

# Experimentelle Untersuchungen zur Ergonomie von Handschiebewagen in Routenzugsystemen

CHRISTOPHER KEUNTJE, M. SC., JENNIFER HEIB, B. SC., PATRICK GANGKOFNER, B. SC., PROF. DR.-ING. W. A. GÜNTNER

*Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München*

**ZUSAMMENFASSUNG:** In einer Probandenstudie mit 42 Teilnehmern wurden im Rahmen des Forschungsprojekts IntegRoute am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml) der Technischen Universität München Untersuchungen zur Ergonomie in Routenzugsystemen durchgeführt. Auf Basis der Messung der von Routenzugfahrern beim manuellen Verfahren von Großladungsträgern aufzubringenden Handkräfte sowie der auftretenden Beschleunigungen erfolgte eine Analyse unterschiedlicher Routenzugtechniken und technischer Gestaltungsmöglichkeiten. Im vorliegenden Beitrag wird der Einfluss von Rollenmaterial, -durchmesser und -anordnung auf die Ergonomie von Handschiebewagen, die als Teil eines Ein-/ Aufschubkonzepts zusätzlich zu Routenzuganhängern benötigt werden, untersucht.

## 1. AUSGANGSSITUATION

Durch Routenzugsysteme wird in einer steigenden Zahl von Unternehmen eine hochzyklische Materialversorgung mit kleinen Losgrößen realisiert. Dennoch haben sich bisher keine Standards für Routenzugtechnik und -prozess etabliert und auch die Planung von Routenzugsystemen erfolgt oftmals „intuitiv“ ohne den Einsatz einer routenzugspezifischen Planungsmethodik [Gün-12].

Im Rahmen des Forschungsprojekts IntegRoute, dessen Vorstellung in dem zur 11. Hamburger Staplertagung herausgegebenen Forschungskatalog Flurförderzeuge 2016 zu finden ist, wurde daher ein Vorgehen für die Planung von Routenzugsystemen entwickelt. Das Vorgehen ermöglicht eine integrierte Planung von Technik, Prozess und Steuerung eines Routenzugsystems sowie die Bewertung von generierten Planungsvarianten unter ganzheitlichen Aspekten.

Einen zentralen Aspekt der entwickelten ganzheitlichen Bewertungsmethodik stellt die Bewertung der Ergonomie von Routenzügen dar, da beispielsweise bei der Bereitstellung von Großladungsträgern vom Routenzugfahrer Gewichte von 600 Kilogramm und mehr zu manipulieren sind.

Die ergonomische Gestaltung von Routenzugsystemen kann neben dem generellen Senken der körperlichen Belastung der Mitarbeiter dabei helfen, Arbeitnehmer auch im höheren Alter noch in der Logistik zu beschäftigen. Durch den demographischen Wandel sinkt in der westlichen Welt zum einen die Zahl der Erwerbstätigen, zum anderen werden in Deutschland bis zum Jahr 2020 bereits 45 Prozent der Beschäftigten älter als 50 Jahre sein [Rei-15]. Für Unternehmen, welche auch diese Altersgruppe uneingeschränkt einsetzen und daher auf einen deutlich größeren Kreis potentieller Mitarbeiter zurückgreifen können, ergibt sich somit ein klarer Wettbewerbsvorteil.

In Vorarbeiten wurden am Lehrstuhl fml in Kooperation mit dem Volkswagen-Konzern und dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) orientierende Messungen der von Routenzugfahrern aufzubringenden Körperkräfte durchgeführt. In Abbildung 1 wurden die Messergebnisse anhand der ISO 11228-2 beurteilt und einer Ergonomiebewertung auf Basis eines etablierten Verfahrens, das auf den Leitmerkmalmethoden der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin [Bun-01] aufbaut, gegenübergestellt. Die Bewertung erfolgte unter Verwendung des Multiple-Lasten-Tools (MLT), das im Rahmen des KoBRA-Projekts (Kooperationsprogramm zu normativem Management von Belastungen und Risiken bei körperlicher Arbeit) am Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt entwickelt wurde [Bru-10].

Zu manipulierender Wagen-Typ	Leitmerkmalmethode (Multiples Lastentool)	Losbrechkraft [N] (Initial Force $F_{p95}$ )
Wagen mit 4 Lenkrollen	26,1 	366 
Wagen mit 1 Bockrolle	23,0 	262 
Wagen mit 2 Bockrollen	23,0 	273 
Anhänger mit Rollenbahn	23,0 	155 

Gesamtgewicht: 500kg; Frequenz: 1 / 5min

Grenzwert ISO-11228: 270 N

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

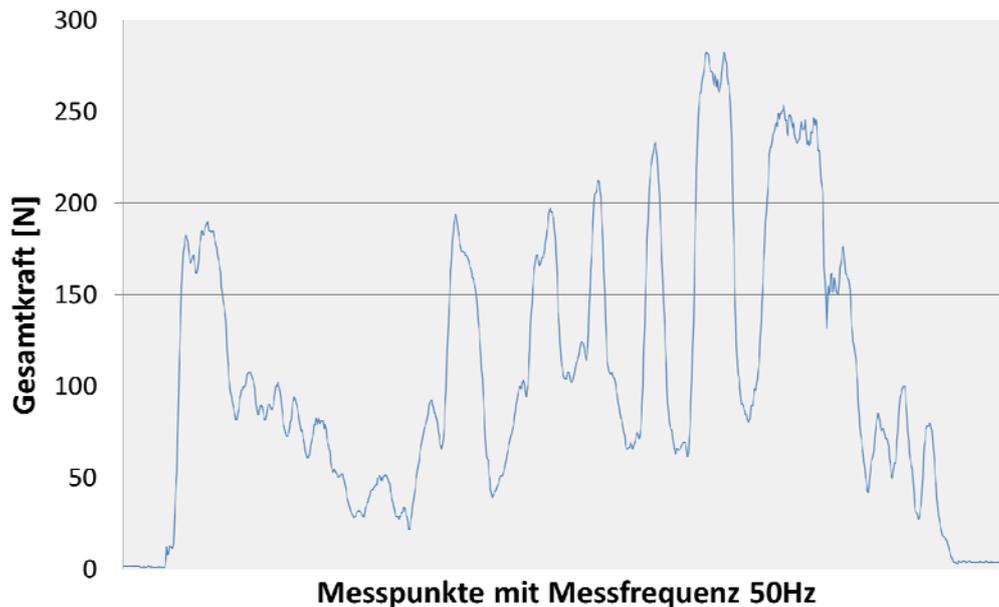
Die Gegenüberstellung macht deutlich, dass etablierte Verfahren zur Ergonomiebewertung wie die Leitmerkmalmethoden, die als „Ampelbewertung“ von Arbeitsplätzen in vielen Unternehmen zum Einsatz kommen, beim manuellen Verfahren von Wagen mit hohen Gewichten an ihre Grenzen stoßen. Der deutliche Einfluss der verwendeten Routenzugtechnik auf die vom Routenzugfahrer aufzubringenden Körperkräfte schlägt sich nur unwesentlich in der etablierten Ergonomiebewertung wieder.

Ein verbreitetes Verfahren zur Aufnahme der Belastungen der Mitarbeiter unter Berücksichtigung der im Unternehmen eingesetzten Routenzugtechnik sind Kraftmessungen mit Federwaagen. Hierbei wird eine Federwaage an einem Handschiebewagen befestigt und über diese langsam und gleichmäßig Kraft aufgebracht bis sich der Handschiebewagen in Bewegung setzt. Durch den einfachen Messaufbau sind Messungen mit Federwaage zum Anfahren und auf geraden Streckenabschnitten leicht durchzuführen. Der bewusst gleichmäßig gehaltene Bewegungsablauf soll zudem eine bestmögliche Reproduzierbarkeit ermöglichen.

