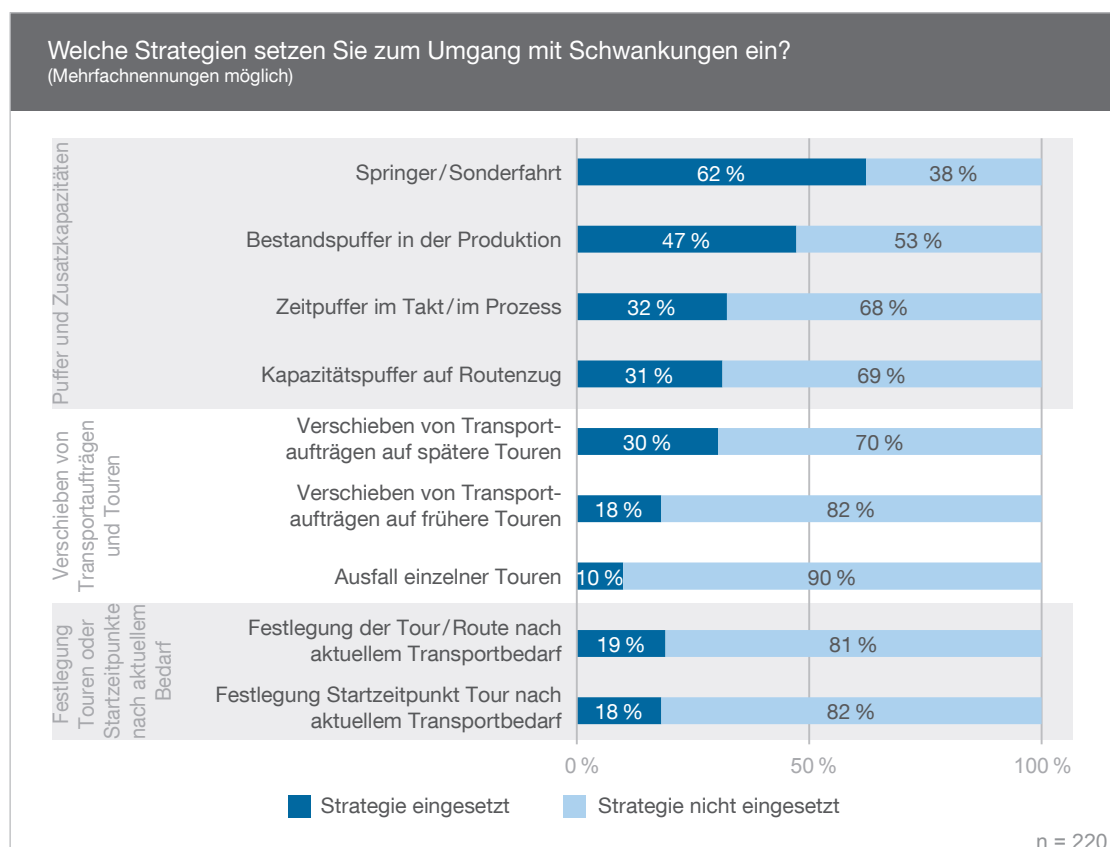


Abbildung 7-7

(z. B. Kapazitätsengpass, verspätete Bereitstellung), eingreifen kann. Darüber hinaus werden planerische Maßnahmen, insbesondere das Vorsehen von Sicherheiten zum Umgang mit Schwankungen (Bestandspuffer, zeitliche Puffer, Kapazitätspuffer) häufiger eingesetzt als operative Maßnahmen, wie etwa das Verschieben von Transportaufträgen auf frühere oder spätere Touren bei Bedarfsspitzen. Eher selten (18 % bzw. 19 %) umgesetzt sind Strategien, die darauf abzielen, Routen, Touren oder Abfahrtszeitpunkte der Routenzüge orientiert am jeweils aktuellen Transportbedarf zu bestimmen. Dies bestätigt die Aussagen aus Kapitel 6, wonach nur in wenigen Systemen Steuerungsprinzipien umgesetzt sind, in denen die aktuellen Transportbedarfe berücksichtigt werden.

Generell lässt sich feststellen, dass die einzelnen Strategien und Maßnahmen vorwiegend in Systemen eingesetzt werden, in denen Schwankungen (über alle Schwankungsarten) auch auftreten. Dies ist in Abbildung 7-8 am Beispiel der Strategien Springer und Bestandspuffer in der Produktion dargestellt und gilt gleichermaßen für alle zuvor diskutierten Strategien.

Hinsichtlich der Einschätzung der Kritikalität der Schwankungen können jedoch keine Unterschiede festgestellt werden. So lässt sich anhand der Aussagen der Studienteilnehmer beispielsweise nicht nachweisen, dass, falls Schwankungen als kritischer bewertet werden, eine höhere Anzahl an Gegenmaßnahmen oder bevorzugt einzelne Maßnahmen umgesetzt sind.

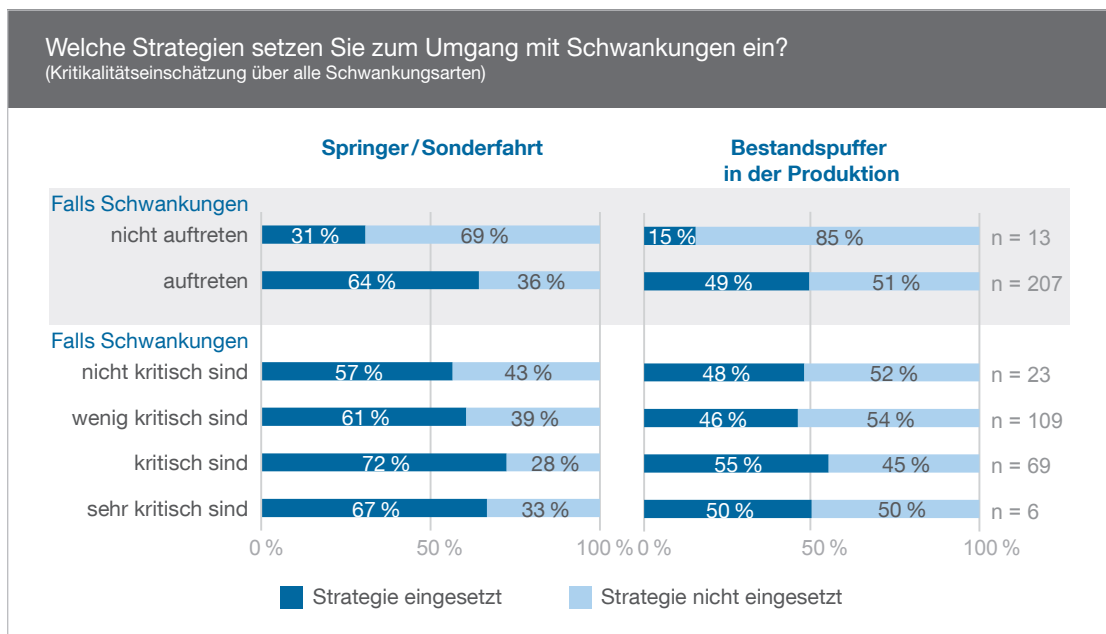


Abbildung 7-8

Fazit zu Betrieb von Routenzugsystemen

- Aktuelle Materialbedarfs- bzw. Verbrauchsdaten sowie Informationen über das Layout sind in den meisten Routenzugsystemen digital verfügbar.
- Informationen werden dem Routenzugfahrer in vielen Routenzugsystemen rein in Papierform bereitgestellt. Meistens findet jedoch sowohl eine analoge als auch eine digitale Kommunikation mit dem Fahrer statt. Ungefähr ein Fünftel der Teilnehmer geben an, dass alle Informationen rein digital mit dem Routenzugfahrer ausgetauscht werden.
- Störungen und Schwankungen unterschiedlicher Arten treten in den meisten Routenzugsystemen auf.
- Maßnahmen zum Umgang mit Schwankungen sind in vielen Systemen umgesetzt. Dabei macht es keinen Unterschied, als wie kritisch auftretende Schwankungen eingeschätzt werden. Auch in Systemen, in denen kaum Schwankungen auftreten, sind teilweise Maßnahmen zum Umgang damit implementiert.
- Störungen treten seltener als Schwankungen auf, werden jedoch als kritischer im Hinblick auf die Systemstabilität eingeschätzt.

8. Zukunft der Routenzugsysteme

Während die vorangegangenen Kapitel den Status quo von Routenzugsystemen aufgezeigt haben, erlaubt dieses Kapitel einen Blick in die Zukunft. Dabei stellt sich die Frage, ob Routenzüge überhaupt eine Zukunft haben oder ob sie mittelfristig durch andere Konzepte wie fahrerlose Transportsysteme ersetzt werden. Neben der Bewertung von Zukunftstechnologien wie der automatisierten Handhabung werden auch unterschiedliche Möglichkeiten zur Informationsbereitstellung für den Routenzugfahrer betrachtet.

Zukunftspotenziale

Wie beurteilen Sie das Potenzial eines gemeinsamen Transports unterschiedlicher Transporteinheiten auf einer Tour?

Im Kapitel 3 wurde gezeigt, dass in den meisten der befragten Unternehmen GLT und KLT mit dem Routenzugsystem transportiert werden müssen. In vielen Fällen erfolgt dies noch mit unterschiedlichen Routenzügen. Auf die Frage, ob es sinnvoll wäre die beiden Arten der Ladungsträger auf einem gemeinsamen Routenzug zu transportieren, haben 72 % der Befragten das damit verbundene Einsparungspotenzial als hoch bzw. sehr hoch eingeschätzt (siehe Abbildung 8-1).

