

# **Forschungsprojekt IntegRoute**

## **Integrierte Planung von Routenzugsystemen**

M. Sc. **Christopher Keuntje**, Technische Universität München  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. **Willibald A. Günthner**, Technische Universität München

### **Kurzfassung**

Routenzugsysteme werden in immer mehr Unternehmen zur Materialversorgung von Produktionsprozessen eingesetzt [1]. Die Planung von Routenzugsystemen ist aufgrund der vielfältigen Gestaltungsvarianten sowie der Wechselwirkungen der Systemelemente untereinander komplex, bestimmt aber ganz wesentlich den Erfolg der Umsetzung. Dennoch sind kaum Hilfestellungen zur Planung in der Literatur verfügbar bzw. zugänglich.

Um diesem Sachverhalt zu entgegnen wurde im Rahmen des Forschungsprojekts IntegRoute ein Planungsvorgehen für die Grobplanung von Routenzugsystemen entwickelt, welches eine integrierte Planung von Technik, Steuerung und Prozess eines Routenzugsystems unterstützt. Weiterhin ist eine ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten umgesetzt, die bereits vor der Systemeinführung die Gegenüberstellung einer Vielzahl wirtschaftlicher und nicht monetär quantifizierbarer Faktoren ermöglicht. Dies führt zu einer umfassenden Informationsbereitstellung für den Planer und somit zu einer Verbesserung der Planung von Routenzugsystemen.

Die demonstratorische Umsetzung des entwickelten Planungsvorgehens in einem softwarebasierten Planungswerkzeug ermöglicht dem Planer darüber hinaus die Durchführung der detaillierten Betrachtung unterschiedlicher Planungsvarianten mit einem geringen Zeitaufwand.

### **1. Planungsvorgehen zur integrierten Grobplanung von Routenzugsystemen**

Aus einer durchgeführten Befragung von 24 Logistik-Experten geht hervor, dass die Planung von Routenzugsystemen oftmals „intuitiv“ – ohne den Einsatz einer routenzugspezifischen Planungsmethodik – erfolgt.

Bei über 90 Prozent der befragten Logistik-Experten läuft die Festlegung von Technik, Prozess und Steuerung sequenziell in separaten Planungsphasen ab. Des Weiteren wird in den Planungsphasen oftmals nur eine geringe Anzahl von Entscheidungskriterien berücksichtigt und die Entscheidung ist häufig primär durch wirtschaftliche Kriterien – wie beispielsweise die erforderlichen Investitionen für die Routenzugtechnik – getrieben.

Diese Ausgangssituation zugrunde legend wird im Forschungsprojekt IntegRoute ein Planungsvorgehen zur integrierten Grobplanung von Routenzugsystemen entwickelt. Das Planungsvorgehen ermöglicht zum einen eine parallelisierte Planung von Technik, Prozess und Steuerung, die dem Planer im Vergleich zum sequenziellen Durchlauf der Planungsphasen einen umfassenden Vergleich von Planungsvarianten, die aus Kombinationen von unterschiedlichen Techniken, Prozessen und Steuerungen bestehen, erlaubt. Zum anderen wird durch eine ganzheitliche Betrachtung von Planungsvarianten bereits in der Grobplanung eine Berücksichtigung von zentralen Planungszielen wie beispielsweise Ergonomie, Flexibilität oder Flächenbedarf der Varianten ermöglicht. Dieses unterstützt im Vergleich zu einer rein wirtschaftlichen Bewertung die Identifikation kritischer Elemente, die andernfalls unter Umständen erst nach der Realisierung berücksichtigt werden und zu signifikanten Mehrkosten des Routenzugsystems führen können. Ein Überblick über das Planungsvorgehen ist in der folgenden Abbildung 1 dargestellt:

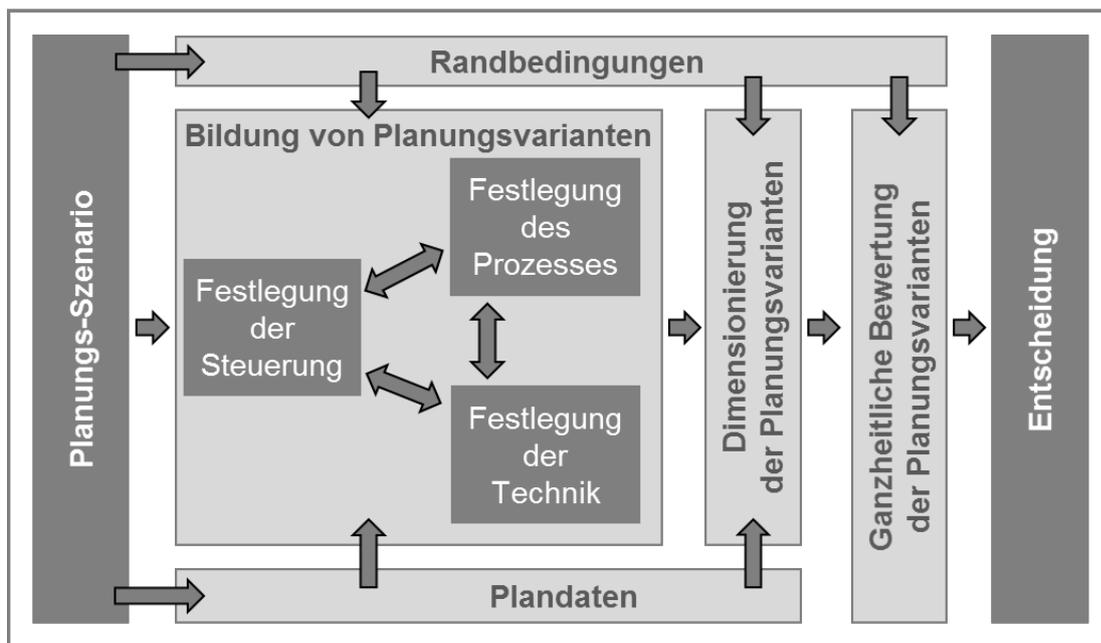


Abbildung 1: Überblick über das im Forschungsprojekt IntegRoute entwickelte Planungsvorgehen

### Randbedingungen und Plandaten

Auf Basis eines realen Planungs-Szenarios vom Planer zu definierende Randbedingungen und Plandaten stellen die Datengrundlage für die folgenden Planungsschritte dar. Diese Datengrundlage beinhaltet über die direkten Angaben des Planers hinaus eine Vielzahl von Daten zu Routenzugtechniken und -prozessen, die bei Bedarf vom Planer an das Planungsszenario angepasst werden können.

In den folgenden Kapiteln erfolgt eine detaillierte Betrachtung der Planungsschritte „Bildung von Planungsvarianten“ (Kapitel 2), „Dimensionierung der Planungsvarianten“ (Kapitel 3) und der „Ganzheitlichen Bewertung der Planungsvarianten“ (Kapitel 4).

## **2. Bildung von Planungsvarianten**

Bei der Bildung von Planungsvarianten werden Abhängigkeiten zwischen einzelnen Randbedingungen / Plandaten und den festzulegenden Ausprägungen von Technik, Prozess und Steuerung betrachtet. Dieses führt zu einer Reduktion des Entscheidungsspielraums – damit zur Verringerung der Komplexität für den Planer – und schützt vor der Bildung von nicht umsetzbaren Planungsvarianten. Beispielsweise kann das in einem Planungsszenario erforderliche Befahren von Rampen die Verwendung einzelner Routenzugtechniken aufgrund nicht vorhandener Rampentauglichkeit ausschließen.

Neben der Berücksichtigung von Randbedingungen und Plandaten werden bei der Bildung der Planungsvarianten ebenfalls Abhängigkeiten zwischen den Planungsfeldern Technik, Prozess und Steuerung berücksichtigt. Da beispielsweise eine direkte Beladung von Routenzügen durch einen Gabelstapler bauartbedingt nicht bei allen Routenzugtechniken möglich ist, wird diese Information dem Planer zur Verfügung gestellt und die Bildung einer solchen nicht sinnvollen Planungsvariante durch das Planungsvorgehen ausgeschlossen.

Nachfolgend wird exemplarisch das Planungsfeld Technik, für das im Forschungsprojekt eine Klassifikation von Routenzugtechniken erarbeitet wurde, genauer beleuchtet.