Da jedoch nur Kräfte in eine Richtung übertragen werden können, ist es nicht möglich, auf diese Weise Kurvenfahrten, Steuertätigkeiten oder Abbremsvorgänge abzubilden.

Betrachtet man den Kraftverlauf einer Kurvenfahrt in Abbildung 2, in welchem Kraftkomponenten in drei Raumachsen berücksichtigt wurden, so wird deutlich, dass die maximalen Kräfte nicht immer

beim Anfahren sondern durchaus auch im Rahmen von Steuertätigkeiten – beispielsweise bei Kurvenfahrten – auftreten können.



**Abbildung 2:** Verlauf der Gesamtkraft beider Hände während einer Kurvenfahrt mit vier Lenkrollen

Da eine Abbildung der skizzierten Effekte mit Federwaagen nicht möglich ist, wurde sich im Forschungsprojekt IntegRoute für die Verwendung von mit Drei-Achs-Messsystemen bestimmten Messwerten entschieden.

Weiterhin haben die durchgeführten Voruntersuchungen gezeigt, dass der Vergleich von Messungen mit unterschiedlichen Routenzugtechniken und unterschiedlichen Probanden äußerst schwierig ist. Um eine klare Identifikation des Effekts einzelner Einflussfaktoren zu ermöglichen, wurden im Rahmen des Forschungsprojekts IntegRoute umfangreiche Probandenversuche zu den auftretenden Handkräften durchgeführt.

Die Probandenversuche wurden mit insgesamt 42 Versuchspersonen durchgeführt, um beide Geschlechter, anthropometrische Unterschiede wie auch verschiedene Arbeitsausführungen berücksichtigen zu können. Unter den Versuchspersonen befanden sich neun Frauen; alle Versuchspersonen waren zwischen 16 und 58 Jahren alt. Insgesamt waren drei Linkshänder in den Versuchen vertreten.

## 2. MESSTECHNIK UND VERSUCHSOBJEKTE



**Abbildung 3:** Messtechnik am Handschiebewagen

Für die Messungen wurde das Handkraftmesssystem 9809A der Kistler Instrumente GmbH verwendet, siehe Abbildung 3. Dieses misst über fünf Sensoren je Handgriff die auftretenden Kräfte in drei Raumachsen mit einer Abtastfrequenz von 50 Hertz. [Kis-16]

Als Indikator für impulsartige Krafteinwirkungen wurden zusätzlich Beschleunigungsmessungen mit der Inertialsensorik eines Smartphones durchgeführt.

Der Rollenhersteller Wicke GmbH & Co. KG stellte für die Versuche eine Vielzahl von Rollensätzen zur Verfügung, die sich unter anderem in Rollenmaterial, Lenkgehäuse, Rollendurchmesser, Kissenform und Kissenstärke unterschieden. Eine Darstellung der in den Probandenstudien eingesetzten Rollensätze findet sich in Abbildung 4.



**Abbildung 4:** Verwendete Rollensätze

In den Versuchen wurden die folgenden Rollenmaterialien verwendet (siehe Abbildung 4):

- a) Polyamid (weiß)

- b) Vollgummi (grau)
- c) Polyurethan mit einer Shorehärte von 96 (weinrot)
- d) Polyurethan mit einer Shorehärte von 75 (hellrot)

Unter den eingesetzten Rollensätzen waren Rollen mit den Durchmessern 125, 160 und 200 Millimeter vorhanden. In Bezug auf die Kissenform wurde bei Polyurethanrollen zwischen flachen und balligen Kissen unterschieden. Flache Kissen wurden zudem mit dicker und dünner Kissenstärke in die Versuche aufgenommen. Zwei Lenkgehäuse mit Kugellagern – eines davon gehärtet – und ein Lenkgehäuse mit Präzisions-Rillenkugellager wurden verwendet. Anstelle von fest installierten Bockrollen kamen Lenkrollen mit Richtungsfeststellern zum Einsatz.

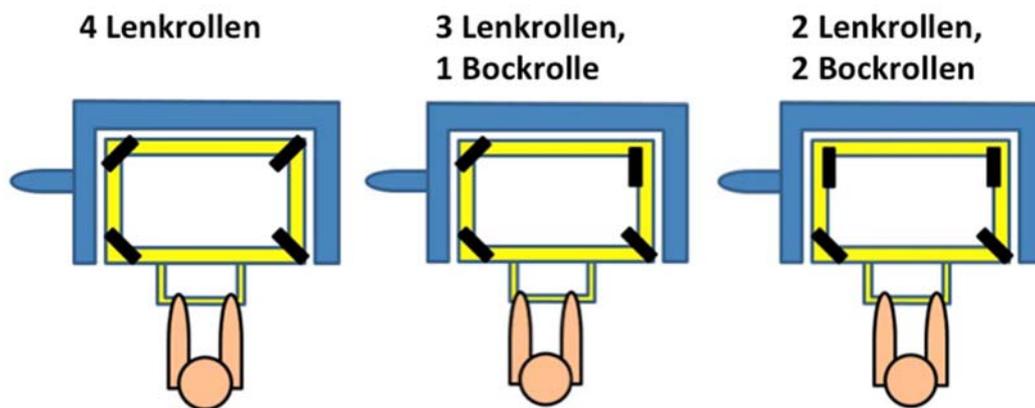
Die erwähnten Vorversuche in Kooperation mit dem Volkswagen-Konzern hatten ergeben, dass der Bodenbelag – solange praxistypische Industrieböden verwendet werden – keinen signifikanten Einfluss auf die Kräfte beim Ziehen und Schieben hat. Daher wurden alle Versuche auf glattem Estrich durchgeführt.

Insgesamt wurden drei Grundplatten unterschiedlicher Größe für die Messungen genutzt; dabei handelte es sich um eine 4Dflexiplat der Firma KMK Miller und zwei Handschiebewagen der Firma LR Intralogistik GmbH.

Im vorliegenden Beitrag werden ausschließlich die Ergebnisse der Grundplatte mit einer Größe von 1200x800 Millimeter betrachtet; ebenso nur das Lenkgehäuse mit gehärtetem Kugellager.

Basierend auf bei Industriepartnern durchgeführten Prozessanalysen wurden Versuchsparcours festgelegt, die alle für die unterschiedlichen Routenzugtechniken und -prozesse relevanten Handhabungsschritte beinhalten. Dabei sind Zieh- und Schiebevorgänge, Geradeaus- und Kurvenfahrten sowie verschiedene Ausgangsstellungen der Rollen berücksichtigt worden.

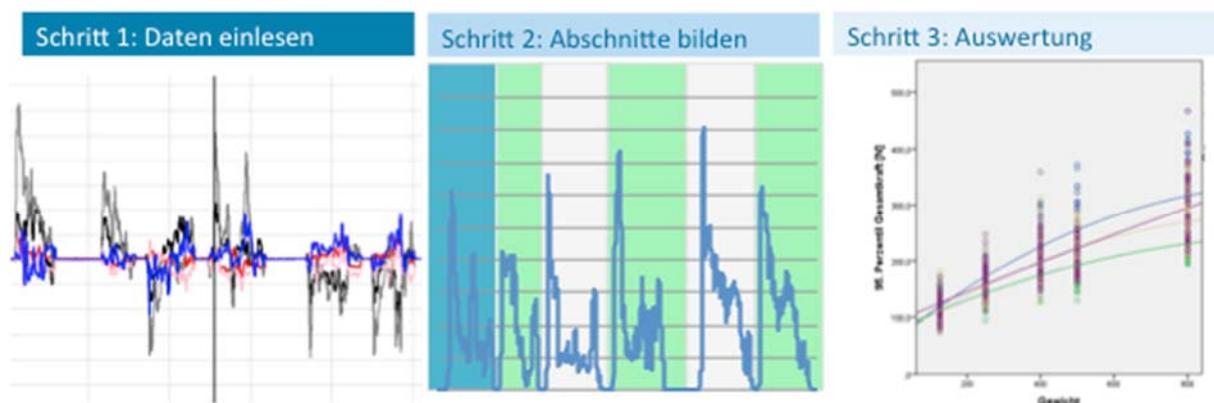
Die folgenden Auswertungen beziehen sich auf drei Rollenanordnungen für Handschiebewagen, die bei als Ein-/ Aufschubkonzept ausgeführten Routenzuganhängern zusätzlich zum Anhänger erforderlich sind (vgl. Abbildung 5).