Wird die Systemgröße (siehe Kapitel 4) bei der Beurteilung des Potenzials berücksichtigt, fällt auf, dass Unternehmen mit großen Routenzugsystemen das Potenzial tendenziell als kleiner einschätzen als Unternehmen mit mittleren und kleinen Routenzugsystemen.

Es liegt die Schlussfolgerung nahe, dass vor allem in kleinen Systemen die Routenzüge besser ausgelastet werden können, wenn sie sowohl KLT als auch GLT auf einer Tour transportieren. Diesem Einsparungspotenzial auf der Tour steht der gegebenenfalls höhere Steuerungs- und Zusammenführungsaufwand gegenüber, da KLT und GLT oft in unterschiedlichen Bereichen gelagert werden.

Wie beurteilen Sie das Potenzial folgender Transport- und Handhabungsfunktionen für zukünftige Routenzugsysteme?

Routenzugsysteme sind heute geprägt durch Tätigkeiten, die von Mitarbeitern manuell ausgeführt werden. In Kapitel 3 und 4 wurde dargestellt, dass nur in 36 % der Einsatzszenarien ein automatisiertes Lager als Quelle dient und nur bei 1 % der Systeme das eigentliche Fahren des Routenzugs automatisiert ist. In vielen Bereichen der Logistik wird ein höherer Automatisierungsgrad

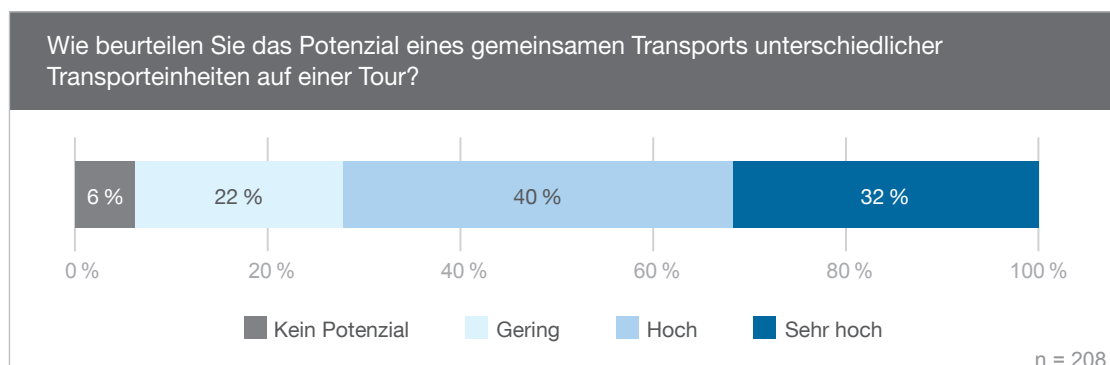


Abbildung 8-1

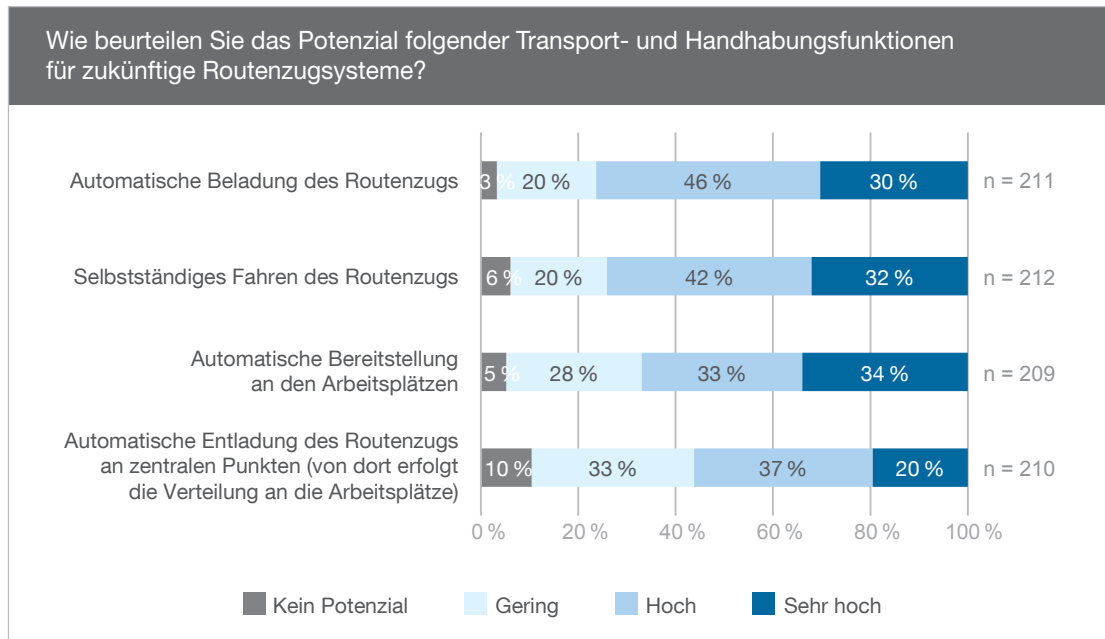


Abbildung 8-2

angestrebt. Die Teilnehmer der Studie wurden um eine Einschätzung der Potenziale für bestimmte Prozessschritte gebeten (siehe Abbildung 8-2). Das größte Potenzial wird laut den Teilnehmern der automatischen Beladung von Routenzügen zugesprochen. 76 % beurteilen das Potenzial als hoch oder sehr hoch. Systeme zur automatischen Beladung von Routenzügen wurden bereits umgesetzt (11 %, siehe Kapitel 4).

Auch dem selbständigen Fahren des Routenzugs wird von 74 % der Befragten ein hohes oder sehr hohes Potenzial zugesprochen. Etwas geringer fällt die Einschätzung des Potenzials für die automatische Bereitstellung des Materials am Arbeitsplatz aus. Hierbei beurteilen noch 67 % der Befragten das Potenzial als hoch oder sehr hoch. Die meisten der bekannten Umsetzungen lassen sich nur bei bestimmten Randbedingungen realisieren. Zum Beispiel kann bei Shooter-Konzepten nur an wenigen Bereitstellorten das Material automatisch über

fest installierte Schwerkraftrollenbahnen entladen werden.

Noch geringer ist laut den Teilnehmern der Studie das Potenzial, wenn das Material an zentralen Punkten in der Produktion bereitgestellt wird. Hier lässt sich aus Sicht der Technik einfacher eine automatische Entladung realisieren, allerdings schließt sich noch eine manuelle Handhabung der Materialien bis zum Arbeitsplatz an.

Grundsätzlich wurde das Potenzial aller vier Funktionen von Befragten mit größeren Routenzugsystemen höher eingeschätzt als von Studienteilnehmern mit kleineren Systemen.

Wie beurteilen Sie das Potenzial folgender Informationsfunktionen für zukünftige Routenzugsysteme?

Das Potenzial einer automatischen Überwachung der Bestände und eines automatisierten Auslösens von Materialbestellungen

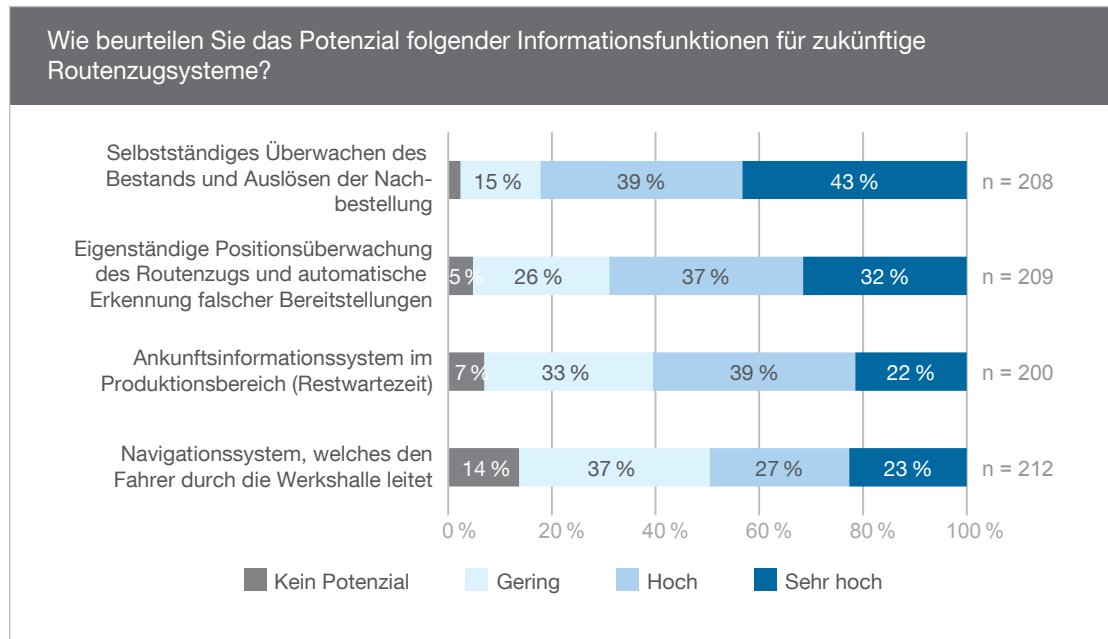


Abbildung 8-3

wird von 82 % der Befragten als hoch bzw. sehr hoch eingeschätzt (siehe Abbildung 8-3). Es liegt die Schlussfolgerung nahe, dass oft noch Probleme bestehen, die entweder zu einer verzögerten Bestellung oder zu starken Schwankungen bei den Abrufen führen (siehe Kapitel 7). Beispiele für intelligente Regale, die selbstständig Abrufe auslösen, lassen sich in der Praxis finden, beginnend bei mechanischen Lösungen (Wippen/Hebel) über elektronische Systeme (Sensoren) bis hin zu AutoID-Systemen (RFID). Oft sind solche Systeme noch in der Erprobung bzw. werden nur in bestimmten Bereichen eingesetzt.

