

Integrierte Planung von Routenzugsystemen

Entwicklung einer Methodik zur integrierten Planung von Routenzugsystemen unter ganzheitlichen Aspekten

Christopher Keuntje, Michael Kelterborn und Willibald A. Günthner,
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München

Autoren

M. Sc. Christopher Keuntje arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München und ist Co-Autor der VDI-Richtlinie 5586 – Routenzugsysteme.

M. Sc. Michael Kelterborn arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am fml und leitet ein Forschungsprojekt zur ergonomischen Gestaltung von Produktionslogistikarbeitsplätzen bei der MAN Truck & Bus AG.

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner ist Ordinarius des fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München und u. a. Gründungsmitglied der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e.V..

Kontakt

Technische Universität München
fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
Boltzmannstr. 15
85748 Garching bei München
Tel.: +49 89 / 289 15955
E-Mail: keuntje@fml.mw.tum.de
URL: <http://www.fml.mw.tum.de>

Der mit der Entwicklung zur Industrie 4.0 verbundene Trend zur Dezentralisierung und Individualisierung der Produktion führt zu veränderten Anforderungen an die Logistik [1]. Um mit dem Ziel einer möglichst geringen Bestandshaltung die flexible Bereitstellung kleiner Losgrößen zu ermöglichen, werden in immer mehr Unternehmen Routenzüge – die damit als logistischer Enabler der Industrie 4.0 angesehen werden können – zur Produktionsversorgung eingesetzt. Für Routenzugtechnik und -prozess haben sich trotz steigendem Verbreitungsgrad bisher keine Standards etabliert und auch die Planung von Routenzugsystemen erfolgt oftmals „intuitiv“ ohne den Einsatz einer routenzugspezifischen Planungsmethodik [2]. Im Rahmen des Forschungsprojekts IntegRoute wurde daher das Vorgehen in Routenzugprojekten analysiert und eine Methodik für die Planung von Routenzugsystemen entwickelt. Diese Methodik unterstützt eine integrierte Planung von Technik, Prozess und Steuerung eines Routenzugsystems sowie eine ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten.

Routenzüge ermöglichen eine effiziente und flexible Bereitstellung mit kleinen Losgrößen und hoher Frequenz. Damit stellen sie einen wesentlichen logistischen Enabler für ganzheitliche Produktionssysteme und die Industrie 4.0 dar. Trotz des Voranschreitens einer Automatisierung von Teilprozessen, wie der automatisierten Beladung von Routenzügen, kann auch auf lange Sicht nicht mit einer vollständigen Automatisierung der Logistikprozesse durch autonome logistische Objekte und Strukturen im Sinne eines Internets der Dinge und Dienste gerechnet werden [3]. Vielmehr werden Menschen mit ihren im Vergleich zu Maschinen klar überlegenen kognitiven und sensomotorischen Fähigkeiten, mit ihrer Kreativität, Erfahrung und Problemlösungsfähigkeit in cyber-physikalischen Logistiksystemen weiterhin dringend gebraucht [1].

Das im Forschungsprojekt IntegRoute entwickelte Planungsvorgehen verfolgt daher das Ziel, über eine ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten die Berücksichtigung des Routenzugfahrers bereits in einer frühen Planungsphase zu ermöglichen. Da in Routenzugsystemen oftmals das manuelle Verfahren von Großladungsträgern (GLT) mit einem Gewicht von über 500 Kilogramm oder das Heben von Kleinladungsträgern (KLT) von ca. zwölf Kilogramm erforderlich ist, kommt der Bewertung der Ergonomie der Arbeitsplätze im entwickelten Planungsvorgehen eine zentrale Bedeutung zu.

Durch das Aufzeigen der Vielzahl der bestehenden Entscheidungsalternativen unterstützt das Vorgehen die Bildung vielfältiger Planungsvarianten, aus denen auf Basis einer ganzheitlichen Bewertung die am besten geeignete Lösung ausgewählt werden kann.