**Abbildung 5:** Rollenanzahlungen für Handschiebewagen

### 3. ANALYSE DER MESSDATEN

Bevor aus den Messergebnissen Schlussfolgerungen gezogen werden konnten, war eine Aufbereitung der Daten erforderlich; Abbildung 6 beschreibt diesen Prozess.



**Abbildung 6:** Einzelschritte in der Datenanalyse

Zunächst wurden die Rohdaten aus dem Messsystem mit einer Spezialsoftware in ein für die weiteren Analysen geeignetes Dateiformat konvertiert. Mit Hilfe der Software MATLAB wurde aus den Messwerten der einzelnen Sensoren die Gesamtkraft berechnet, die Messungen in einzelne Parcoursabschnitte unterteilt und diverse Kennzahlen berechnet. Die statistische Auswertung der für die Parcoursabschnitte ermittelten Kennzahlen erfolgte unter Verwendung des Programms IBM SPSS Statistics.

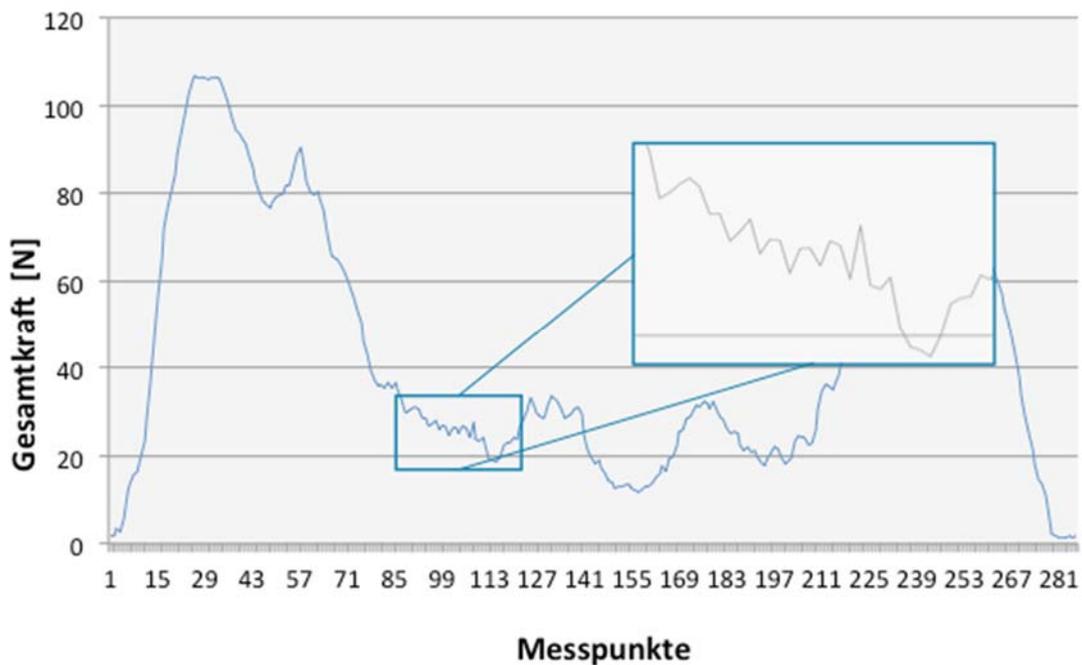
Die ISO 11228-2 definiert die Initial Force als die Kraft, welche erforderlich ist, um ein Objekt in Bewegung zu bringen oder die Fahrtrichtung zu ändern. Die erforderliche Kraft um ein Objekt in Bewegung zu halten wird als Sustained Force bezeichnet. [ISO 11228-2]

Im Folgenden wird das 95. Perzentil der Gesamtkraft beider Hände als Messwert für die Initial Force verwendet; die Sustained Force kann über das 50. Perzentil der Gesamtkraft beider Hände dargestellt werden [Gli-14]. Da die manuell zu schiebenden Strecken bei Routenzügen jedoch sehr kurz sind und in der Versuchsreihe die Grenzwerte für die Sustained Force deutlich seltener überschritten wurden als

die Grenzwerte der Initial Force, beschränkt sich die Auswertung der Kraftmessung im vorliegenden Beitrag auf die Initial Force.

#### DEFINITION EINER KENNZAHL ZUR FAHRUNRUHE

In der Versuchsreihe fielen bei mehreren Konfigurationen störende Vibrationen und Stöße im Verlauf der Versuchsfahrt auf. Um diesen subjektiven Eindruck fundiert diskutieren zu können, wurde die Kennzahl der Fahrruhe entwickelt, über welche die Schwankungen im Gesamtkraftverlauf – wie in Abbildung 7 zu sehen – verglichen werden können.



**Abbildung 7:** Schwankungen im Gesamtkraftverlauf

Diese Kennzahl beschreibt die Abweichung der Gesamtkraft vom gleitenden Mittelwert der Gesamtkraft über drei Messpunkte. Für diese Abweichung wird der Mittelwert über den gesamten Abschnitt gebildet und über den Mittelwert der Gesamtkraft für den Abschnitt normiert. Für die weitere Auswertung erfolgte eine weitere Normierung des Werts mit dem Multiplikator 4000, um eine Kennzahl mit Werten zwischen 0 und 100 zu erhalten (siehe Formel 3-1).

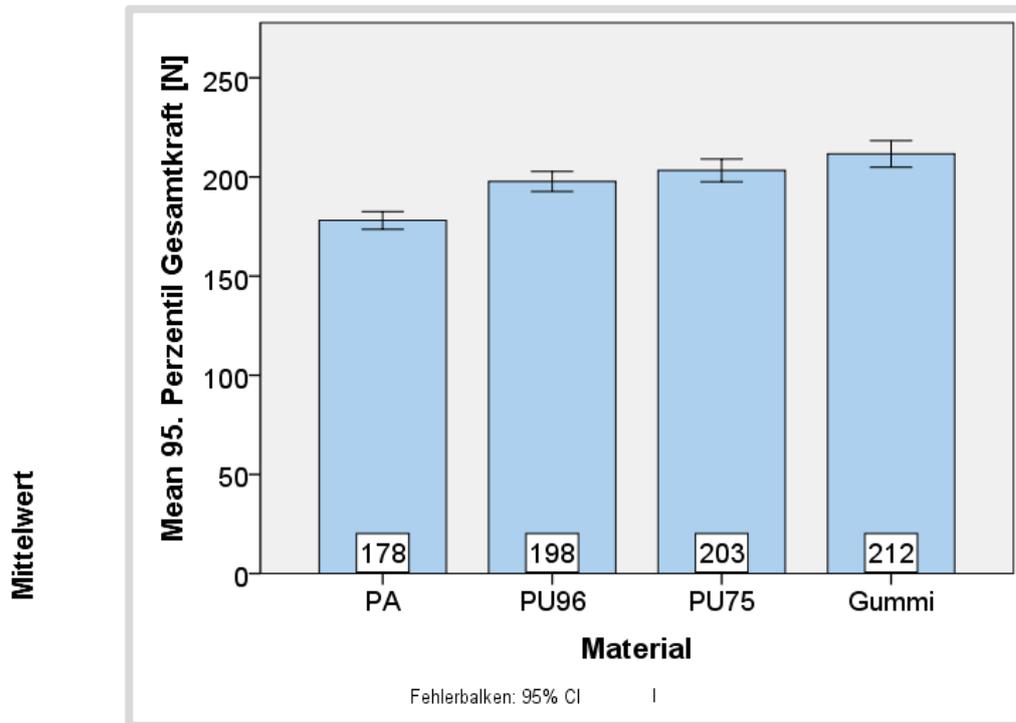
$$\frac{MW \left| y(n) - \frac{1}{3} \sum_{i=n-1}^{n+1} y(i) \right|}{MW(y(n))} * 4000 \quad \text{Formel 3-1}$$

#### 4. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN

Im folgenden Kapitel wird der Einfluss von Rollenmaterial, -durchmesser und -anordnung auf die Ergonomie in Routenzugsystemen untersucht.