69 % der Befragten verbinden mit einer stärkeren Positionsüberwachung des Routenzugs und einem Abgleich mit der erwarteten Position bei einer Materialbereitstellung ein Potenzial, da dadurch Fehler bei der Bereitstellung reduziert werden können.

Demgegenüber wird das Potenzial eines Ankunftsinformationssystems im Produktionsbereich oder eines Navigationssystems für den Routenzugfahrer als geringer eingeschätzt.

Zukunftsfähigkeit

Wie wahrscheinlich ist es, dass Routenzüge in Zukunft durch kleine Transportmittel, die jeden Transportauftrag einzeln transportieren, abgelöst werden?

Abschließend stellt sich die Frage, ob Routenzüge eine Zukunft haben, oder ob sie durch andere Transportmittel abgelöst werden (siehe Abbildung 8-4). 69 % der Befragten halten es für sehr wahrscheinlich, dass auch in Zukunft Routenzüge für die Produktionsversorgung eingesetzt werden.

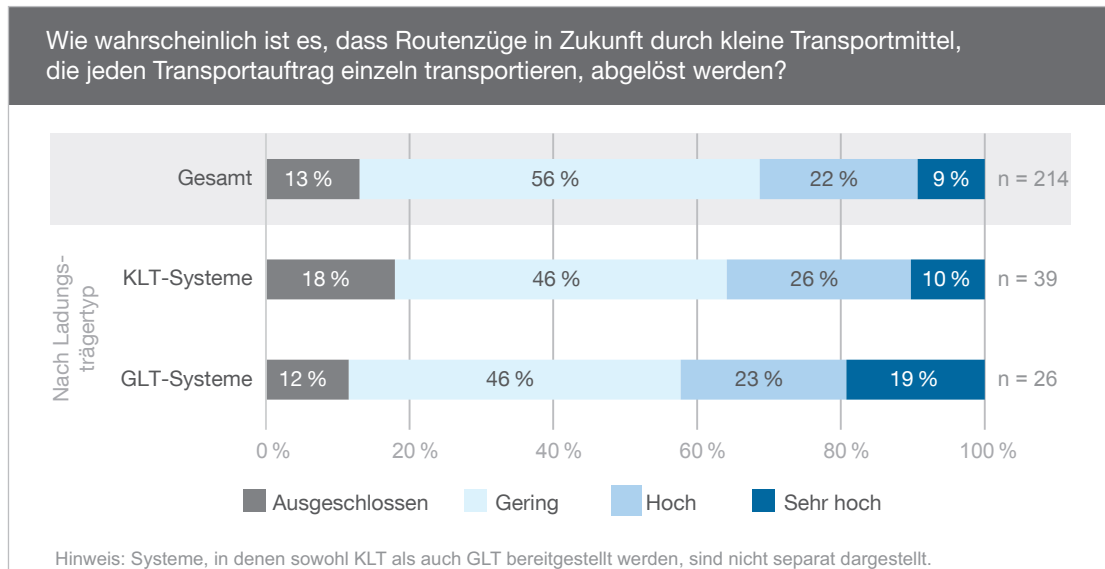


Abbildung 8-4

Für 31 % der Befragten ist es durchaus vorstellbar, dass in Zukunft andere Transportmittel die Aufgaben des Routenzugs übernehmen werden. Mit dieser Frage geht auch einher, ob Einzeltransporte (Direkttransporte) den gebündelten Routenzugtransport ersetzen werden. Für reine GLT-Transporte schätzen dieses Szenario sogar 19 % der

Studienteilnehmer als sehr hoch ein.

Die Mehrheit der Studienteilnehmer geht aber unabhängig von der Art der Ladungsträger davon aus, dass Routenzüge auch in Zukunft für die Produktionsversorgung eingesetzt werden.

Fazit zu Zukunft der Routenzugsysteme

- Dem gemeinsamen Transport von KLT und GLT auf einem Routenzug wird vor allem in kleinen und mittleren Routenzugsystemen Potenzial zugesprochen.
- Automatisiertes Fahren und eine automatisierte Beladung des Routenzugs wird als vielversprechend angesehen.
- Großer Handlungsbedarf besteht vor allem bei der automatisierten Überwachung der Bestände am Bereitstellort und der darauf basierenden Generierung von Abrufen.
- Die Mehrheit der Befragten glaubt nicht daran, dass Routenzüge in Zukunft durch andere Transportmittel abgelöst werden. Das Material wird weiterhin gebündelt in die Produktionsbereiche transportiert werden. Lediglich für reine GLT-Transporte gehen rund ein Fünftel der Studienteilnehmer davon aus, dass die Routenzugsysteme mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit durch fahrerlose Transportsysteme abgelöst werden.

9. Handlungsbedarf und Vision

Dieses Kapitel fasst den in der Studie aufgezeigten Handlungsbedarf zusammen. Daran anschließend wird die Vision des Lehrstuhls fml eines zukünftigen Routenzugsystems dargestellt und erläutert.

Handlungsbedarf

Routenzüge haben sich in den letzten Jahren vor allem aufgrund ihrer Effizienzvorteile gegenüber Direkttransporten branchenübergreifend in der Industrie etabliert. Dabei haben sich die Einsatzszenarien und Systemkonfigurationen in vielfältiger Weise entwickelt. Auch in Zukunft planen Unternehmen ihre Produktion mit Routenzügen

zu versorgen. Dennoch ergeben sich aufgrund der vielfältigen Anwendungsgebiete und der zunehmenden Digitalisierung sowie Automatisierung Handlungsbedarfe, um Routenzugsysteme auch zukünftig zur wirtschaftlichen, flexiblen und ergonomischen Produktionsversorgung einsetzen zu können:

Handlungsbedarf 1

Einsatzszenarien und Systemkonfigurationen

Routenzüge werden in vielfältigen Szenarien und Konfigurationen eingesetzt. Ob Routenzugsysteme das beste Konzept für einen bestimmten Einsatzfall sind, muss vor der Einführung beurteilt werden. Konkrete Hilfsmittel für diese Entscheidung stehen derzeit nicht bereit und müssen die individuellen Gegebenheiten berücksichtigen. Außerdem muss die Systemkonfiguration entsprechend dem jeweiligen Einsatzszenario gewählt werden. In weiteren Untersuchungen ist die Kompatibilität von Einsatzszenarien und Systemkonfigurationen zu zeigen.

Die Einsatzszenarien für Routenzugsysteme sind vielfältig. Inzwischen werden Routenzugsysteme auch dann verwendet, wenn auf den ersten Blick erschwerte Randbedingungen vorliegen, z. B. bei einem Routenzug-unfreundlichen Produktionslayout, bei heterogenen Ladungsträgern oder bei äußerst geringen sowie schwankenden Transportbedarfen. Trotz der Potenziale, die durch die Einführung eines Routenzugsystems in vielen Einsatzfällen gehoben wurden, sollte jedes Mal geprüft werden, ob Routenzugsysteme tatsächlich die beste Lösung

darstellen. Trifft dies zu, muss das System an den spezifischen Anforderungen orientiert konfiguriert werden; gegebenenfalls müssen dazu zunächst Voraussetzungen für einen erfolgreichen Einsatz, z. B. zuverlässige Bedarfsdaten oder ein geeignetes Wegetnetz, geschaffen werden. Um die Transparenz hinsichtlich eines geeigneten Einsatzes von Routenzugsystemen zu erhöhen, bedarf es weiterer Untersuchungen, die geeignete Einsatzszenarien identifizieren. Weiterhin sind Hilfsmittel zur Auswahl der Systemkonfiguration zu entwickeln.

Standardisierung und Planungshilfsmittel

Eine unternehmensweite Standardisierung des Planungsprozesses für Routenzugsysteme sowie für die Auswahl der Routenzugtechnik gibt es aktuell kaum. Um einen effizienten Planungsprozess mit einem vergleichbaren und zielorientierten Planungsergebnis zu gewährleisten, sollten standardisierte routenzugspezifische Planungshilfsmittel entwickelt werden.

Nur ein Fünftel der Unternehmen setzt ein unternehmensweit standardisiertes Vorgehen bei der Planung von Routenzugsystemen ein. Selbst die Auswahl der Routenzugtechnik ist meist nicht standardisiert. Unternehmensübergreifend einheitliche Planungsstandards gibt es kaum. Um das routenzugspezifische Wissen unternehmensweit

zu verankern und um reproduzierbare, nachvollziehbare und bestmögliche Planungsergebnisse zu gewährleisten, muss die Standardisierung vorangetrieben werden. Durch den Einsatz von routenzugspezifischen Planungshilfsmitteln wird der Planungsprozess zudem effizienter. Derartige Hilfsmittel sind verstärkt zu entwickeln.

Ziele und Umsetzung

Bei der Umsetzung von Routenzugsystemen stehen vor allem monetäre Aspekte im Vordergrund. Strategische Ziele, wie z. B. Flexibilität oder die Stabilisierung der Durchlaufzeiten, sollten auch bei der Umsetzung des Routenzugsystems an Bedeutung gewinnen.