Analyse des Vorgehens in Routenzugprojekten

Aufbauend auf einer Befragung von 24 Experten aus dem Themenbereich Routenzug (Hersteller, Anwender und Unternehmensberater) wurde das Vorgehen in bereits abgeschlossenen Routenzugprojekten untersucht. In Bild 1 ist dargestellt, in welcher Abfolge die Systemelemente Technik, Prozess und Steuerung in den betrachteten Projekten festgelegt worden sind.



Bild 1: Analyse des Vorgehens in Routenzugprojekten (Befragung von 24 Routenzug-Experten)

Während in über der Hälfte der untersuchten Projekte der Prozess vor der Technik ausgewählt wurde, bestimmt die Technik den Prozess in 38 Prozent der Fälle. Eine parallele Entscheidung über Prozess und Technik wurde in zwei der 24 Projekte getroffen.

Weiterhin ist festzuhalten, dass bei dem sequenziellen Durchlauf der Planungsphasen oftmals in jeder Phase nur eine geringe Anzahl von Entscheidungskriterien berücksichtigt wurde. Hierbei wurden allen voran wirtschaftliche Kriterien wie die erforderlichen Investitionen für die Routenzugtechnik betrachtet.

Ableitung eines Zielbilds für die Routenzugplanung

Die im Rahmen von Expertenbefragungen und zusätzlichen Prozessbeobachtungen aufgenommenen Projekte wurden in Zusammenarbeit mit im Forschungsprojekt IntegRoute beteiligten Industriepartnern hinsichtlich der Zielerreichung analysiert. In einer Vielzahl von Projekten konnte der sequenzielle Durchlauf der Planungsphasen als Ursache für eine nicht optimale Erfüllung der Anforderungen der gestellten Planungsaufgabe gefunden werden.

In einem der analysierten Projekte wurde beispielsweise eine Routenzugtechnik aufgrund einer Zusatzfunktion ausgewählt und beschafft. Nach einer detaillierten Gegenüberstellung von Prozessalternativen in einem späteren Planungsschritt wurde ein Prozess festgelegt, in dem ein Einsatz der kostenintensiven Zusatzfunktion der Routenzugtechnik nicht möglich ist.

Die Folgen der Betrachtung einer zu geringen Anzahl an Entscheidungskriterien im Planungsprozess zeigten sich in einem weiteren untersuchten Projekt, in dem die Systementscheidung fast ausschließlich auf Basis wirtschaftlicher Kriterien getroffen worden sind. Als nach der Einführung des Routenzugs die körperlichen Belastungen der Routenzugfahrer auf einem kritischen Niveau lagen, war man gezwungen, durch nachträgliche kostenintensive Maßnahmen die Ergonomie zu verbessern. Bei einer Berücksichtigung der Ergonomie in einer früheren Phase hätte in diesem Projekt eine in Summe sowohl ergonomisch als auch wirtschaftlich deutlich bessere Lösung gefunden werden können.

Aus den skizzierten exemplarischen Problemen wurde das in Bild 2 dargestellte Zielbild für das im Projekt zu entwickelnde Planungsvorgehen erarbeitet.