#### 4.1 EINFLUSS DES ROLLENMATERIALS

In Abbildung 8 sind die Mittelwerte der Initial Force für verschiedene Rollenmaterialien dargestellt. Diese wurden für alle Materialien mit fünf verschiedenen Gewichtsstufen und drei Rollenarrangements gemessen. Bei den Rollenarrangements handelt es sich um „4 Lenkrollen“ sowie um „2 Lenk-/ 2 Bockrollen“ in den Varianten für Ein-/ Aufschubkonzepte und Transportwagen.



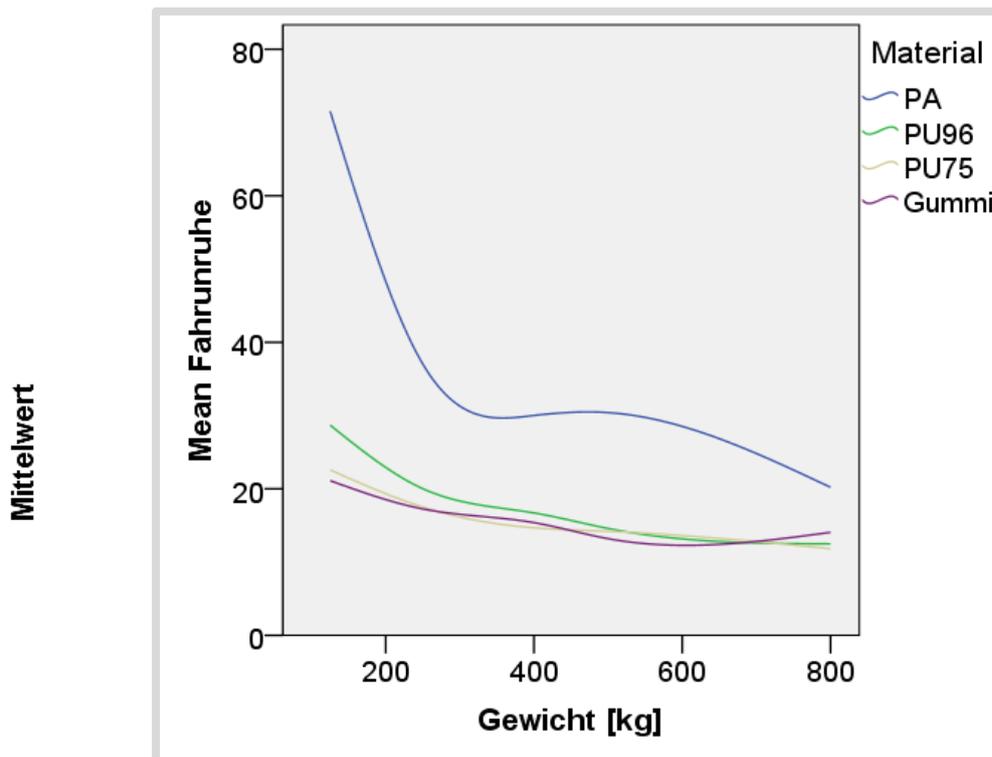
**Abbildung 8:** Initial Force in Abhängigkeit des Rollenmaterials (n = 2448 Messungen)

Hierbei ließ sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Initial Force und Rollenmaterial nachweisen, da sich die Werte der Initial Force von Polyamidrollen deutlich von denen bei anderen Rollenmaterialien unterscheiden ( $H(3) = 56,892$  ;  $p = 0,000$ ).

Die in Klammern angegebene Notation basiert auf dem Kruskal-Wallis-Test und gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit  $p$  die Nullhypothese  $H_0$  zutrifft ( $H_0$  = Die Verteilung der Initial Force ist für alle Rollenmaterialien identisch). Der Wert von  $p = 0,000$  sagt damit aus, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von unter 0,1 Prozent kein Zusammenhang zwischen dem Rollenmaterial und der gemessenen Initial Force besteht (vgl. [Hat-09]).

Das Anfahren sowie Richtungsänderungen können bei harten Rollen mit weniger Kraftaufwand erfolgen, da weniger Verformungsarbeit im Rollenbelag geleistet werden muss.

Neben der Initial Force wurde ebenfalls die in Kapitel 3 vorgestellte Kennzahl der Fahrruhe, die in Abbildung 9 dargestellt ist, untersucht.

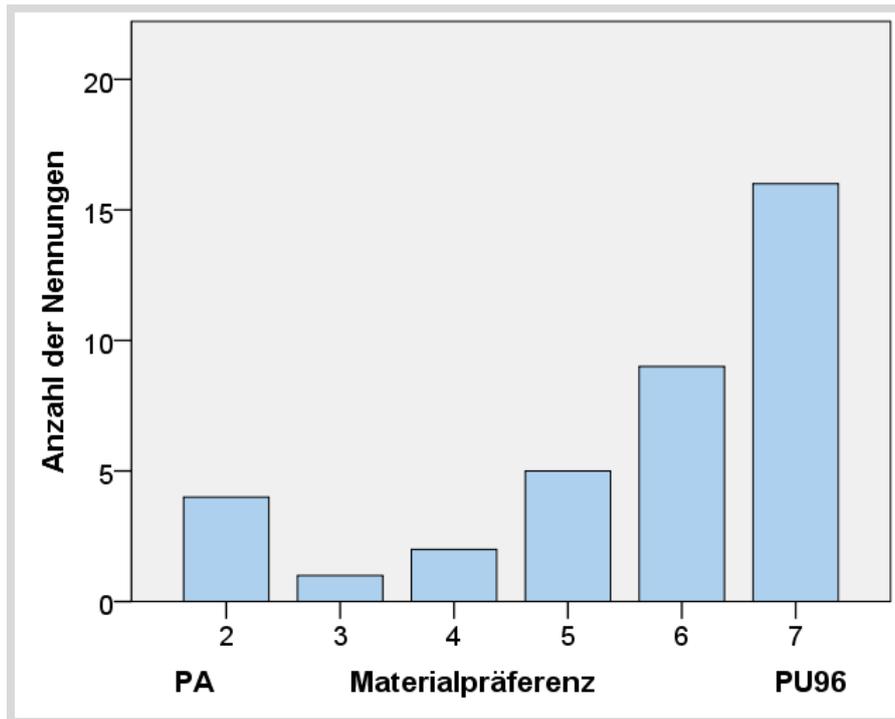


**Abbildung 9:** Fahrruhe in Abhängigkeit des Rollenmaterials (n = 4226 Messungen)

Die Grafik stellt den Mittelwert der Fahrruhe über das zu bewegende Gesamtgewicht für verschiedene Rollenmaterialien dar. Datengrundlage hierfür sind zehn Rollenarrangements für Ein-/Aufschubkonzepte und Transportwagen sowie fünf verschiedene Gewichtsstufen.