Die Beweggründe zur Einführung von Routenzugsystemen sind oft strategischer Natur. Bei der Umsetzung des Systems treten diese aber meist in den Hintergrund, und die Investitionen und Personalkosten bestimmen die Konfiguration des Systems. Viele Vorteile von Routenzugsystemen sind

allerdings schwer monetär bewertbar, z. B. die Flexibilität gegenüber Änderungen. Dennoch sollte der Nutzen eines optimal konfigurierten Systems beachtet werden, um auch eine langfristig kostengünstige Entscheidung zu treffen

Ergonomie

Die ergonomische Beanspruchung der Routenzugfahrer wird in der Planung der Systeme nur selten ausreichend berücksichtigt, obwohl sie häufig als hoch eingeschätzt wird. Besonders bei GLT-Prozessen hat die Auswahl der Technik einen starken Einfluss auf die Ergonomie, da häufig mehrere 100 Kilogramm gehandhabt werden müssen. Eine quantitative Bewertung der körperlichen Beanspruchung sollte daher bereits in der Planung durchgeführt werden.

Insbesondere im Hinblick auf die älter werdende Bevölkerung wird die Berücksichtigung von Ergonomie bei der Ausgestaltung von Prozessen immer wichtiger. Wird der ergonomische Faktor bereits in der Planung einkalkuliert, können kostenintensive Anpassungen zur Vermeidung suboptimaler Prozesse verhindert werden. Zur objektiven ergonomischen Bewertung werden Metho-

den benötigt, die Unterschiede zwischen den verschiedenen Routenzugtechniken und -prozessen berücksichtigen können. Da die Ergonomie im Wesentlichen durch die eingesetzte Technik beeinflusst werden kann, sollte bei deren Auswahl besonderer Wert auf eine geringe Beanspruchung der Prozessmitarbeiter gelegt werden.

Bedarfsglättung

Routenzugsysteme sind besonders bei gleichmäßigen Bedarfen sehr effizient. Da Routenzüge mittlerweile jedoch in vielfältigen Einsatzszenarien auch bei schwankenden Transportbedarfen Produktionen versorgen, sollten Maßnahmen umgesetzt werden, um Bedarfe zu glätten. Dadurch wird der Systembetrieb stabilisiert.

Heutzutage haben sich die Einsatzszenarien für Routenzugsysteme auf vielfältige Weise entwickelt. Besonders Schwankungen in den Transportbedarfen sowie Störungen im Prozess erschweren einen stabilen und effizienten Systembetrieb. Da diese Einflussgrößen oftmals von außerhalb des Systems verursacht werden, sollte geprüft

werden, ob die Randbedingungen des Routenzugsystems insoweit optimiert werden können, dass die Transportbedarfe geglättet und Fehler sowie Störungen vermieden werden können. Mögliche Maßnahmen sind u. a. die Automatisierung des Abrufs, die regelmäßige Pflege von Stammdaten sowie die Standardisierung von Ladungsträgern.

Dynamisierung der Steuerung

Aufgrund der erweiterten Einsatzszenarien können Schwankungen auch durch eine Adaption der Randbedingungen des Routenzugsystems häufig nicht vermieden werden. Um die restlichen Schwankungen und Störungen während des Betriebs effizient auszugleichen, kann eine dynamische Steuerung des Routenzugsystems Abhilfe schaffen.

Die Routen werden in Routenzugsystemen zumeist statisch im Rahmen der Planung festgelegt. Auf diesen Routen verkehren wiederholt Touren, meistens nach einem festen Takt. Bei schwankenden Transportbedarfen müssen in diesen Szenarien Sicherheitspuffer im Prozess eingeplant werden, um einen stabilen Systembetrieb gewährleisten zu können. Dynamisch gesteuerte Routen-

zugsysteme, bei denen sowohl die Routen individuell dynamisch als auch der Tourenstart in Abhängigkeit der aktuellen Bedarfe bestimmt werden, zeigen positive Ergebnisse, um unerwartete Ereignisse im System flexibel auszugleichen. Bisher gibt es jedoch noch keine Untersuchungen, welches Steuerungsprinzip für welches Einsatzszenario geeignet ist.

Digitale Vernetzung von Informationen

Durch die digitale Vernetzung von Informationen im Routenzugsystem bieten sich Möglichkeiten, das System auf den aktuellen Zustand optimiert zu steuern. Grundlage dafür ist jedoch die digitale Verfügbarkeit aller Informationen im Routenzugsystem. Dies ist in der Mehrheit der heutigen Systeme nicht garantiert.

Damit sich ein Routenzugsystem flexibel an eine Veränderung der aktuellen Anforderungen anpassen kann, müssen alle notwendigen Informationen für die Steuerung des Systems möglichst ohne Zeitverzögerung bereitgestellt werden. Durch eine digitale Erfassung und Kommunikation der Informationen kann dies ermöglicht werden. Hierbei gilt es auch die Informationen, die dem Menschen bereitgestellt werden, in ge-

eigneter Weise auszuwerten, aufzubereiten und zu visualisieren. Durch die digitale Vernetzung des Routenzugsystems mit angrenzenden Systemen, z. B. dem PPS-System, und durch geeignete Schnittstellen können die unmittelbare Weitergabe aller notwendigen Informationen sichergestellt und das Routenzugsystem besser in das Produktionsnetzwerk integriert werden.

Automatisierung und Wirtschaftlichkeit

Die zunehmende Digitalisierung von Routenzugsystemen ermöglicht eine vermehrte Automatisierung bzw. Autonomisierung der Routenzüge. Derzeit sind allerdings kaum automatisierte Routenzüge im Einsatz. Dies liegt daran, dass derzeitige technische Lösungen nur einzelne Prozessschritte automatisieren und nur für wenige, spezifische Einsatzfälle wirtschaftlich einsetzbar sind. Technische Weiterentwicklungen sind erforderlich.

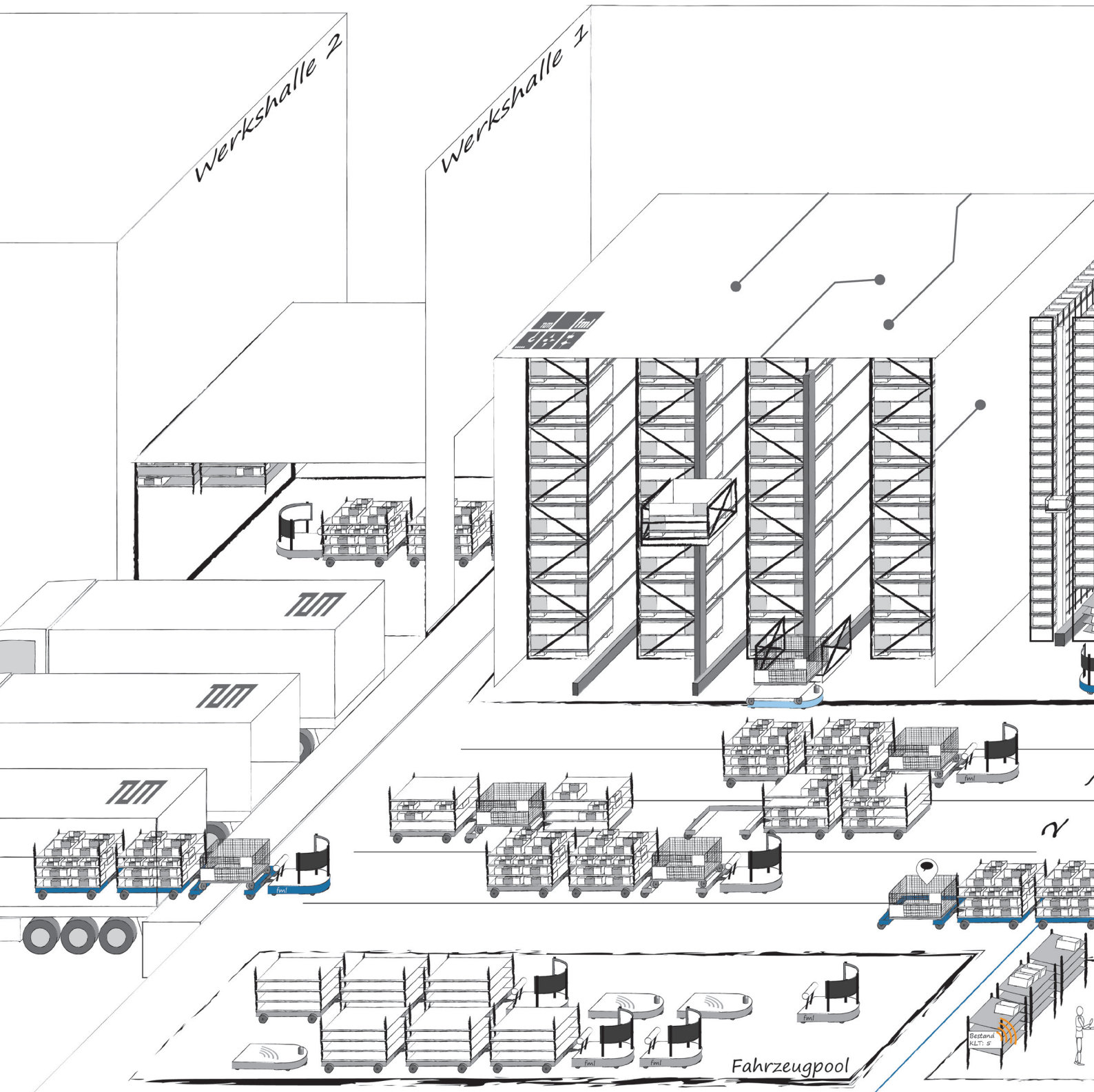
Neben der Vereinfachung von Randbedingungen und der digitalen Vernetzung von Informationen spielt die Weiterentwicklung der zur Verfügung stehenden Technik eine entscheidende Rolle, um Routenzüge in Zukunft automatisiert und gleichzeitig wirtschaftlich zu betreiben. Auch wenn einige Hersteller bereits erste Konzepte zur Automatisierung einzelner Prozessschritte anbieten, hat sich noch keine Gesamtlösung durchgesetzt. Ebenso ist noch nicht ersichtlich, in welchen Anwendungsfällen sich der Routenzug in Zukunft gegenüber anderen