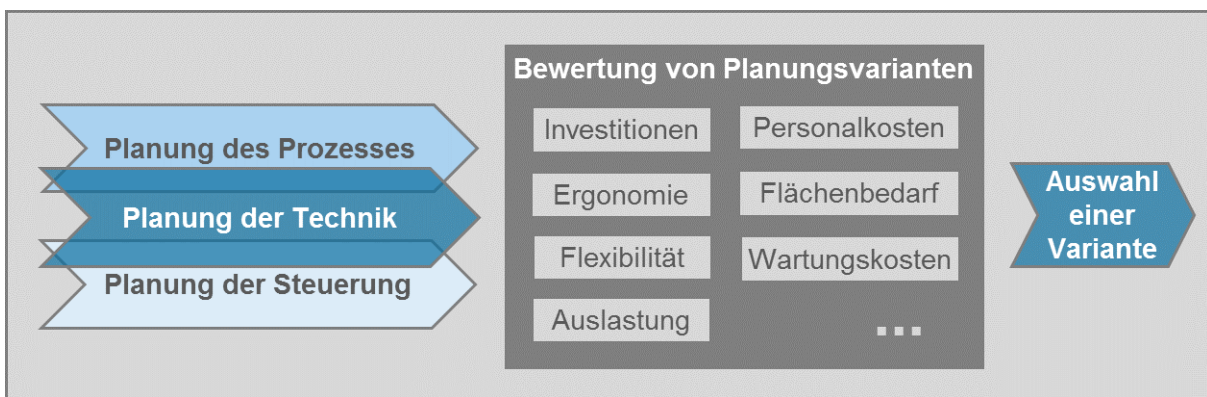


Bild 2: Zielbild des Planungsvorgehens für die Planung von Routenzugsystemen

Neben der Parallelisierung der Planung von Technik, Prozess und Steuerung wird in dem angestrebten Planungsvorgehen auf Basis einer ganzheitlichen Bewertung unterschiedlicher Planungsvarianten eine fundierte Systementscheidung für die am besten geeignete Variante ermöglicht.

Planungsvorgehen zur integrierten Routenzugplanung

Aus dem Zielbild wurde das in Bild 3 abgebildete Planungsvorgehen zur integrierten Planung von Routenzugsystemen entwickelt.

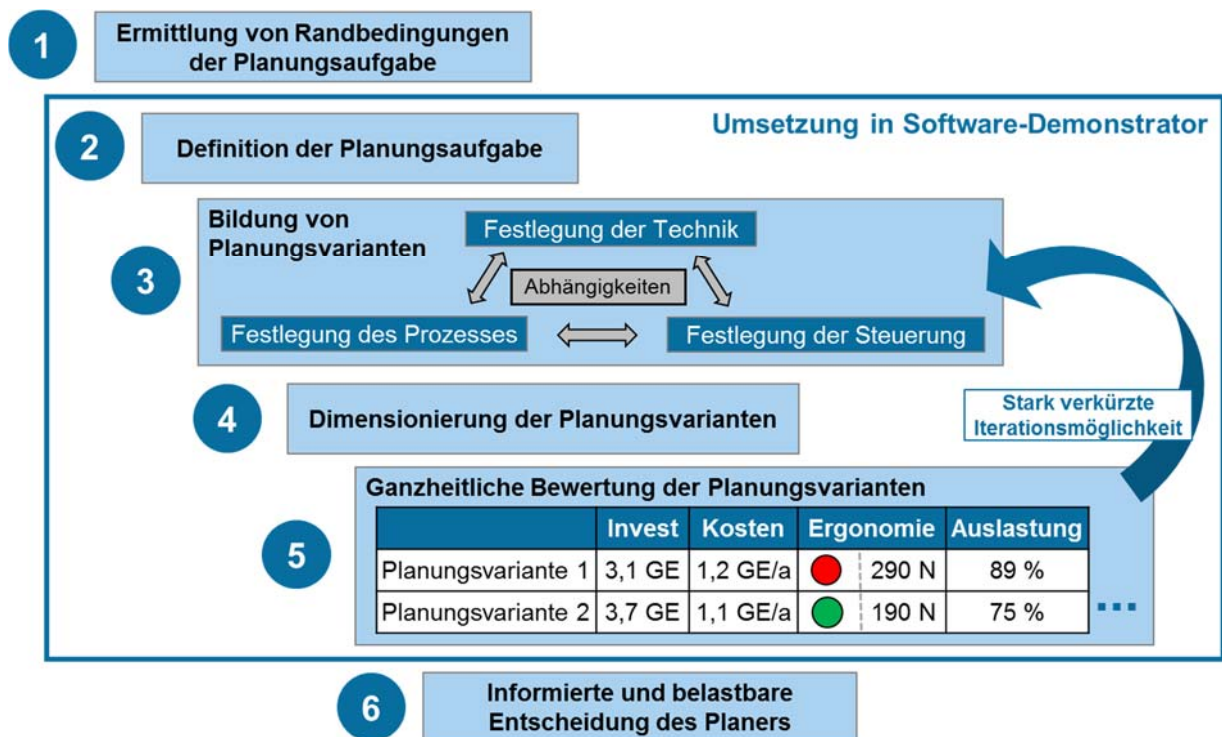


Bild 3: Überblick über das Planungsvorgehen zur integrierten Planung von Routenzugsystemen [4]