Das Rollenmaterial hat einen signifikanten Einfluss auf die Fahrruhe ( $H(3) = 1275,6$  ;  $p = 0,000$ ). Härtere Rollen, insbesondere aus Polyamid, führen aufgrund geringerer Dämpfung zu einer höheren Fahrruhe. Ebenso hat das Gesamtgewicht des Handschiebewagens einen dämpfenden Einfluss auf die Fahrruhe; die Kennzahl sinkt mit steigendem Gewicht.

Im Anschluss an die Versuche mit Polyamid- und Polyurethanrollen mit 96 Shore wurden die Probanden mithilfe einer siebenstufigen Skala zu ihrem bevorzugten Rollenmaterial befragt; die Ergebnisse sind Abbildung 10 zu entnehmen.

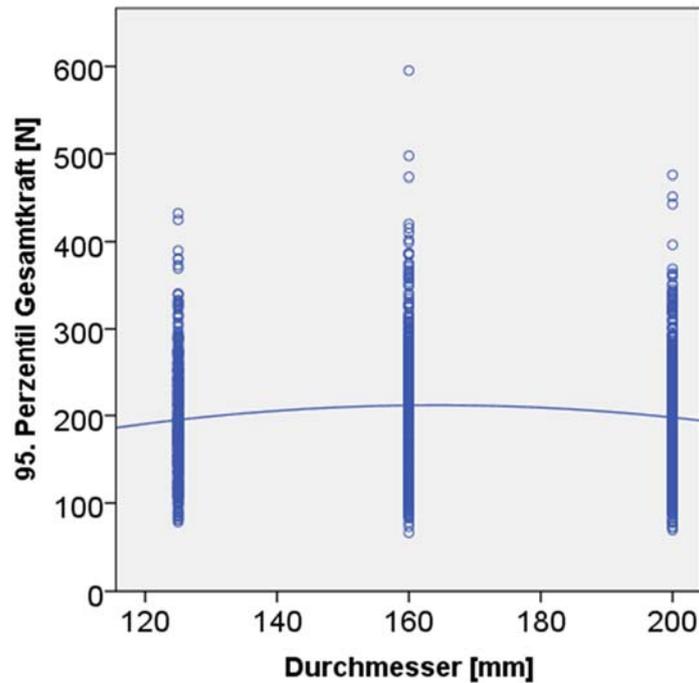


**Abbildung 10:** Materialpräferenz der Probanden (n = 37 Probanden)

Die Probanden bevorzugten in 75 Prozent der Fälle Polyurethanrollen gegenüber Polyamidrollen. Hier wird deutlich, dass für die Befragten die erforderliche Kraft nicht das einzige Kriterium ihrer Entscheidung darstellte, sondern auch andere Faktoren einfließen. Neben der bereits erläuterten Fahrruhe unterscheiden sich die Rollenmaterialien in weiteren nicht-monetären Aspekten wie beispielsweise der Lärmentwicklung durch die Rollen oder der Schmutzaufnahme. Im Rahmen der durchgeführten Probandenstudie erfolgte keine detaillierte Betrachtung dieser Aspekte.

#### **4.2 EINFLUSS DES ROLLENDURCHMESSERS**

In der Versuchsreihe wurde der Rollendurchmesser mit Polyurethanrollen mit einer Härte von 96 Shore für Ein- und Aufschubkonzepte mit vier Lenkrollen sowie zwei Lenk- und zwei Bockrollen untersucht. Der Einfluss des Durchmessers auf die Initial Force ist in Abbildung 11 dargestellt.



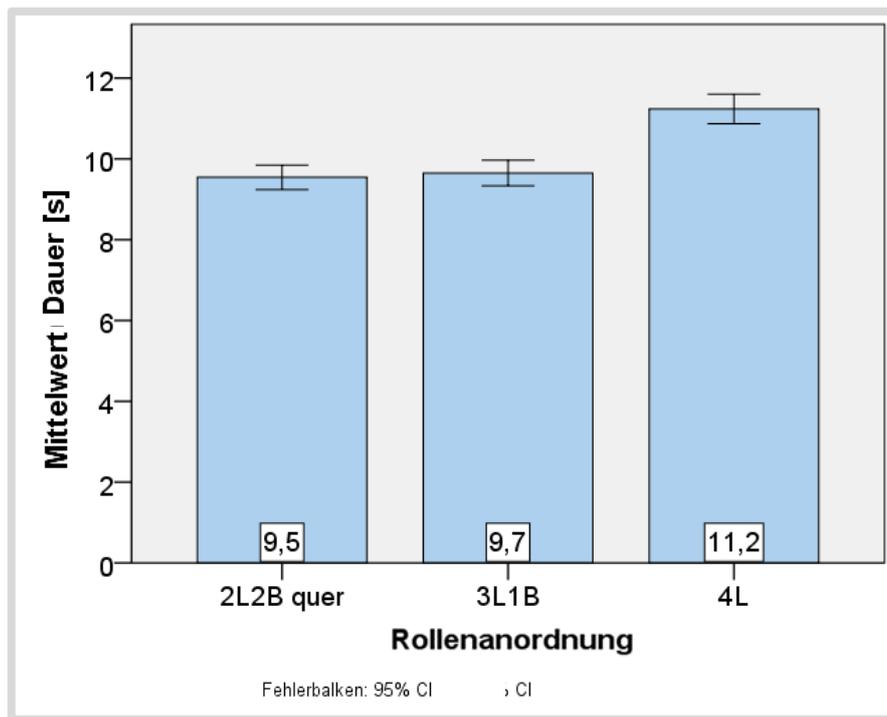
**Abbildung 11:** Initial Force in Abhängigkeit des Rollendurchmessers (n = 1548 Messungen)

Für die Initial Force konnten über den Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman keine signifikanten Unterschiede bei wechselndem Durchmesser festgestellt werden ( $r = 0,09$ ;  $p = 0,711$ ). Das gewählte Signifikanzniveau von 0,05 wurde mit  $p = 0,711$  deutlich überschritten. Dieses Ergebnis bestätigt die Vorversuche, in denen ebenfalls kein Einfluss des Rollendurchmessers auf die gemessenen Kräfte gefunden werden konnte.

Festzuhalten ist jedoch, dass alle Versuche auf ebenem Industrieboden durchgeführt wurden. Falls im konkreten Einsatzszenario das Befahren von Teerboden, Kopfsteinpflaster o. Ä. erforderlich ist oder wenn Unebenheiten wie Schlaglöcher oder Dehnfugen überwunden werden müssen, ist der Einfluss des Rollendurchmessers unter den spezifischen Randbedingungen erneut zu prüfen.