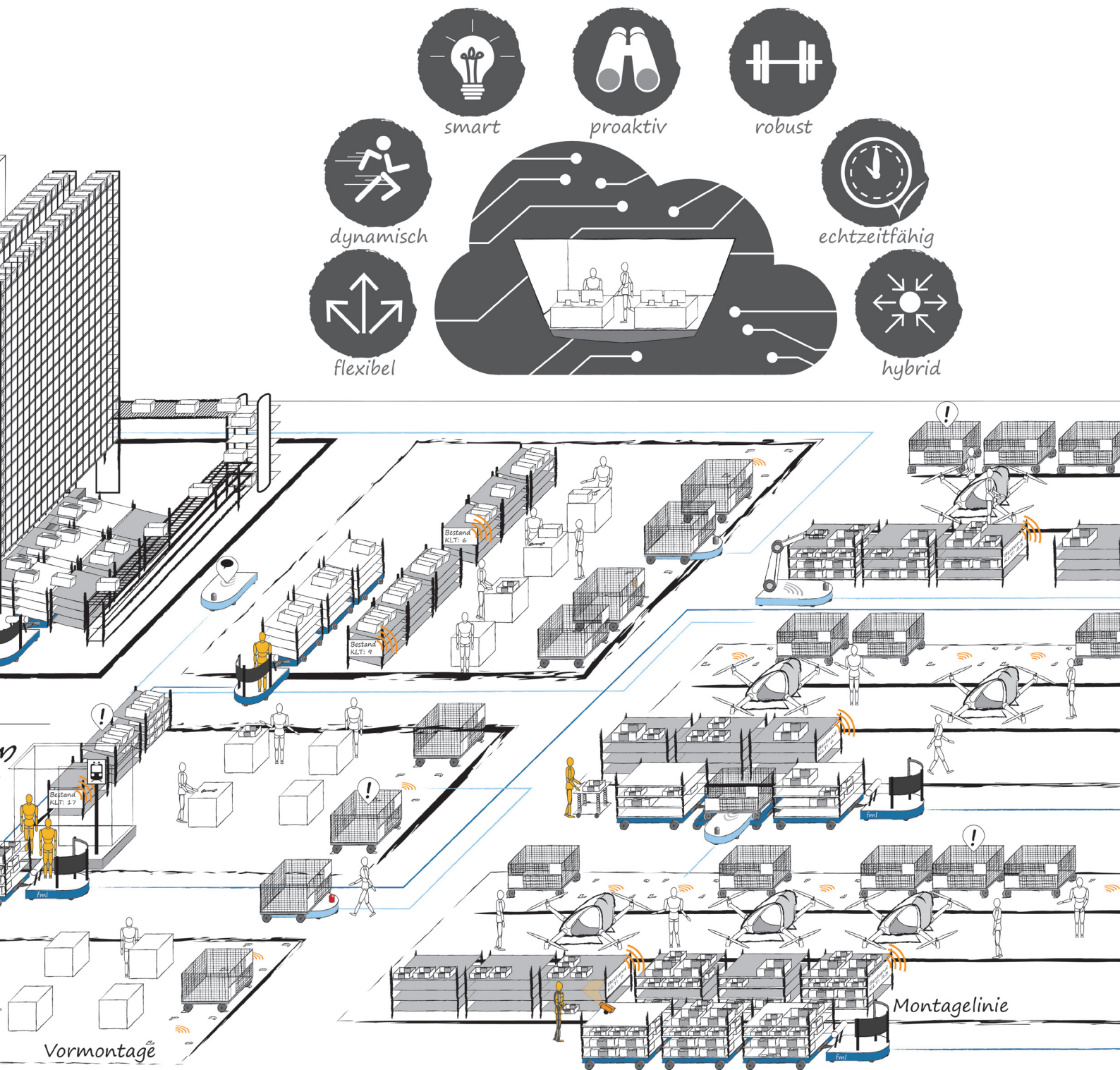
Konzepten, z. B. dem Direkttransport mittels FTS, bewähren wird. Das wirtschaftliche Gesamtkonzept sollte bei der Automatisierung von Routenzugsystemen genau geprüft werden. Derzeit übernimmt der Routenzugfahrer neben dem Transport zahlreiche weitere Aufgaben, z. B. die Materialabrufe oder das Erkennen von Lieferengpässen. Diese Funktionen müssten ebenfalls automatisiert werden. Zudem muss ein autonomer Routenzug mit zusätzlicher Sicherheitstechnik ausgestattet werden.

Vision

Die zunehmende Digitalisierung ermöglicht eine hohe Informationsvernetzung zwischen Produktion und Produktionsversorgung. Vollautomatisierte Bereitstellkonzepte werden in einigen Anwendungsfällen eingesetzt. Häufig sind die flexiblen Einsatzmöglichkeiten des Menschen jedoch wirtschaftlicher. Die nachfolgend dargestellte Vision deutet verschiedene Konzeptelemente an, die zukünftige Routenzugsysteme prägen können. Die Abbildung stellt kein in sich geschlossenes Gesamtkonzept dar.

Durch die hohe digitale Informationsdichte ist eine Optimierung der Produktionsversorgung möglich. Das Ziel der Steuerung ist ein robuster Versorgungsprozess, in dem alle Aufträge rechtzeitig bereitgestellt werden. Entscheidungen, wie die Bildung der Touren, werden von der smarten Steuerungslogik durch die Berücksichtigung von vergangenen, aktuellen und stochastisch prognostizierten Bedarfen dynamisch und proaktiv getroffen. Dabei werden auch Störungen im aktuellen Prozess sowie Engstellen durch blockierte Wege berücksichtigt. Auf veränderte Betriebsbedingungen





reagiert das echtzeitfähige System richtig und rechtzeitig. Die hybride Struktur der Steuerung ermöglicht es, sowohl zentrale Entscheidungen optimal zu treffen als auch bestimmte Situationen dezentral zu optimieren. Ein Beispiel dafür ist die Regelung der Vorfahrt an Kreuzungspunkten. Durch eine dezentrale Verhandlung der Transportagenten untereinander erhält derjenige Transport Vorfahrt, der den zeitkritischsten Bereitstellungsauftrag mit sich führt. Ein weiterer Vorteil der Steuerung ist die flexible Reaktion auf veränderte Randbedingungen ohne großen Aufwand. Wird beispielsweise ein Bereitstellort hinzugefügt, integriert die Steuerung den neuen Klienten ohne eine personalintensive Neuplanung von Routen.

Die Informationen aus dem physischen Versorgungsprozess werden der Steuerung ohne Zeitverzug digital übermittelt. Dabei werden sowohl die Bedarfs- und Bestandsdaten durch die intelligenten Bereitstellorte automatisch gemeldet als auch aktuelle Störungen und Engstellen digital erfasst. Die notwendigen Informationen werden dem Leitstand sowie den auf dem Routenzug mitfahrenden Mitarbeitern transparent visualisiert. Dazu sind die Routenzüge mit Monitoren ausgestattet.

Wird das Material aus einer internen Lagerhaltung angefordert, erfolgt der Transport ladungsträgerrein. KLT werden per Sammeltransport und GLT per Direkttransport mittels FTF bereitgestellt. Touren mit Material aus einem externen Lager werden mit unterschiedlichen Ladungsträgerarten auf Pufferbahnen zur Abholung bereitgestellt. In allen drei Szenarien erfolgt die Vorbereitung der Tour vollautomatisch. KLT werden über ein Drive-Thru Konzept auf den automatisch fahrenden Routenzug geladen, GLT werden auf einem Trolley platziert, der mittels Unter-

fahr-FTF verfahren wird, und die vorgepufferten Touren werden automatisch an einen Schlepper gekuppelt. Nach dem Start der Touren fahren die Transporte automatisch in die Produktionsbereiche und stimmen sich autonom untereinander ab. Während die Direkttransporte zur Arbeitsstation transportiert und auf den Bereitstellflächen durch die Unterfahr-FTF abgesetzt werden, können die Sammeltransporte in den meisten Fällen nicht rein selbstständig agieren. Vollautomatische Sammeltransporte sind aufgrund des hohen Zeitbedarfs für die Bereitstellung nur selten wirtschaftlich. Daher wird entweder ein Unterfahr-FTF zur Entladung der GLT vom Routenzug oder ein Mitarbeiter zur Bereitstellung der KLT benötigt. Die dynamische Zuteilung dieser Ressourcen zu den Touren sowie die Abstimmung untereinander ist eine weitere Aufgabe der hybriden Steuerung. Da der Zustieg des Logistikmitarbeiters erst an Bahnsteigen zu Beginn der Produktion erfolgt, entfällt der Zykluszeitanteil der Routenzugbeladung für den Mitarbeiter. Dadurch können mehr Touren pro Stunde und Mitarbeiter geleistet werden. Während der Fahrt zu den Bereitstellorten überwacht der mitfahrende Mitarbeiter seine Tour und kann bei Störungen eingreifen. Bei der Bereitstellung wird er durch technische Hilfsmittel informativ und ergonomisch unterstützt. Durch einen Projektor am Routenzug wird ihm sowohl angezeigt, welchen Behälter er vom Routenzug entnehmen, als auch auf welchem Platz er den Behälter im Bereitstellregal platzieren muss. Um die körperliche Belastung zu reduzieren, stehen dem Logistikmitarbeiter beispielsweise Exoskelette oder flexibel verfahrbare Hubtische zur Verfügung, die sich automatisch an die Entnahme- und Bereitstellhöhe anpassen.