Der Ansatz der integrierten Planung verfolgt neben der Parallelisierung der Planung von Technik, Prozess und Steuerung ebenfalls die Abbildung von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen den drei Planungselementen Technik, Prozess und Steuerung. Weiterhin wird die integrierte Planung durch ein durchgängiges Planungsvorgehen gekennzeichnet, in dem sowohl Bildung, Dimensionierung als auch Bewertung von Planungsvarianten auf Basis einer identischen projektspezifischen Datengrundlage vorgenommen wird.

Diese in Punkt 1 definierte Datengrundlage führt unter anderem zu einer Einschränkung des Spielraums bei der Bildung von Planungsvarianten (Punkt 3), indem beispielsweise layoutseitige Anforderungen wie Rampenfahrten zum Ausschluss gewisser Routenzugtechniken führen können. Zusammen mit den erwähnten Abhängigkeiten zwischen den Planungselementen unterstützt das Planungsvorgehen somit bei der Bildung geeigneter Planungsvarianten.

In der Dimensionierung der Planungsvarianten in Punkt 4 erfolgt die Bestimmung der Zykluszeit unter Verwendung eines eigens entwickelten MTM-Bausteinsystems (Methods Time Measurement – ein System vorbestimmter Zeiten [5]). Basierend auf der Zykluszeit wird die erforderliche Anzahl der technischen Systemelemente wie Zugfahrzeuge, Anhänger und Gabelstapler sowie die Anzahl der Routenzug- und Gabelstaplerfahrer berechnet.

Die Dimensionierung beinhaltet ebenfalls die Berechnung der von den Routenzugsystemen benötigten Flächen, wobei sowohl Flächen an der Quelle, auf dem Fahrweg als auch an den

Senken berücksichtigt werden. Auf Grundlage parametrisierbarer Layouts können bei der Flächenberechnung der Einfluss diverser variierender Abmessungen, Prozessvarianten sowie Unternehmensvorgaben abgebildet werden.

Auf Basis der Dimensionierung wird in Punkt 5 eine dynamische Investitionsrechnung der Planungsvarianten, die hinterlegte Kostensätze und projektspezifische Vorgaben berücksichtigt, durchgeführt. Neben der Bewertung der Wirtschaftlichkeit werden verschiedenste nicht monetär quantifizierbare Kennzahlen aus Themenbereichen wie Ergonomie oder Flexibilität ermittelt.

Durch die Umsetzung des Planungsvorgehens in einem Software-Demonstrator können in sehr kurzen Iterationszyklen unterschiedliche Teilprobleme behandelt und Abhängigkeiten aufgezeigt werden. Auf diese Weise kann eine sukzessive Optimierung der zu untersuchenden Planungsvarianten erfolgen und im abschließenden Punkt 6 eine belastbare Systementscheidung getroffen werden.

Ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten

Da vom Anwender des Planungsvorgehens nur eine begrenzte Anzahl unterschiedlicher Kennzahlen gegeneinander abgewogen werden kann, wird im Rahmen der ganzheitlichen Bewertung eine unterstützende Bewertungsmethodik verwendet. Unter Einsatz des Multi-Kriterien-Modells nach Ghandforoush [6] werden – basierend auf projektspezifisch anpassbaren Gewichtungsfaktoren – die einzelnen Kennzahlen zusammengefasst und zu einem Gesamtpunktwert verrechnet (vgl. Bild 4).