### **Klassifikation von Routenzugtechniken**

In der Materialversorgung von Produktionsprozessen werden Routenzugsysteme in immer mehr Unternehmen eingesetzt. Aus der Routenzug-Studie des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München geht hervor, dass sich trotzdem noch keine Standards für Routenzugtechniken etabliert haben. [1]

Neben einer Vielzahl existierender Routenzugtechniken weichen die verwendeten Bezeichnungen von vergleichbaren technischen Konzepten bei unterschiedlichen Unternehmen und Routenzugherstellern stark voneinander ab. So werden beispielsweise für Routenzugtechniken, in denen Großladungsträger nicht direkt auf den Anhängern sondern auf zusätzlichen Transporthilfsmitteln bereitgestellt werden, die synonymen Begriffe „Shuttle-System“, „Wagen-in-Wagen-System“ oder „Taxi-Konzept“ verwendet.

Um Logistikplanern einen umfassenden und zeiteffizienten Überblick über Routenzugtechniken zu ermöglichen und im Planungsvorgehen innerhalb einer Technik-Oberkategorie

gleiche Berechnungsmodelle einsetzen zu können, wurde im Forschungsprojekt IntegRoute in Zusammenarbeit mit verschiedenen Routenzugherstellern eine Klassifikation von Routenzugtechniken erarbeitet. Die Klassifikation basiert auf durchgeführten Prozessanalysen und berücksichtigt vergleichbare Bereitstellprozesse sowie die Bauform der Techniken. Es werden die vier Oberkategorien „Transportwagen“, „Ein-/Aufschubkonzepte“, „Rollenverschiebesysteme“ und „Niederflurkommissionierer“ sowie unterschiedliche Ausprägungen der jeweiligen Oberkategorie unterschieden (vgl. Abbildung 2).