#### 4.3 EINFLUSS DER ROLLENANORDNUNG

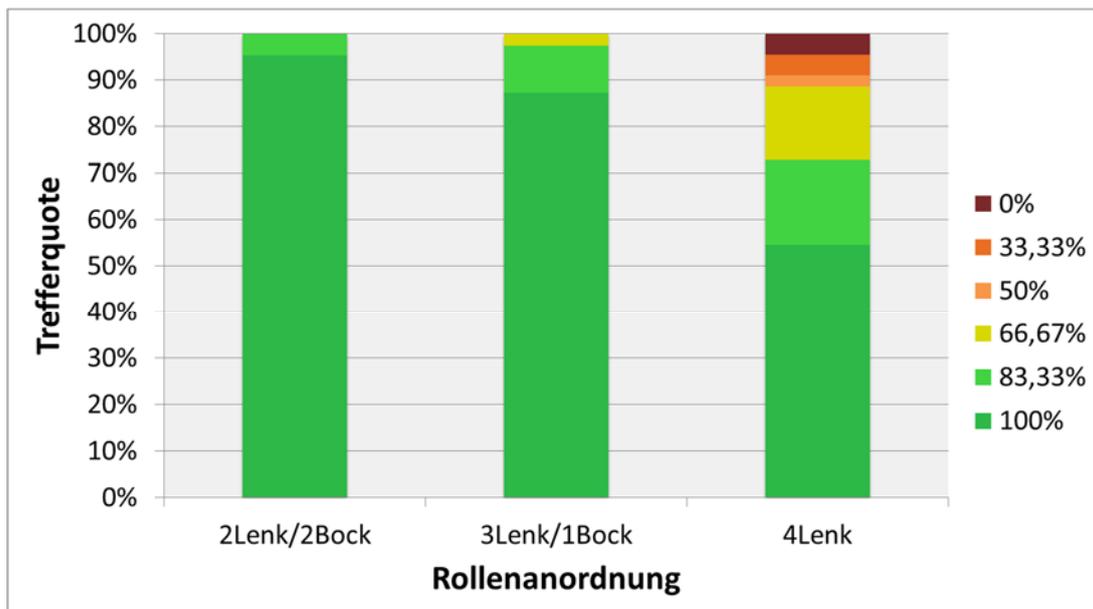
Die Rollenanzahl der Handschiebewagen hat einen erheblichen Einfluss auf die Vorgangszeit, da diese mit vier Lenkrollen signifikant höher ist als bei der Verwendung von Bockrollen ( $H(2) = 56,272$ ;  $p = 0,000$ ). Abbildung 12 veranschaulicht dies für ein Gesamtgewicht von 500 Kilogramm und Polyurethanrollen mit einer Härte von 96 Shore.



**Abbildung 12:** Vorgangsdauer in Abhängigkeit der Rollenanordnung (n = 600 Messungen)

Es ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei dem mittleren gemessenen Zeitunterschied von ca. zwei Sekunden zwischen der Anordnung mit vier Lenkrollen und den Anordnungen mit Bockrolle(n) um den Zeitbedarf für nur einen Handhabungsschritt handelt. Für einen kompletten 1:1-Tausch von Vollgut gegen Leergut beim 2-Behälter-Prinzip mit Hintereinander-Anstellung der Großladungsträger sind beispielsweise fünf einzelne Handhabungsschritte erforderlich. Somit kann die Wahl der Rollenanordnung pro bereitgestelltem Großladungsträger einen Zeitunterschied von bis zu zehn Sekunden ausmachen.

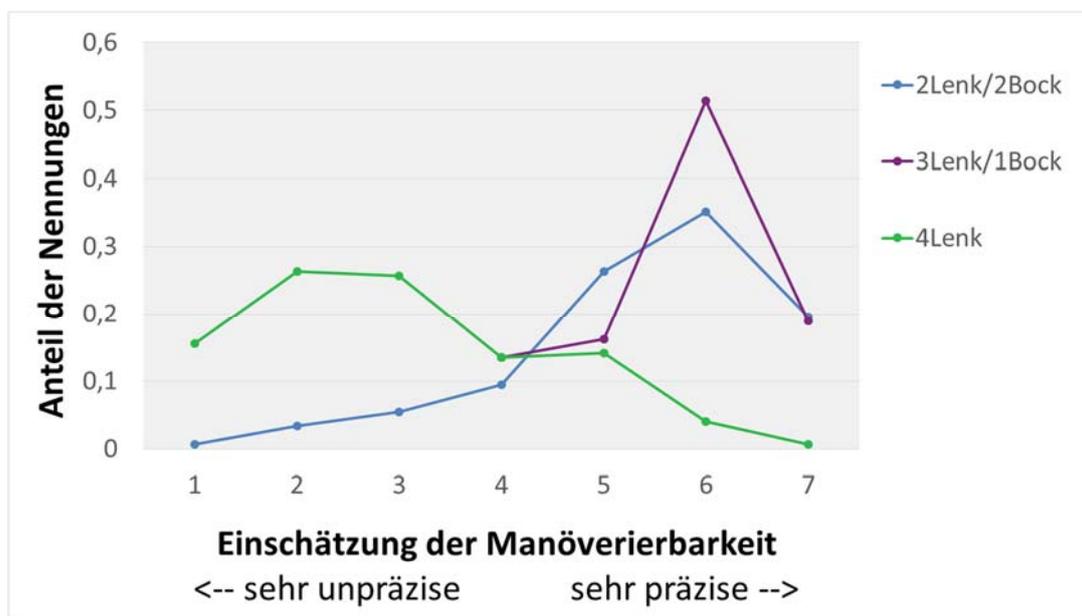
Weiterhin wurde in einer ersten Versuchsreihe festgestellt, dass die Anzahl der exakt angefahrenen Zwischenhalte im Versuchsparcours stark von der gewählten Rollenanordnung abhing, wie Abbildung 13 zu entnehmen ist.



**Abbildung 13:** Trefferquote in Abhängigkeit der Rollenordnung  
(n = 132 Versuchskonfigurationen)

Während bei Rollenordnungen mit Bockrolle(n) eine hohe Trefferquote erzielt werden konnte, wurde für die Anordnung mit 4 Lenkrollen bei knapp 30 Prozent der Versuchsdurchführungen weniger als zwei Drittel der im Parcours anzusteuern den Haltepositionen korrekt erreicht.

Zur weiteren Untersuchung dieses Zusammenhangs wurden in einer zweiten Versuchsreihe 37 Versuchspersonen in einem Fragebogen um ihre Einschätzung gebeten, wie präzise sich der Handschiebewagen manövrieren lässt; die Ergebnisse sind in Abbildung 14 dargestellt.

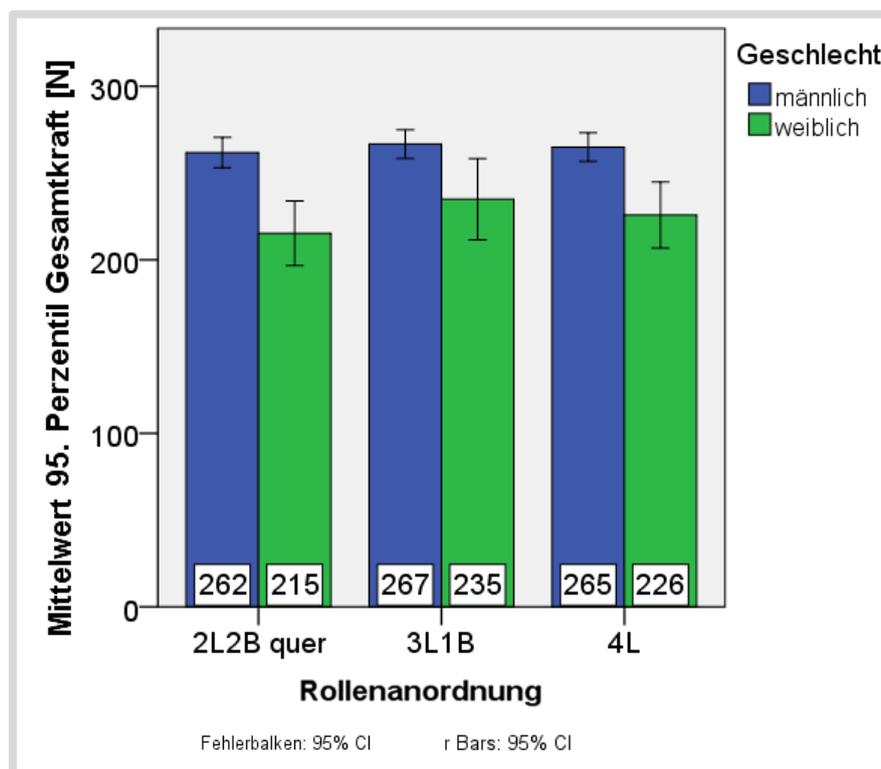


**Abbildung 14:** Einschätzung der Manövrierbarkeit in Abhängigkeit der Rollenordnungen  
(n = 333 Versuchskonfigurationen)

Hier ergibt sich auf Basis einer Varianzanalyse ein signifikanter Unterschied in der Einschätzung der Manövrierbarkeit der Anordnung mit vier Lenkrollen im Vergleich zu den beiden anderen Rollenanordnungen ( $F(2,330) = 144,364$  ;  $p = 0,000$ ). Die Rollenanordnung mit vier Lenkrollen wurde als deutlich unpräziser bewertet als Anordnungen mit mindestens einer Bockrolle.