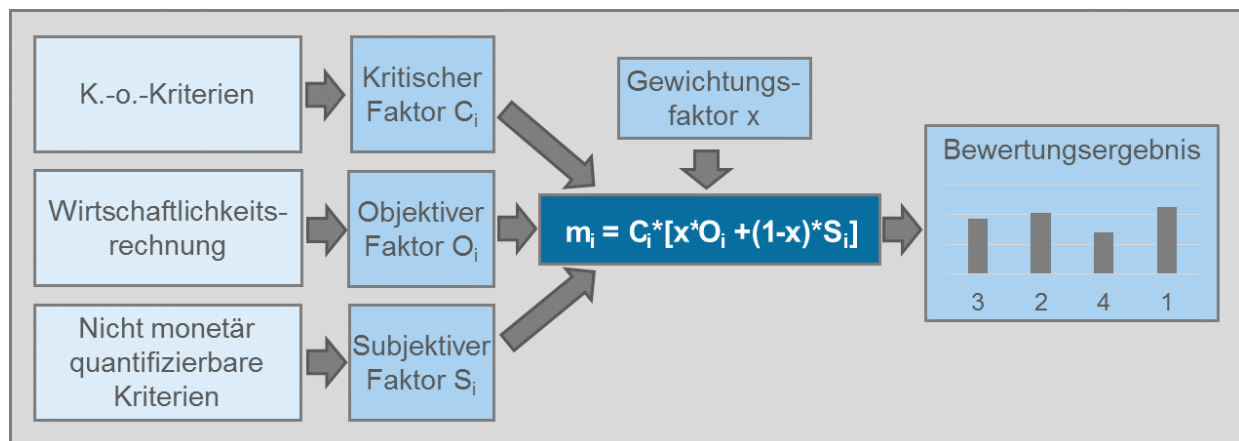


Bild 4: Ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten (i) unter Verwendung des Multi-Kriterien-Modells nach Ghandforoush [7]

Der Gesamtbewertungsfaktor m_i einer Planungsvariante wird unter Verwendung des vom Anwender anzugebenden Gewichtungsfaktors x berechnet und bietet bei einer großen Anzahl von Planungsvarianten eine Möglichkeit zur Vorselektion der Varianten. Zur abschließenden Entscheidungsfindung sollten neben dem Gesamtbewertungsfaktor ebenfalls die zentralen Kennzahlen der Planungsvarianten berücksichtigt werden.

Auf Grundlage einer dynamischen Investitionsrechnung wird der objektive Faktor O_i berechnet. Die Abbildung von K.-o.-Kriterien erfolgt durch den kritischen Faktor C_i , der die Werte 0 und 1 annehmen kann und bei Nicht-Erfüllung eines Kriteriums zum sofortigen Ausschluss der betrachteten Planungsvariante führt.

Im Rahmen der Befragung von 24 Routenzug-Experten wurden fünf zentrale Oberkategorien für die Bewertung der nicht monetär quantifizierbaren Aspekte von Routenzugsystemen ausgewählt (siehe Bild 5). Basierend auf einer Gewichtung dieser Kategorien wird der subjektive Faktor S_i berechnet. Zur Ermittlung der erforderlichen Gewichtungsfaktoren wurden von 19 Routenzug-Experten paarweise Vergleiche der Oberkategorien – basierend auf dem Analytischen Hierarchieprozess (AHP) nach Saaty – durchgeführt [8]. Zur Realisierung eines AHP mit 19 Teilnehmern wurde ein vom BPMSG Singapur für das Forschungsprojekt IntegRoute angepasstes Softwaretool verwendet [9]. Die in Bild 5 abgebildeten Gewichtungsfaktoren auf Basis der Einschätzung von 19 Routenzug-Experten dienen als Orientierung; aus projektspezifischen Überlegungen heraus kann eine Veränderung der Faktoren jedoch sinnvoll sein.