Literaturverzeichnis

- [Bor-2009] Bortz, J.; Döring, N.: Forschungsmethoden und Evaluation – Für Human- und Sozialwissenschaftler. Springer, Heidelberg, 2009.
- [Gün-2012] Günthner, W. A.; Galka, S.; Klenk, E.; Knössl, T.; Dewitz, M.: Stand und Entwicklung von Routenzugsystemen für den innerbetrieblichen Materialtransport – Ergebnisse einer Studie, 2012.
- [Gün-2013] Günthner, W. A.; Durchholz, J.; Klenk, E.; Boppert, J.: Schlanke Logistikprozesse – Handbuch für den Planer. Springer, Berlin, 2013.
- [Keu-2016a] Keuntje, C.; Heiß, J.; Gangkofner, P.; Günthner, W. A.: Experimentelle Untersuchungen zur Ergonomie von Handverschiebewagen in Routenzugsystemen. In: Bruns, R. (Hrsg.): 11. Hamburger Stapler-tagung. Helmut-Schmidt-Universität der Bundeswehr, 2016.
- [Keu-2016b] Keuntje, C.; Günthner, W. A.: Forschungsprojekt IntegRoute. In: VDI-Wissensforum (Hrsg.): 25. Deutscher Materialfluss-Kongress, Düsseldorf, 2016.

Routenzugforschung – Veröffentlichungen des fml

2017

[Keu-2017] Keuntje, C.; Kelterborn, M.; Günthner, W. A.: Considering Ergonomics in the Planning of Tugger Train Systems for Production Supply, MATEC Web Conf., 95 (2017) 11005, EDP Sciences, 2017

2016

[Keu-2016] Keuntje, C., Thomaser, P., Günthner, W. A.: Ermittlung der Zykluszeit von Routenzügen, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), 111 (2016), 10, S. 618 – 620, ISSN 0947-0085

[Lie-2016] Lieb, C.; Günthner, W. A.: Stabilität durch Dynamik: Dynamische Routenzugsteuerung für kurzfristig schwankende Transportbedarfe, Hebezeuge Fördermittel, 6/2016 (2016), S. 36, ISSN 0017-9442 A 06792

[Gün-2016] Günthner, W. A.; Keuntje, C.: IntegRoute – Ganzheitliche Konzeptauswahl für Routenzugsysteme zur Produktionsversorgung, Forschungsbericht, Lehrstuhl fml, Garching bei München, 2016, ISBN 978-3-941702-68-4

[Keu-2016] Keuntje, C.; Heiß, J.; Gangkofner, P.; Günthner, W. A.: Experimentelle Untersuchungen zur Ergonomie von Handschiebewagen in Routenzugsystemen, In: Bruns, R.; Ulrich, S., Tagungsband – 11. Hamburger Staplertagung, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg; Lehrstuhl MTL, Hamburg, 2016, S. 139 – 156, ISBN 978-3-86818-084-8

[Gal-2016] Galka, S.; Klenk, E.; Günthner, W. A.: Teuerung der Steuerung?, Logistik Heute, 38 (2016), 1/2, S. 64 – 65, ISSN 0173-6213

[Sei-2016] Seiler, M.; Kelterborn, M.; Guggemoos, M.: Ergonomie im Fokus: Routenzugversorgung in der LKW-Produktion., VDI-Berichte 2275. Tagungsband zum 25. Deutscher Materialfluss-Kongress, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2016, S. 223 – 226, ISBN 978-3-18-092275-1

[Keu-2016] 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

2015

- [Kle-2015] Klenk, E.; Galka, S.; Günthner, W. A.: Potenziale einer flexiblen Routenzugsteuerung - Strategien zum besseren Umgang mit schwankenden Transportbedarfen, ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 110 (2015), 12, S. 805 – 809
- [Kle-2015] Klenk, E.; Galka, S.; Günthner, W. A.: Operating Strategies for In-Plant Milk-Run Systems, In: IFAC - International Federation of Automatic Control, 15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2015, Canada, Ottawa, 11 – 13 Mai 2015, Elsevier, IFAC-PapersOnLine, vol. 48, n° 3, 2015, S. 1962 – 1967, ISBN 2405-8963
- [Sta-2015] Staab, T.; Klenk, E.; Galka, S.; Günthner, W. A.: Efficiency in in-plant milk-run systems—The influence of routing strategies on system utilization and process stability, Journal of Simulation, 2015 (2015), 6, Online-Ausgabe, doi:10.1057/jos.2015.6
- [Gal-2015] Galka, S.; Klenk, E.; Günthner, W. A.; Trautzsch, D.; Vogel-Daniel, C.: Exakt im Takt, Industrie Management (2015), 2/2015, S. 57 – 60, ISSN 1434-1980
- [Sta-2015] Staab, T.; Röschinger, M.; Dewitz, M.; Günthner, W. A.: Modelling and Simulating the Assembly Line Supply by Tugger Trains, In: Bruzzone, A. G.; Fadda, P.; Fancello, G.; Piera, M. A., The 8th international Workshop on applied Modeling & Simulation, Rende, 2015, S. 22 – 31, ISBN 978-88-97999-17-1

2014

- [Dew-2014] Dewitz, M.; Günthner, W. A.; Arlt, T.: Fahrplanoptimierung für innerbetriebliche Routenverkehre, Logistics Journal : Proceedings, Vol. 2014, 2014, ISBN 978-3-941702-47-9
- [Kle-2014] Klenk, E.; Galka, S.; Günthner, W. A.: Analysis Of Parameters Influencing In-Plant Milk Run Design For Production Supply, In: Montreuil, B.; Carrano, A.; Gue, K.; de Koster, R.; Ogle, M.; Smith, J., 12th International Material Handling Research Colloquium, College Industry Council on Material Handling Education, Charlotte, NC, 2014, S. 251 – 267, ISBN 978-1-882780-17-5

2013

- [Gal-2013] Galka, S.; Dewitz, M.; Günthner, W. A.: Drive-Thru für Routenzüge Effizienzsteigerung bei der Beladung von Routenzügen mit Kleinladungsträgern, Jahrbuch Logistik 2013, free beratung GmbH, Korschbroich, 2013, S. 128 – 132, ISBN 978-3980941273
- [Sta-2013] Staab, T.; Galka, S.; Klenk, E.; Günthner, W. A.: Effizienzsteigerung für Routenzüge - Untersuchung des Einflusses der Routenführung auf die Auslastung und Prozessstabilität, In: Dangelmaier, W.; Laroque, C.; Klaas, A., 15. ASIM Fachtagung - Simulation in Produktion und Logistik, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2013, S. 167 – 176, ISBN 978-3-942647-35-9
- [Sta-2013] Staab, T.; Klenk, E.; Günthner, W. A.: Simulating Dynamic Dependencies And Blockages In In-plant Milk-run Traffic Systems, Proceedings of the 27th European Conference on Modelling and Simulation, Aalesund, 2013, S. 622 – 628, ISBN 978-0-9564944-6-7

2012

- [Gün-2012] Günthner, W. A.; Galka, S.; Klenk, E.; Knössl, T.; Dewitz, M.: Stand und Entwicklung von Routenzugsystemen für den innerbetrieblichen Materialtransport, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Garching, 2012, ISBN 978-3-94170-230-1
- [Kle-2012] Klenk, E.; Galka, S.; Günthner, W. A.: Dimensioning of taktet in-plant milk-run systems for material delivery, Flexibility and adaptibility of global supply chains, 2012, S. 374 – 380, ISBN 978-5-98340-274-4
- [Dew-2012] Dewitz, M.; Galka, S.; Günthner, W. A.: Drive-Thru Loading Concept for InPlant Milk Runs, „Proceedings of the XX International Conference on “Material Handling, Constructions and Logistics“, 2012, S. 237 – 242, ISBN 978-8-67083-763-8

Anhang

A 1 | Fragebogen Teil 1: Strukturelle Daten

Wie lässt sich Ihr Bezug zum Routenzugsystem charakterisieren?

- Routenzughersteller
- Routenzuganwender
- Beratung oder sonstiger Dienstleister
- Sonstiges: _____

Name Ihres Unternehmens (optional): _____

Name des Unternehmens, in dem das Routenzugsystem eingesetzt wird (optional): _____

Welcher Branche gehört das Unternehmen an, in dem das Routenzugsystem eingesetzt wird?

- Automotive und Fahrzeugbau
- Maschinen- und Anlagenbau
- Elektrotechnik und Mechanik
- Bauwesen
- Versorgung, Energie und Umwelt
- Konsumgüter, Food, Non-Food und Fashion
- Life Science, BioTech, Pharma und Medizintechnik
- Metallerzeugung und -verarbeitung
- Chemie
- Sonstiges: _____

Seit wann werden Routenzüge am Unternehmensstandort eingesetzt (optional): _____

A 2 | Fragebogen Teil 2: Einsatzszenario

Nach welchem Organisationsprinzip ist die Fertigung strukturiert, die durch das Routenzugsystem bedient wird?

- Getaktete Fließfertigung (Massen- bzw. Großserienfertigung)
- Ungetaktete Fließfertigung (Großserien- bzw. Sortenfertigung)
- Gruppenfertigung (Serien- bzw. Sortenfertigung)
- Werkstattfertigung (Sorten-, Kleinserien- bzw. Einmalfertigung)
- Sonstiges: _____

Welche Einheiten werden im Routenzugsystem transportiert? (Mehrere Antworten möglich)

- Standard-Kleinladungsträger (KLT) (z. B. VDA-KLT)
- Spezial-Kleinladungsträger (KLT) (z. B. EPP, Kartons)
- Standard-Großladungsträger (GLT) (z. B. Euro-Palette, Euro-Gitterbox)
- Spezial-Großladungsträger (GLT) (z. B. Sequenzgestell)
- Einheiten ohne Ladungsträger (z. B. für behälterlose Bereitstellung)
- Sonstiges: _____

Werden Routenzüge eingesetzt, die sowohl KLT als auch GLT transportieren?