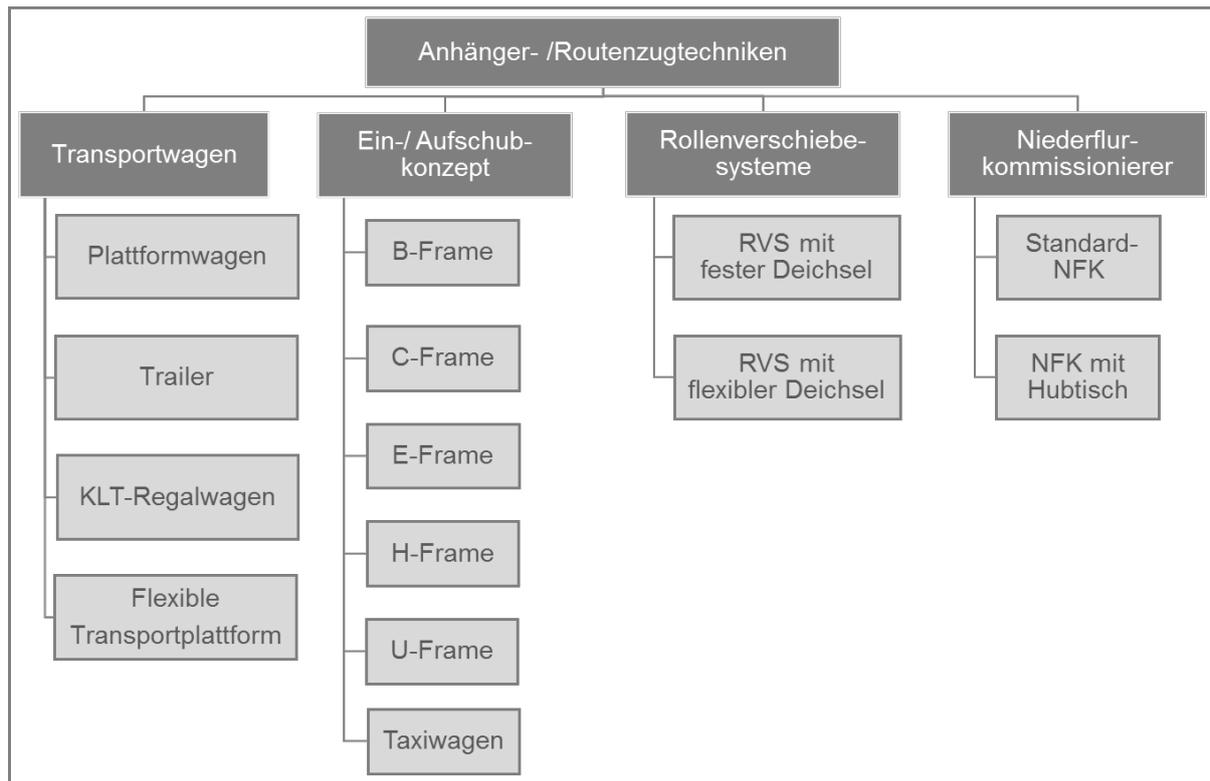


Abbildung 2: Klassifikation von Anhänger- und Routenzugtechniken

Während bei den Anhängertechniken „Transportwagen“, „Ein-/Aufschubkonzepte“ und „Rollenverschiebesysteme“ ein zusätzliches Zugfahrzeug erforderlich ist, ist bei „Niederflurkommissionierern“ die Antriebsfunktion bereits integriert und es wird kein zusätzliches Zugfahrzeug benötigt. Nachfolgend werden die vier Oberkategorien sowie deren jeweilige Ausprägungen genauer betrachtet:

### Transportwagen

Bei der Bereitstellung von Großladungsträgern (GLT) mit einem Transportwagen erfolgt ein An- und Abkuppeln von Anhängern im Prozess und die Anstellung der GLT am Bereitstellort erfolgt direkt auf den Anhängern ohne Verwendung zusätzlicher Transporthilfsmittel.

Für GLT-Prozesse können entweder „Plattformwagen“ oder „Trailer“ eingesetzt werden, wobei „Plattformwagen“ mit einer durchgängigen Ladefläche den Transport von Ladungsträgern abweichender Grundfläche ermöglichen und „Trailer“ – die ausschließlich aus Rohrgestängen und Abstandspunkten an den Eckpunkten bestehen – nur für Ladungsträger mit identischer Grundfläche eingesetzt werden können.

Für den Transport von Kleinladungsträgern (KLT) werden „KLT-Regalwagen“ eingesetzt; eine behälterlose Bereitstellung von unterschiedlichen Transportgütern mit wechselnden Abmessungen kann mit einer „flexiblen Transportplattform“ erfolgen.

### Ein-/Aufschubkonzept

Der Anhängerverband bleibt bei Ein-/Aufschubkonzepten beim Bereitstellvorgang im Regelfall bestehen. Für die Bereitstellung von GLT werden zusätzliche Transporthilfsmittel benötigt, die in die Routenzuganhänger eingeschoben oder auf die Anhänger aufgeschoben werden. Die Bereitstellung von Kleinladungsträgern erfordert den Einsatz von KLT-Transporthilfsmitteln, die durch die Anhänger transportiert werden und in verschiedenen Regalebenen Platz für Kleinladungsträger bieten. Die sechs zur Oberkategorie der Ein-/Aufschubkonzepte zusammengefassten Routenzugtechniken sind in der folgenden Abbildung 3 dargestellt:

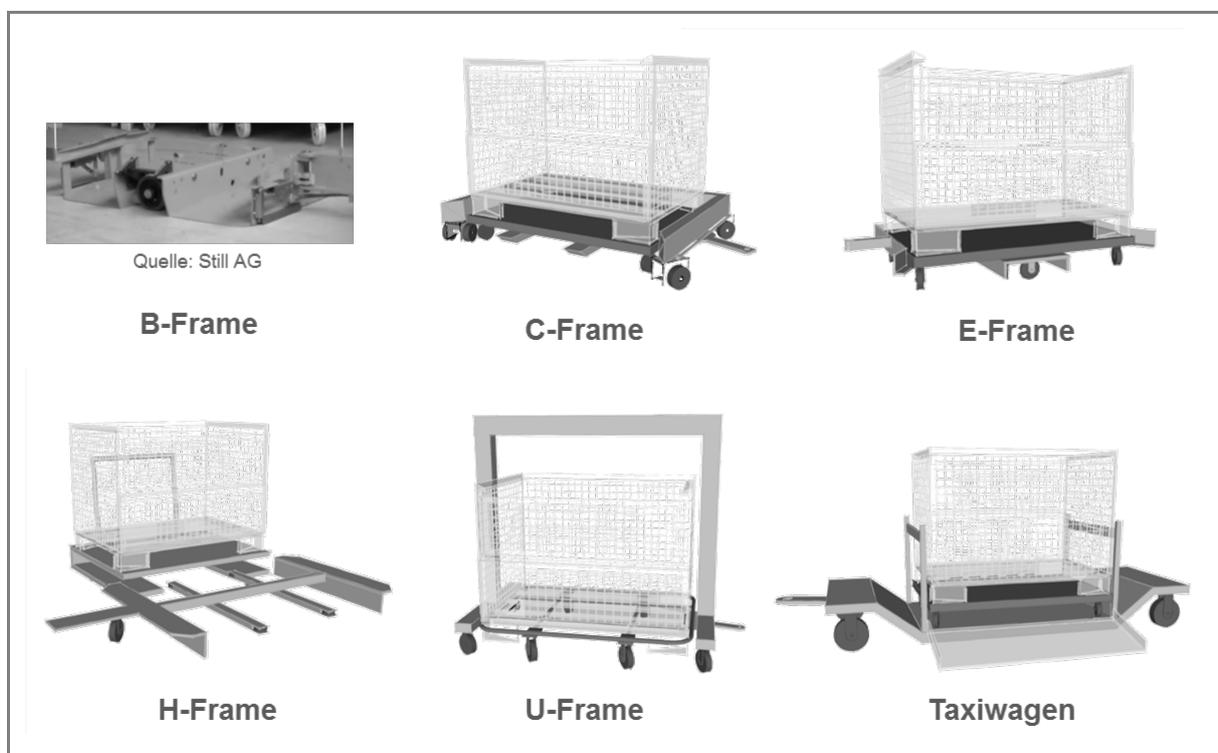


Abbildung 3: Routenzugtechniken der Oberkategorie Ein-/Aufschubkonzepte

Abhängig von der Bauform werden bei den Ein-/Aufschubkonzepten unterschiedliche Typen von „Frames“ sowie die „Taxiwagen“ unterschieden. Bei „B-Frame“ und „C-Frame“ erfolgt ein aktives Ausheben der Transporthilfsmittel durch einen hydraulischen, pneumatischen oder elektrischen Hubmechanismus der Anhänger.

Bei „E-Frame“ und „U-Frame“ existieren Realisierungen mit oder ohne Hubmechanismus und bei „H-Frame“ und „Taxiwagen“ sind keine Ausführungen mit einem aktiven Hubmechanismus der Anhänger bekannt.

### **Rollenverschiebesystem**

Das Charakteristikum von Rollenverschiebesystemen sind die auf den Routenzuganhängern sowie an den Bereitstellorten installierten Rollenbahnen, die eine direkte Übergabe von Ladungsträgern ermöglichen. Unterschieden werden Rollenverschiebesysteme mit fester Deichsel und Systeme, die aufgrund einer flexiblen Deichsel ein Querverschieben der Anhänger auf der Deichsel ermöglichen. Das Querverschieben kann zum Ansteuern von zwei nebeneinander platzierten Rollenbahnen ohne erforderliches Verfahren des kompletten Routenzugs eingesetzt werden.

### **Niederflurkommissionierer**

Die ausschließlich für die Bereitstellung von Kleinladungsträgern eingesetzten Niederflurkommissionierer stellen einen Sonderfall unter den Routenzugtechniken dar, da sie zu verfahrenende KLT-Transporthilfsmittel auf einer Hubgabel aufnehmen und somit keine separaten Anhänger erforderlich sind.

Neben dem „Standard-Niederflurkommissionierer“ werden in der Praxis ebenfalls „Niederflurkommissionierer mit Hubtisch“ eingesetzt, die den Mitarbeiter insbesondere bei der Bereitstellung von KLT mit hohen Gewichten durch eine angetriebene Höhenverstellung eines Tisches unterstützen können.

Da für die vorgestellten Oberkategorien und deren Ausprägungen wiederum eine Vielzahl unterschiedlicher Varianten sowie herstellerepezifische Unterschiede existieren, wird im Rahmen des Forschungsprojekts IntegRoute ein detaillierter Marktüberblick erarbeitet.

## **3. Dimensionierung von Planungsvarianten**

Für einen umfassenden Vergleich der gebildeten Planungsvarianten wird für alle Planungsvarianten eine komplette Dimensionierung des Routenzugsystems durchgeführt.

Diese besteht aus den zentralen Elementen der Bestimmung der Anzahl von Routenzügen und Mitarbeitern sowie der Berechnung des erforderlichen Flächenbedarfs der Routenzugsysteme.

Als Basis der Berechnung der Anzahl von Routenzügen und Mitarbeitern kommt der Bestimmung der Zykluszeit der Routenzug-Touren eine zentrale Bedeutung zu. Die Ermittlung der Zykluszeit erfolgt unter Einsatz von Methods Time Measurement (MTM), einem System vorbestimmter Zeiten [2]. Die Verwendung von MTM erlaubt eine detaillierte Modellierung der Unterschiede zwischen Technik- und Prozessvarianten; so können beispielsweise zwölf Beladungsprozesse mit den in Kapitel 1 vorgestellten 14 Routenzugtechniken mit weiteren Untervarianten kombiniert werden.