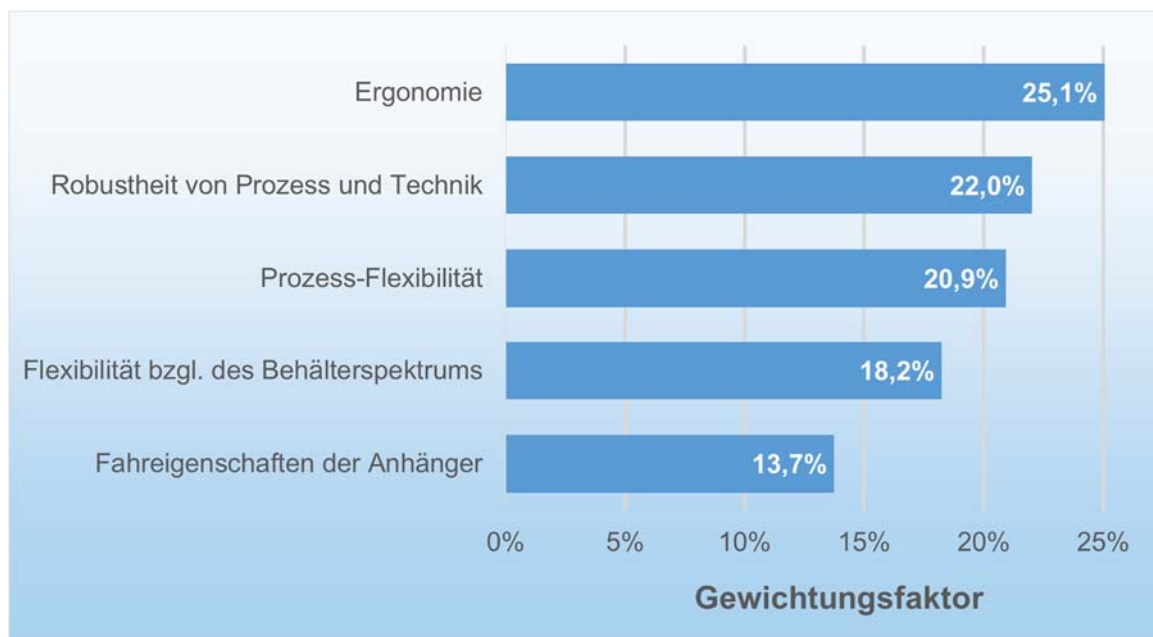


Bild 5: Gewichtung der Oberkategorien der nicht monetären Bewertung von Planungsvarianten

Aufbauend auf der dargestellten Gewichtung der Oberkategorien kann für jede Planungsvariante der subjektive Faktor S_i berechnet werden, der analog der Methodik aus Bild 4 zur Bestimmung des Gesamtbewertungsfaktors dient.

Für jede der fünf vorgestellten Oberkategorien wird auf Basis von jeweils durchschnittlich zehn betrachteten Unterkriterien ein Punktwert berechnet. Die Bewertung der Unterkriterien erfolgte in Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Experten und kann – falls erforderlich – an projektspezifische Anforderungen angepasst werden. Im Folgenden werden

die Oberkategorien „Ergonomie“ und „Fahreigenschaften der Anhänger“ genauer betrachtet:

In der Oberkategorie Ergonomie wird für jede Planungsvariante unter Verwendung des im Forschungsverband KoBRA (Kooperationsprogramm zu normativem Management von Belastungen und Risiken bei körperlicher Arbeit) entwickelten „Multiplen Lasten Tools“ ein Risikowert ermittelt [10].

Ergänzend dazu werden zur Bewertung der Ergonomie Messwerte aus mehrmonatigen Messreihen mit 42 Probanden – die eine Abschätzung der zu erwartenden, auf die Routenzugfahrer wirkenden Handkräfte erlauben – verwendet. Die in den Messreihen eingesetzten Messgriffe 9809A der Firma Kistler ermöglichen eine Messung der in den drei Raumachsen auftretenden Kräfte mit einer Frequenz von 50 Hertz [11]. Dadurch können die bei Kurvenfahrten auftretenden Seitenführungskräfte quantifiziert werden. Diese hängen stark von der eingesetzten Technik ab und übersteigen teilweise deutlich die mit klassischen Messtechniken erfassbaren Losbrechkräfte bei der Beschleunigung aus der Ruhelage.