 Ja

 Nein

Worin besteht die primäre Transportaufgabe des Routenzugsystems?

- Produktionsversorgung aus zentralem Ort
(Transport von Einheiten von einem oder mehreren Lager/Puffer/Supermärkten zu einem Produktionsbereich)
- Produktionsversorgung aus dezentralem Ort
(Transport von Einheiten zwischen verschiedenen Bereichen in der Produktion)
- Transport zwischen Lagerstufen
(Transport von Einheiten von einem oder mehreren Lager/Puffer/Supermärkten zu einem oder mehreren Lager/Puffer/Supermärkten)
- Produktionsentsorgung, z. B. Abholung von Fertigwaren
(Transport von Einheiten von einem Produktionsbereich zu einem oder mehreren Lager/Puffer/Supermarkt)

Ist die Rückführung bzw. Zuführung von Leergut im Routenzugsystem in o.g. Prozess integriert?

 Ja

 Nein

Die folgenden Fragen beziehen sich nur auf Routenzugsysteme, die zur Produktionsversorgung eingesetzt werden.

Wie lassen sich die Quellen des Routenzugsystems, an denen Vollgut-Transporteinheiten aufgenommen werden, charakterisieren? (mehrere Antworten möglich)

- Automatisiertes Lager
- Manuelles Lager
- Zwischenpuffer/Bahnhof
- Produktionsbereich (Beim Transport von Halbfertigfabrikaten)
- Sonstiges: _____

In welcher Form erfolgt die Bereitstellung im Produktionsbereich hauptsächlich?

- Dezentrale Bereitstellung am Arbeitsplatz
(direkt am Arbeitsplatz oder in der Nähe des Arbeitsplatzes)
- Zentrale Bereitstellung im Produktionsbereich (z. B. an zentralem Bereitstellort, in dem Nachschub für die Produktion gelagert wird)
- Sonstiges: _____

Wie werden Materialabrufe für das Routenzugsystem ausgelöst? (Mehrere Antworten möglich)

Bedarfs-/programmorientiert:

- Automatisch durch IT-System
- Manuell durch Disponent/ Produktionsplaner

Verbrauchsorientiert:

- Automatisch durch technisches Hilfsmittel im Produktionsbereich (z. B. Sensor)
- Durch Produktionsmitarbeiter (z. B. Knopfabruf, Scannen Behälterlabel)
- Durch Routenzugfahrer (z. B. Aufnahme Kanban-Karte, Scannen Label)
- Durch Line-Runner/Feinlogistiker o. Ä.
- Sonstiges: _____

Bitte beschreiben Sie die Systemgröße des Routenzugsystems.

Durchschnittlicher KLT-Durchsatz (KLT/h):

- | | | |
|---|--------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Keine Angabe | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 bis 50 |
| <input type="checkbox"/> 51 bis 200 | <input type="checkbox"/> 201 bis 500 | <input type="checkbox"/> 501 bis 1.000 |
| <input type="checkbox"/> Mehr als 1.000 | | |

Durchschnittlicher GLT-Durchsatz (GLT/h):

- | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Keine Angabe | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> 1 bis 10 |
| <input type="checkbox"/> 11 bis 50 | <input type="checkbox"/> 51 bis 100 | <input type="checkbox"/> 101 bis 200 |
| <input type="checkbox"/> Mehr als 200 | | |

Anzahl bereitgestellter Sachnummern:

- | | | |
|---|--|--|
| <input type="checkbox"/> Keine Angabe | <input type="checkbox"/> 1 bis 100 | <input type="checkbox"/> 101 bis 300 |
| <input type="checkbox"/> 301 bis 500 | <input type="checkbox"/> 501 bis 1.000 | <input type="checkbox"/> 1.001 bis 5.000 |
| <input type="checkbox"/> 5.001 bis 10.000 | <input type="checkbox"/> Mehr als 10.000 | |

Eingesetzte Routenzüge pro Schicht:

- | | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Keine Angabe | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 bis 5 |
| <input type="checkbox"/> 6 bis 10 | <input type="checkbox"/> 11 bis 20 | <input type="checkbox"/> Mehr als 20 |

A3 | Fragebogen Teil 3: Planung des Routenzugsystems

Welche Ziele wurden mit der Einführung des Routenzugsystems verfolgt? (Mehrere Antworten möglich)

- Keine Angabe
- Versorgungssicherheit erhöhen
- Versorgungsprozess standardisieren
- Interne Wiederbeschaffungszeit/Anlieferzeit aus dem Lager verkürzen
- Unfälle vermeiden
- Personalkosten reduzieren
- Transportaufkommen reduzieren
- Bestände und Flächenbedarf am Band reduzieren
- Unternehmensstrategie umsetzen (z. B. Einführung ganzheitliches Produktionssystem)
- Sonstiges: _____

Welche Entscheidungskriterien wurden zur Bewertung von Planungsalternativen herangezogen? (Mehrere Antworten möglich)

- Keine Angabe
- Investitionen
- Personalkosten
- Instandhaltungskosten
- Energiekosten
- Bestandskosten an Verbrauchsorten
- Flächenbedarf
- Ergonomische Bewertung
- Flexibilität bezüglich der transportierbaren Ladungsträger (zukünftige Umfänge)
- Flexibilität bezüglich zukünftiger Veränderungen der Bereitstellorte
- Sonstiges: _____

Wie lässt sich die Standardisierung des Routenzugplanungsprozesses charakterisieren?

- Keine Angabe
- Keine Standardisierung
- Planerindividuelle Standardisierung
- Abteilungs- bzw. werksindividuelle Standardisierung
- Unternehmensweite Standardisierung

Welche Hilfsmittel werden in der Planung eingesetzt? (Mehrere Antworten möglich)

- Keine Angabe
- Logistische Stückliste
- Routenzugspezifische Planungsmethodik (z. B. VDI-Richtlinie)
- Verfahren zur Prozesszeitermittlung (z. B. MTM)
- Software zur Systemgestaltung (Prozess und Technik)
- Software zur Routenbildung
- Simulationssoftware zur Absicherung
- Sonstiges: _____

Wie viele verschiedene Anhängerbauformen wurden im Rahmen der Planung des Routenzugsystems miteinander verglichen?

- | | |
|---------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Keine Angabe | <input type="checkbox"/> Kein Vergleich unterschiedlicher Bauformen |
| <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 bis 5 |
| <input type="checkbox"/> 6 bis 10 | <input type="checkbox"/> Mehr als 10 |

Wie bewerten Sie den Arbeitsplatz eines Routenzugfahrers aus ergonomischen Gesichtspunkten?

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Starke Beanspruchung | <input type="checkbox"/> Mittlere Beanspruchung |
| <input type="checkbox"/> Schwache Beanspruchung | <input type="checkbox"/> Keine Angabe |

In welcher Form wird bei der Planung des Routenzugsystems der Aspekt der Ergonomie berücksichtigt? (Mehrere Antworten möglich)

- Keine Angabe
- Keine Berücksichtigung von Ergonomie
- Praktisches Ausprobieren an Testexemplar
- Bewertung mit den Leitmerkmalmethoden („Ampel-Bewertung“)
- Messung von Handkräften
- Sonstige: _____

Welche Elemente werden bei der Planung des Routenzugsystems bezüglich ihres Einflusses auf die Ergonomie betrachtet? (mehrere Antworten möglich)

- Keine Angabe
- Festlegung der Routen
- Anordnung der Transporteinheiten auf dem Routenzug
- Beladungsprozess/Bereitstellprozess
- Informationsbereitstellung
- Routenzugtechnik

Welche der folgenden technischen Aspekte werden bei der Planung des Routenzugsystems bezüglich ihres Einflusses auf die Ergonomie betrachtet? (mehrere Antworten möglich)

- Anordnung der Rollen für das manuelle Handling
- Material der Rollen für das manuelle Handling
- Ausführung des Lenkgehäuses der Rollen für das manuelle Handling
- Sonstiges: _____

A4 | Fragebogen Teil 4: Systembeschreibung

Welche Transportmittel werden im Routenzugsystem eingesetzt? (mehrere Antworten möglich)

für KLT-Transporte:

- Schleppzug
- Niederflurkommissionierer
- Sonstiges: _____

für GLT-Transporte:

- Schleppzug
- Niederflurkommissionierer
- Sonstiges: _____

Wie lassen sich die eingesetzten KLT-Schleppzüge spezifizieren?

KLT-Schleppzüge (Anhängertyp)

- Anhänger mit integriertem KLT-Regal
- Anhänger mit wechselbarem KLT-Regal
- Anhänger ohne KLT-Regal (z. B. auf Palette)

KLT-Schleppzüge (Ebene)

- Geneigt
- ungeneigt

Wie lassen sich die eingesetzten GLT-Schleppzüge spezifizieren?

- Anhänger mit zusätzlichen Trolleys
- Plattform- / Rahmen-Anhänger ohne zusätzliche Trolleys
- Anhänger mit Rollenbahn-Aufbau

Wie lassen sich die eingesetzten KLT-Niederflurkommissionierer spezifizieren? (Mehrere Antworten möglich)

- Mit Etagengestell mit geneigten Ebenen
- Mit Etagengestell mit ungeneigten Ebenen

Wie lassen sich die GLT-Schleppzüge mit Anhängern und zusätzliche Trolleys spezifizieren? (Mehrere Antworten möglich)

- Mit einseitigem Ein- /Aufschub (z. B. E-Rahmen, C-Rahmen)
- Mit beidseitigem Ein- /Aufschub (z. B. U-Rahmen, Taxi Wagen)

Wie werden die Behälter-/Trolleyrollen beim manuellen Handling angeordnet (optional)?