Nach der technik- und prozessspezifischen Bestimmung der Zykluszeit kann unter Berücksichtigung von Steuerung und Prozess die Anzahl der erforderlichen Systemelemente bestimmt werden. Dieses beinhaltet technische Elemente wie Schlepper, Anhänger, Transporthilfsmittel, Gabelstapler oder Infrastruktur an Quellen und Senken, aber auch im System benötigte Mitarbeiter wie Routenzugfahrer und Gabelstaplerfahrer.

Als zweites zentrales Element der Dimensionierung von Planungsvarianten wird eine Berechnung der von den Routenzugsystemen benötigten Flächen durchgeführt. Die Flächenberechnung berücksichtigt sowohl Flächen an der Quelle, auf dem Fahrweg als auch an den Senken. Die Flächenberechnung an Quelle, Fahrweg und Senken erfolgt jeweils auf Basis parametrisierbarer Layouts, wodurch Routenzuganzahl, Abmessungen und Anzahl von Anhängern, Prozessvarianten sowie diverser Unternehmensvorgaben bei der Flächenberechnung einbezogen werden können.

#### **4. Ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten**

Nach der erfolgten Dimensionierung der Planungsvarianten ist zur Vorbereitung einer Entscheidung die Bewertung der Planungsvarianten erforderlich. Zum einen wird für alle Planungsvarianten eine dynamische Investitionsrechnung durchgeführt, die auf Basis hinterlegter Kostensätze und projektspezifischer Vorgaben des Planers eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Planungsvarianten ermöglicht.

Zum anderen werden im entwickelten Planungsvorgehen – um das Ziel einer ganzheitlichen Bewertung von Planungsvarianten zu erreichen – eine Vielzahl von nicht monetär quantifizierbaren Kriterien betrachtet, die den in Abbildung 4 dargestellten Oberkategorien zugeordnet wurden:

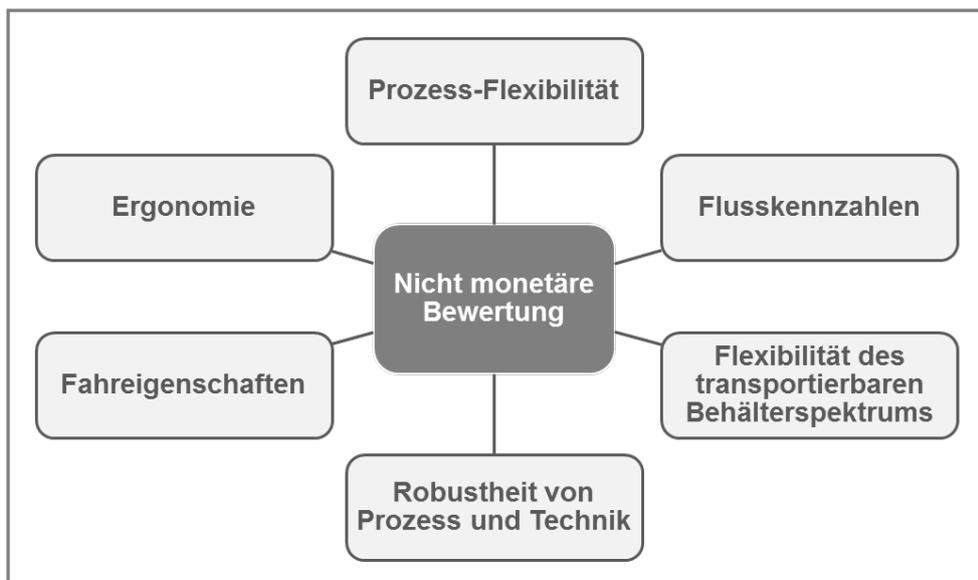


Abbildung 4: Oberkategorien der nicht monetären Bewertung von Planungsvarianten

In den sechs dargestellten Oberkategorien wird jeder Planungsvariante ein Punktwert zugewiesen, der auf Basis von durchschnittlich zehn jeweils betrachteten Unterkriterien und vom Planer anpassbaren Gewichtungsfaktoren berechnet wird. Exemplarisch werden im folgenden die Oberkategorien „Ergonomie“ und „Fahreigenschaften“ betrachtet.