Die Oberkategorie „Fahreigenschaften der Anhänger“ betrachtet ausschließlich die Fahreigenschaften im Schleppbetrieb ohne Einbeziehung des manuellen Handlings. Es werden unter anderem die maximal zulässige Fahrgeschwindigkeit, der erforderliche Wenderadius und die Spurtreue des Routenzugs berücksichtigt. Um eine Quantifizierung der Spurtreue eines Routenzugs zu ermöglichen, wird die „relative Spurabweichung“, die auf Basis der Simulation der Lenkinematik ermittelt wird, verwendet [12].

Fazit

Auf Basis einer umfassenden Informationsbereitstellung führt das vorgestellte Planungsvorgehen neben einer rein monetären Betrachtung zu einer Berücksichtigung von nicht monetär quantifizierbare Kriterien wie der Prozessflexibilität, Materialflusseffizienz und Systemergonomie. In der Konsequenz wird die Planung von Routenzugsystemen in einer Weise ermöglicht, in der eine integrierte Gestaltung von Routenzugtechnik, -prozess und -steuerung erfolgt und dem Menschen als zentralem Systemelement bereits in einer frühen Planungsphase Rechnung getragen werden kann.

Schlüsselwörter:

Routenzugsystem, Milkrun, Produktionsversorgung, Planungsvorgehen, ganzheitlich, Ghandforoush, AHP

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des IGF-Forschungsvorhabens IntegRoute (Fördernummer 18136 N). Das Forschungsvorhaben der Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur

- [1] Günthner, W. A.; Klenk, E.; Tenerowicz-Wirth, P.: Adaptive Logistiksysteme als Wegbereiter der Industrie 4.0. In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B., Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Springer Vieweg, Wiesbaden 2014. S. 297-323.
- [2] 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.
- [3] Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. In: Spath D (Hrsg.), Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2013.
- [4] Keuntje, C.; Günthner, W. A.: Ganzheitliche Konzeptauswahl für Routenzugsysteme zur Produktionsversorgung. In: Forschungskatalog Flurförderzeuge – Tagungsband der 11. Hamburger Staplertagung. Hamburg 2016.
- [5] Maynard, H.B.; Zandin, K.B.: Maynard's industrial engineering handbook. 5.Aufl. McGraw-Hill, New York 2011.
- [6] Ghandforoush, P.; Huang, P.; Taylor, B.: A multi-criteria decision model for the selection of a computerized manufacturing control system; In: International Journal of Production Research, Jahrgang 23 (1985) 1, S. 117–128
- [7] Keuntje, C.; Günthner, W. A.: Forschungsprojekt IntegRoute. In: 25. Deutscher Materialfluss-Kongress – VDI-Berichte 2275. VDI-Wissensforum (Hrsg.). Düsseldorf 2016.
- [8] Saaaty, T. L.: Multicriteria decision making - the analytic hierarchy process. Planning, priority setting, resource allocation. 2. Aufl. RWS Publishing, Pittsburgh 1990.
- [9] Goepel, K. D.: Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for Multi-Criteria Decision Making In Corporate Enterprises – A New AHP Excel Template with Multiple Inputs; In: Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, 2013.
- [10] Institut für Arbeitswissenschaft. (2007). Multiple-Lasten-Tool. <http://www.kobra-projekt.de/download/>. Heruntergeladen am 17.11.2015.
- [11] Post, M.; Jubit, K.-H.; Glitsch, U.; Ellegast, R.; Backhaus, C.: Belastungen des Muskel-Skelett-Systems beim Ziehen und Schieben von Müllbehältern. In: IFA-Report 6/2011. S. 179 – 164.
- [12] Bruns, R.; Piepenburg, B.; Ulrich, S.; Krivenkov, K.: Simulationsgestützte Untersuchung der Spurtreue von Routenzügen. In: Logistics Journals: Proceedings, 2013.

Development of a methodology for an integrated planning of in-plant milk-run systems

In order to meet the demands of a more flexible supply of small lot sizes, many companies use in-plant milk-run systems, that can be seen as forerunner for the Industry 4.0. Despite the increasing distribution of milk-runs, a standard has not been established yet and the planning is often carried out without a suitable methodology. Therefore, different milk-run projects were analyzed and a methodology for the integrated planning was developed.

Keywords:

In-plant milk-run, tugger train, planning, holistic, AHP