Konzept 1:

- Lenkrollen: 4
- Lenkrollen: 2, Bockrollen: 2
- Lenkrollen: 3, Bockrollen: 1
- Bockrollen: 4

Konzept 2:

- Lenkrollen: 2, Bockrollen: 2
- Lenkrollen: 4, Bockrollen: 2
- Rautenanordnung
- Lenkrollen: 4, Bockrollen: 1

Durch wen werden folgende Tätigkeiten im Routenzugsystem durchgeführt?

	Keine Angabe	Nicht durchgeführt	Routenzugfahrer	Sonstiger Logistikmitarbeiter	Automatisch
Auslagern Vollgut					
Bereitstellen Vollgut am Bahnhof/Zwischenpuffer					
Beladen Routenzug mit Vollgut					
Fahrt					
Bereitstellen Vollgut im Produktionsbereich					
Aufnehmen Leergut im Produktionsbereich					
Entladen Leergut von Routenzug					
Sortieren/Einlagern Leergut					

Wann werden die Touren der Routenzüge gestartet?

- Direkt nach Beendigung vorangegangene Tour
- Auslastungsorientiert mit Zeitgrenze
- In festen Zeitabständen (Takt)
- Zu festen Zeitpunkten (ohne Takt)
- Dynamisch gemäß Berechnung des IT-Systems
- Sonstiges: _____

Wie lässt sich die Taktung der Routen charakterisieren?

- Identische Taktung aller Routen
- Unterschiedliche Taktungen der Routen

A5 | Fragebogen Teil 5: Routenplanung und -steuerung

Wie häufig werden folgende Entscheidungen getroffen?
(Bitte wählen Sie die Antwort, die Ihnen am passendsten erscheint)

	Keine Angabe	Nie	Seltener als monatlich	Monatlich	Wöchentlich	Täglich	Öfter als täglich
Routengruppierung (Zuordnung von Bereitstellorten zu Routen)							
Reihenfolgebildung (Sortierung der Bereitstellorte innerhalb einer Route)							
Routing (Konkrete Wegführung im Layout)							
Tourenbildung (Zusammenfassen von Transportaufträgen zu einer Tour)							
Scheduling (Festlegung der Tourenstarts)							
Ressourcenzuweisung (z. B. Zuteilung Routenzug zu Route/Tour)							

Welche der folgenden Aspekte werden beim Routing (Fahrweg) berücksichtigt? (Mehrere Antworten möglich)

- Blockaden von Streckenabschnitten
- Verkehrsbelastung (z. B. Stapler)
- Überholmöglichkeiten
- Engpassanalysen (z. B. Wegbreiten)
- Gesamtdistanz
- Gesamtzeit
- Keine der genannten Aspekte

Ist ein Routenzugfahrer innerhalb einer Schicht den gleichen Routen zugeteilt?

- Ja Nein

Wie beurteilen Sie den möglichen Nutzen folgender Komponenten einer Routenzugsystemsteuerung?

	Hoher Nutzen	Geringer Nutzen	Kein Nutzen	Keine Angabe
Berücksichtigung von aktuellen Blockaden auf Fahrwegen				
Berücksichtigung des aktuellen Verkehrsaufkommens				
An die aktuellen Bedarfe angepasste Routenbildung (Dynamische Routen)				
An die aktuellen Bedarfe angepasste Abfahrtszeiten (Dynamisches Scheduling)				
Navigation für den Fahrer				
Kontinuierliches Tracking der Züge				

Wie verändern sich folgende Aspekte, wenn die Routen unter der Berücksichtigung des aktuellen Bedarfs und Zustands des Systems permanent neu geplant werden? Geben Sie Ihre Abschätzung in Referenz zum aktuellen System an.

	Steigt	Bleibt unverändert	Sinkt	Keine Angabe
Versorgungssicherheit				
Wiederbeschaffungszeit				
Transparenz des Systems				
Transportaufkommen				
Bestände und Flächenbedarf im Produktionsbereich				
Blockaden der Routenzüge				
Zeitliche Auslastung der Routenzüge				
Kapazitive Auslastung der Routenzüge				
Auftreten von Überlastfällen im System				
Anzahl der Bereitstellfehler				

Welche der folgenden Daten sind am Unternehmensstandort elektronisch verfügbar? (Mehrere Antworten möglich)

- Aktuelle Materialbedarfs- bzw. -verbrauchsdaten
- Positionsdaten aller Fahrzeuge
- Layoutdaten
- Zeitfenster zur Bereitstellung des Materials im Produktionsbereich
- Keine der genannten Daten

A6 | Fragebogen Teil 6: Betrieb/Zukunft

Wie werden dem Fahrer Informationen zu Route und Tour bereitgestellt? (Mehrere Antworten möglich)

- Arbeitsanweisung (Papier)
- Informationen an den Transporteinheiten (z. B. Label)
- Terminal (PC) auf Zug (statisch)
- Terminal (PC) auf Zug (z. B. Navigationssystem)
- Anzeige an zentralem Ort (z. B. Monitor am Bahnhof/Zwischenpuffer)
- Sonstiges: _____

Wie wird der Routenzugprozess überwacht? (Mehrere Antworten möglich)

- Keine Überwachung
- Dezentrale Visualisierung der aktuellen Informationen an Quelle bzw. Senke
- Zentrale Visualisierung der aktuellen Informationen (z. B. an Leitstand)
- Automatische Auslösung eines Eskalationsprozesses (z. B. Email an Schichtleiter)
- Permanente Positionserfassung der Routenzüge
- Nachträgliche Auswertung von Prozesskennzahlen
- Sonstiges: _____

Welche der nachfolgenden Störungen treten im Routenzugsystem regelmäßig auf?
Bitte bewerten Sie deren Kritikalität in Hinsicht auf die Systemstabilität

	Nicht kritisch	Wenig kritisch	Kritisch	Sehr kritisch	Tritt nicht regelmäßig auf
Routenzugfahrer halten sich nicht an die vorgegebenen Prozesse					
Mitarbeiter im Produktionsbereich halten sich nicht an die vorgegebenen Prozesse					
Fehler in der Informationsverarbeitung (z. B. Fehler in den Stammdaten)					
Störungen auf den Verkehrswegen (Blockaden)					
Technische Defekte am Routenzug					
Technische Störungen im Bereich der Quelle (z. B. Lagerbereich)					
Sonderabrufe/Eilabrufe					

Welche Arten von Schwankungen treten im Routenzugsystem auf?
Bitte bewerten Sie deren Kritikalität in Hinsicht auf die Systemstabilität

	Nicht kritisch	Wenig kritisch	Kritisch	Sehr kritisch	Tritt nicht auf
Schwankende Behälterbedarfe im Produktionsbereich					
Schwankende Anzahl der Abrufe pro Zeiteinheit					
Schwankende Anzahl der pro Tour transportierten Behälter/Schwankende Auslastung der Routenzüge					
Schwankende Zykluszeiten der Routenzüge					
Schwankende Durchlaufzeiten der Transportaufträge/schwankende Wiederbeschaffungszeiten					

Welche Strategien setzen Sie zum Umgang mit Schwankungen ein? (Mehrere Antworten möglich)

- Springer/Sonderfahrt
- Bestandspuffer in der Produktion
- Verschieben von Transportaufträgen auf spätere Touren
- Verschieben von Transportaufträgen auf frühere Touren
- Zeitpuffer im Takt/im Prozess
- Ausfall einzelner Touren
- Kapazitätspuffer auf Routenzug
- Festlegung Startzeitpunkt Tour nach aktuellem Transportbedarf
- Festlegung der Tour/Route nach aktuellem Transportbedarf
- Sonstige: _____

Wie bewerten Sie das Potenzial des gemeinsamen Transports unterschiedlicher Ladungsträger (KLT, GLT, ...)?

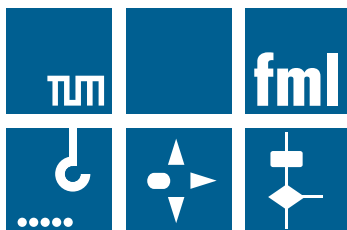
- Sehr hoch Hoch Gering
 Kein Potenzial Keine Angabe

Wie bewerten Sie das Potenzial folgender Funktionen für das Routenzugsystem der Zukunft?

	Sehr hoch	Hoch	Gering	Kein Potenzial	Keine Angabe
Transport und Handhabung					
Selbstständiges Fahren des Routenzugs					
Automatische Routenzugbeladung					
Automatische Entladung des Routenzugs an zentralen Punkten (von dort erfolgt die Verteilung an die Arbeitsplätze)					
Automatische Bereitstellung an den Arbeitsplätzen					
Visualisierung und Hilfsmittel					
Navigationssystem, welches den Fahrer durch die Werkshalle leitet					
Eigenständige Positionsüberwachung des Routenzugs und automatische Erkennung falscher Bereitstellungen					
Selbstständiges Überwachung des Bestands und Auslösen der Nachbestellung					
Ankunftsinformationssystem im Produktionsbereich (Restwartezeit)					

Wie bewerten Sie die Wahrscheinlichkeit folgenden Szenarios? Ersatz der Routenzüge durch kleine Transportmittel, die jeden Ladungsträger einzeln transportieren (z. B. Klein-FTS, Drohne)

- Sehr hoch Hoch Gering
 Ausgeschlossen Keine Angabe



fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
Technische Universität München
Boltzmannstraße 15
85748 Garching b. München

Tel.: +49 (0)89 289 - 15921
Fax.: +49 (0)89 289 - 15922
E-Mail: kontakt@fml.mw.tum.de