Im Rahmen der Oberkategorie Ergonomie wird ein Risikowert für jede Planungsvariante unter Verwendung des im Forschungsverband KoBRA (Kooperationsprogramm zu normativem Management von Belastungen und Risiken bei körperlicher Arbeit) entwickelten „Multiplen Lasten Tools“ ermittelt [3].

Die Ergonomie-Bewertung wird ergänzt durch Messwerte aus mehrwöchigen Messreihen, die eine Abschätzung der zu erwartenden auf die Routenzugfahrer wirkenden Handkräfte erlauben. Die für die Messreihen eingesetzten Messgriffe ermöglichen eine parallele Messung der in den drei Raumachsen auftretenden Kräfte mit einer Messfrequenz von 50 Hertz [4]. Auf diese Weise ist eine Quantifizierung der bei Kurvenfahrten auftretenden Seitenführungskräfte – die stark von der eingesetzten Technik abhängen und durch klassische Bewertungsmethoden nicht quantifiziert werden können – möglich.

In der Oberkategorie Fahreigenschaften wird neben der maximal zulässigen Fahrgeschwindigkeit und dem erforderlichen Wenderadius die Spurtreue eines Routenzugsystems berücksichtigt. Um eine quantifizierbare Aussage über die Spurtreue

eines Routenzugs treffen zu können, wird „relative Spurbabweichung“, die auf Basis von Simulationen der Lenkkinematik ermittelt wird, verwendet [5].

Zur Auswahl der am besten geeigneten Planungsvariante werden dem Planer auf Basis der Wirtschaftlichkeitsrechnung und der nicht monetären Bewertung ermittelte Kennzahlen zur Verfügung gestellt. Da eine umfassende Abwägung unterschiedlicher Kennzahlen nur bis zu einer begrenzten Anzahl von Planungsvarianten und Kennzahlen möglich ist, wird der Planer durch eine hinterlegte Bewertungsmethodik unterstützt. Diese ganzheitliche Bewertung erfolgt unter Verwendung des Multi-Kriterien-Modells nach Ghandforoush [6] und ermöglicht – auf Basis von vom Planer individuell anpassbaren Gewichtungsfaktoren – die Aggregation einer Vielzahl von Kennzahlen zu einem Gesamtpunktwert (vgl. Abbildung 5).

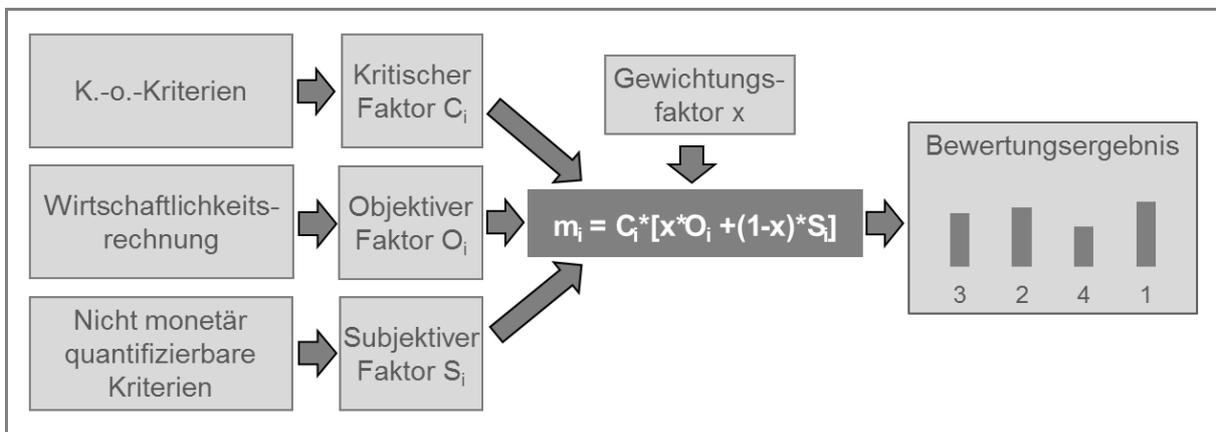


Abbildung 5: Ganzheitliche Bewertung von Planungsvarianten (i) unter Verwendung des Multi-Kriterien-Modells nach Ghandforoush

Der Gesamtbewertungsfaktor  $m_i$  einer Planungsvariante kann insbesondere bei einer großen Anzahl von zu vergleichenden Planungsvarianten eine Vorselektion der vom Planer zu vergleichenden Varianten ermöglichen. Die finale Entscheidungsfindung des Planers wird also durch das Zusammenspiel der bestimmten Gesamtbewertungsfaktoren  $m_i$  und zentralen, dem Planer zur Verfügung gestellten Kennzahlen (die oben beschriebenen Projektkosten, Ergonomie-Punktwert, ...) der Planungsvarianten, unterstützt.

Neben der bereits vorgestellten Wirtschaftlichkeitsrechnung und der Betrachtung der nicht monetär quantifizierbaren Kriterien werden in dem Multi-Kriterien-Modell nach Ghandforoush ebenfalls K.-o.-Kriterien betrachtet. Diese berücksichtigen die Themenkomplexe „Unternehmensvorgaben“, „Layoutanforderungen“ sowie das „zu transportierende

Behälterspektrum“ und führen bei Nicht-Erfüllung eines K.-o.-Kriteriums zu einem sofortigen Ausschluss der jeweiligen Planungsvariante.

## **5. Umsetzung des Planungsvorgehens in einem Software-Demonstrator**

In der Umsetzung des entwickelten Planungsvorgehens in einem Software-Demonstrator wird die Bildung von geeigneten Planungsvarianten durch hinterlegte Beispielsysteme und die Abbildung der in Kapitel 1 skizzierten Abhängigkeiten unterstützt. Realisiert wurde die Bildung von Planungsvarianten durch die Auswahl von Ausprägungen in einem morphologischen Kasten, der die Planungsfelder Technik, Prozess und Steuerung umfasst. Die in den Kapiteln 3 und 4 vorgestellte Dimensionierung und Bewertung der gebildeten Planungsvarianten ist im Software-Demonstrator abgebildet und erfolgt vollautomatisch. Im Rahmen der Bewertung der Planungsvarianten werden in unterschiedlichen Hierarchiestufen vom Planer anpassbare Gewichtungsfaktoren für die betrachteten Bewertungskriterien verwendet.

Zur Unterstützung der Entscheidungsfindung des Planers werden für die betrachteten Planungsvarianten die zentralen Kennzahlen in einem Kennzahlen-Cockpit dargestellt, sowie bei Bedarf dem Planer weitere Informationen in unterschiedlichen Detaillierungsebenen zur Verfügung gestellt. Die Informationsbereitstellung erfolgt neben der Darstellung von Kennzahlen durch die grafische Visualisierungen von Elementen wie beispielsweise der Projektgesamtkosten, der erforderlichen Investitionen und der nicht monetären Bewertung.

Als weiteres Hilfsmittel zur Auswahl der am besten geeigneten Planungsvariante hat der Planer die Möglichkeit, in Sensitivitätsanalysen das Bewertungsergebnis hinsichtlich der Robustheit auf eine Veränderung zentraler Eingabeparameter wie beispielsweise der Projektlaufzeit, der Personalkostensätze oder der Durchsatzanforderungen zu untersuchen.

Im finalen Schritt können in einer herstellerspezifischen Datenbank die am Markt verfügbaren Realisierungen der ausgewählten Routenzugtechniken recherchiert werden und geeignete Hersteller für eine Kontaktaufnahme ausgewählt werden.

Der Software-Demonstrator ermöglicht eine zeiteffiziente Anwendung des entwickelten Planungsvorgehens sowie auf Basis einer umfassenden Informationsbereitstellung für den Planer eine deutlichere Verbesserung der Grobplanung von Routenzugsystemen.

## **Förderhinweis**

Das IGF-Forschungsvorhaben IntegRoute (Fördernummer 18136 N) der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. wird über die ardAiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert.

## **Literatur**

- [1] 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.
- [2] Maynard, Harold B.; Zandin, Kjell B.: Maynard's industrial engineering handbook. 5.Aufl. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [3] Institut für Arbeitswissenschaft. (2007). Multiple-Lasten-Tool. <http://www.kobra-projekt.de/download/>. Heruntergeladen am 17.11.2015.
- [4] Post, M.; Jukt, 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.
- [5] Bruns, R.; Piepenburg, B.; Ulrich, S.; Krivenkov, K.: Simulationsgestützte Untersuchung der Spurtreue von Routenzügen. In: Logistics Journals: Proceedings, 2013.
- [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