Dies erklärt sich dadurch, dass Bockrollen ein Ausbrechen des Handschiebewagens erschweren, da sie eine gewisse Spurführung in Fahrtrichtung bieten. So kann der vorgesehene Fahrweg exakter eingehalten werden, und der Kraftaufwand für korrigierende Steuertätigkeiten sowie verlängerte Wege entfallen. Insbesondere für schwere Handschiebewagen kann durch den Einsatz von Bockrollen darüber hinaus die Gefahr von Zusammenstößen mit anderen Objekten reduziert werden.

Für Handschiebewagen mit Polyurethanrollen mit einer Härte von 96 Shore und einem Gewicht von 500 Kilogramm ist die Initial Force von 40 Versuchspersonen in Abbildung 15 dargestellt. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang von Rollenanordnung und Initial Force konnte dabei nicht nachgewiesen werden.



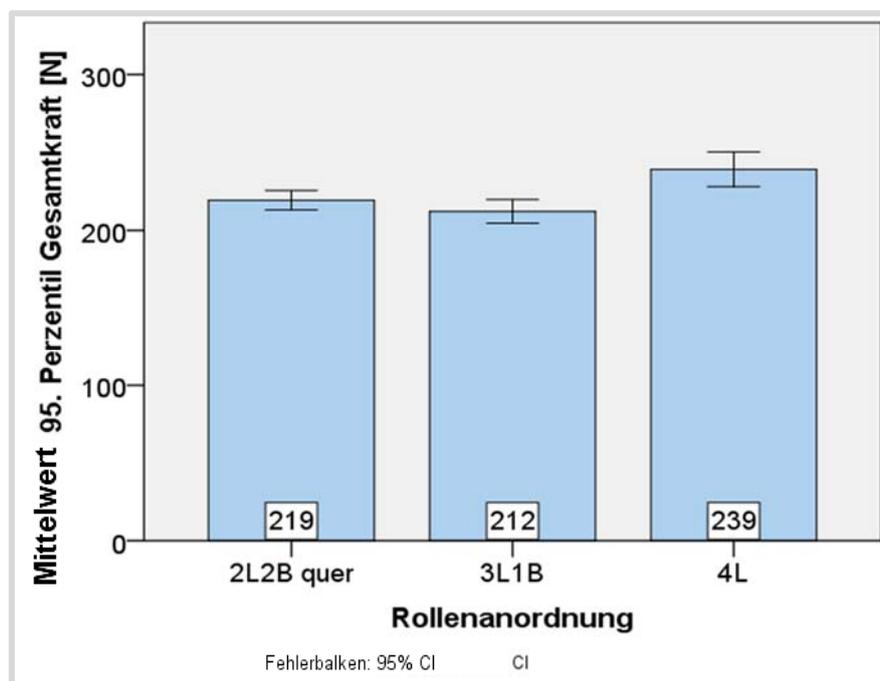
**Abbildung 15:** Initial Force in Abhängigkeit der Rollenanordnung (n = 600 Messungen)

Bei einer Befragung der Probanden nach Abschluss der Versuche, welche Rollenanordnung sie bevorzugen würden, ergab sich trotz ähnlicher Werte der Initial Force eine deutliche Präferenz von Anordnungen mit Bockrolle(n): Über 75 Prozent sprachen sich für drei Lenkrollen und eine Bockrolle aus; alle Übrigen wählten zwei Lenk- und zwei Bockrollen. Keiner der 37 Probanden entschied sich für vier Lenkrollen.

Die trotz der erschwerten Handhabung unauffälligen Werte der Initial Force bei vier Lenkrollen sind nach Einschätzung der Autoren dadurch begründet, dass die Probanden bei dieser Anordnung zu einer

deutlich reduzierten Geschwindigkeit bei der Arbeitsausführung tendieren. Bei der Durchführung von ersten Fahrversuchen mit vier Lenkrollen stellten Probanden fest, dass ein einmal ausgebrochener Wagen nur sehr schwer wieder eingefangen werden kann. In der Folge wird versucht, durch eine sehr vorsichtige und gleichmäßige Arbeitsweise ein Ausbrechen des Handschiebewagens von vornherein zu verhindern. Die damit verbundene schwächere Beschleunigung des Wagens führt unmittelbar zu einer Verringerung der gemessenen Handkräfte.

Je mehr Erfahrung im Umgang mit Handschiebewagen gesammelt werden konnte, desto besser konnte auch bei vier Lenkrollen die Ausführungsgeschwindigkeit und damit die aufzubringenden Kräfte dosiert werden, ohne dass ein Ausbrechen drohte. Abbildung 16 zeigt die Initial Force bei 500 Kilogramm Gesamtgewicht mit Polyurethanrollen (Härte 96 Shore) von Probanden, die Versuche mit einer größeren Zahl von Konfigurationen und Versuchswiederholungen absolviert haben. Hier erreicht die Initial Force den deutlich höchsten Wert bei der Rollenordnung mit vier Lenkrollen.



**Abbildung 16:** Initial Force in Abhängigkeit der Rollenordnung bei Probanden mit einer größeren Erfahrung (n = 192 Messungen)

Die beobachteten Unterschiede zwischen erfahrenen und unerfahrenen Probanden verdeutlichen zudem die Schwierigkeiten beim Vergleich verschiedener Kraftmessungen. Auch bei gleichbleibenden Rahmenbedingungen, Messequipment und Versuchsablauf können bei verschiedenen Versuchspersonen stark voneinander abweichende Kräfte gemessen werden. Neben einer unterschiedlichen körperlichen Konstitution können die Abweichungen in einer anderen, vom Probanden als angenehmer empfundenen, Arbeitsweise und -intensität begründet sein.

Diese Problematik wirkt sich ebenfalls auf die Möglichkeit der Festlegung allgemeingültiger Kraftobergrenzen in Unternehmen aus. Eine exakte Festlegung der Art der Messung von anfallenden

Kräften ist äußerst schwierig, da allein durch einen Wechsel der Versuchsperson nur eine eingeschränkte Vergleichbarkeit von Messwerten gegeben ist.

## **5. EMPFEHLUNGEN ZUR ERGONOMISCHEN GESTALTUNG VON HANDSCHIEBEWAGEN**

Aufbauend auf den vorgestellten Messergebnissen und Beobachtungen während der Projektdurchführung werden nachfolgend Empfehlungen zur ergonomischen Gestaltung von Handschiebewagen gegeben.

### **ROLLENMATERIAL**

In puncto Rollenmaterial ist bei hohen zu manipulierenden Gewichten die Verwendung eines Materials mit einer höheren Shore-Härte anzuraten. Auch wenn Rollen aus Polyamid in den Versuchen die geringsten Kräfte aufwiesen, wurden von den Teilnehmern der Probandenstudie Polyurethanrollen mit einer Shore-Härte von 96 bevorzugt. Gründe hierfür können in als unangenehm wahrgenommenen Vibrationen und Schlägen sowie einer erhöhten Geräuschbelastung durch die Polyamidrollen liegen.

Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass es in den Versuchen bei Polyamidrollen zu einer deutlich gesteigerten Schmutzaufnahme kam. Dies kann zu einer negativen Beeinflussung von Rundlaufverhalten, Verschleiß sowie elektrischer Leitfähigkeit (bei ESD-Rollen) führen. Zudem ist die Abgabe des Schmutzes in anderen Hallenbereichen wahrscheinlich.

### **ROLLENDURCHMESSER**

Für den Einsatz auf für Produktionsbereiche typischen Industrieböden haben die Untersuchungen gezeigt, dass der Rollendurchmesser keinen signifikanten Einfluss auf die vom Mitarbeiter aufzubringenden Kräfte hat. Die Wahl einer kostengünstigeren Rolle mit vergleichsweise geringem Durchmesser kann hier eine vielversprechende Option sein.

Da bei einigen Anhängertechniken eine minimale Bodenfreiheit der Handschiebewagen erforderlich ist, muss diese bei Verwendung geringerer Rollendurchmesser durch konstruktive Maßnahmen sichergestellt werden.

Falls im konkreten Einsatzfall das Überfahren von Schwellen oder ausgeprägten Dehnfugen erforderlich ist, muss geprüft werden, ob mit einem größeren Rollendurchmesser die Hindernisse besser bewältigt werden können.

### **ROLLENANORDNUNG**

Die Untersuchungen zeigen eindeutig, dass ein Handschiebewagen mit ein oder zwei Bockrollen gegenüber der Variante mit vier Lenkrollen deutlich zu bevorzugen ist. Der Einsatz von Bockrollen führt zu einer signifikanten Verringerung der Vorgangszeiten von bis zu zehn Sekunden pro

Behältertausch sowie zu einer Reduktion der körperlichen Belastung der Mitarbeiter. Darüber hinaus kann ein Handschiebewagen mit Bockrolle(n) deutlich exakter manövriert werden als ein Wagen mit vier Bockrollen. Dies führt dazu, dass insbesondere auf eng dimensionierten Bereitstellflächen und beim Schieben in/auf den Routenzuganhänger der Handschiebewagen deutlich einfacher und exakter in die gewünschte Position gebracht werden kann.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass bei einer Vielzahl von Anhängertechniken die Verwendung fester Bockrollen an Handschiebewagen nicht möglich ist. Dies ist zum einen der Fall, wenn bei Ein-/ Aufschubkonzepten die Handschiebewagen während der Fahrt nicht ausgehoben werden; zum anderen besteht bei einigen aushebenden Anhängertechniken die Gefahr des Aufsetzens der Handschiebewagen-Rollen beim Befahren von Rampen und damit der Beschädigung fest installierter Bockrollen.

Hier können sogenannte Richtungsfeststeller zum Einsatz kommen, die durch Arretierung einer Lenkrolle dieser die Eigenschaften einer Bockrolle verleihen können. Bei klassischen Richtungsfeststellern kann das (teilweise aufwändige) Umschalten des Richtungsfeststellers durch den Mitarbeiter erst nach dem Herausziehen des Handschiebewagens erfolgen. Da die Arretierung der Lenkrolle nur in der korrekten Rollenstellung erfolgen darf, steht die Bockrolle erst nach einem erneuten Anfahren des Handschiebewagens zur Verfügung. Aufgrund der in der Regel sehr geringen Entfernungen bei der Bereitstellung mit Handschiebewagen kann die Arretierung der Lenkrolle bei Einsatz eines klassischen Richtungsfeststellers nur zu einem sehr geringen Teil des Bereitstellvorgangs genutzt werden.

Falls statt einer festen Bockrolle eine Lenkrolle mit Richtungsfeststeller verwendet werden muss, ist daher ein automatisches Umschalten direkt beim Herausziehen des Handschiebewagens aus dem Routenzuganhänger erstrebenswert. Eine solche Lösung ist als Sonderkonstruktion seit einigen Jahren erfolgreich im Volkswagen-Konzern im Einsatz, hat aber bisher noch nicht den Weg in den übrigen Markt gefunden.

Daher ist es von zentraler Bedeutung, den Anwendern von Routenzügen die deutlichen Vorteile des Einsatzes von Bockrollen an Handschiebewagen vor Augen zu führen. Das Entstehen einer Kundennachfrage nach Bockrollen kann die Entwicklung von automatisch umschaltenden Richtungsfeststellern oder anderen innovativen Lösungsansätzen durch Kooperationen von Routenzug- und Rollenherstellern beschleunigen.

## **6. AUSBLICK**

Die Ergebnisse der durchgeführten Probandenstudien bieten eine breite Datenbasis für den Vergleich unterschiedlicher technischer Gestaltungsmöglichkeiten von Handschiebewagen bezüglich der vom Routenzugfahrer aufzubringenden Handkräfte. Auf Basis der zu erwartenden Handkräfte kann dadurch bereits in frühen Planungsphasen eine aussagekräftige Bewertung der Ergonomie von Routenzug-Arbeitsplätzen erfolgen.

Im Rahmen des im Forschungsprojekt IntegRoute entwickelten Planungsvorgehens zur integrierten Planung von Routenzugsystemen werden die vorgestellten Messergebnisse verwendet, um unterschiedliche Planungsvarianten für ein zu realisierendes Routenzugsystem bezüglich der Ergonomie zu bewerten. Das in einem Software-Demonstrator umgesetzte Planungsvorgehen

ermöglicht durch eine detaillierte Investitionsrechnung einen direkten Vergleich unterschiedlicher technischer Ausführungen von Routenzugtechniken.

Somit kann bereits in einer frühen Planungsphase die Entscheidung über die einzusetzende Routenzugtechnik auf Basis belastbarer Kennzahlen zu Investitionen, Ergonomie und diversen weiteren Kriterien getroffen werden.

*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.*

## LITERATURVERZEICHNIS

- [Bru-10] Bruder, R.; Schaub, K.: Kooperationsprogramm zu normativem Management von Belastungen und Risiken bei körperlicher Arbeit. [http://www.kobra-projekt.de/system/files/page/KoBRA-FSP2007-Zusammenfassung\\_0.pdf](http://www.kobra-projekt.de/system/files/page/KoBRA-FSP2007-Zusammenfassung_0.pdf), Download am 16.03.2016.
- [Bun-01] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.): Leitmerkmal-methode zur Beurteilung von Ziehen, Schieben. <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/Gefahrungsbeurteilung.html>, Download am 10.01.2016.
- [Gli-14] Glitsch, U.; Post, M.; Hermanns, I.: Aktionskräfte beim Ziehen und Schieben – deren Messung und Bewertung. In: DGUV (Hrsg.): DGUV Report 2/2014 – 5. Fachgespräch Ergonomie 2013. DGUV, Berlin, 2014, S. 77-81.
- [Gün-12] 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.
- [Hat-09] Hatzinger, R.; Nagel, H.: PASW Statistics – Statistische Methoden und Fallbeispiele. Pearson Studium, München 2009.
- [ISO 11228-2] International Organization for Standardization: Ergonomics – Manual handling – Part 2: Pushing and pulling. ISO 11228-2, 2007.
- [Keu-16] Keuntje, C.: Forschungsprojekt IntegRoute – Integrierte Planung von Routenzugsystemen. Vortrag. VDI-Fachkonferenz Routenzugsysteme, Garching, 17.03.2016.
- [Kis-16] Kistler Gruppe: Handkraftmesssystem für Ergonomie, Biomechanik und Arbeitsschutz. <https://www.kistler.com/?type=669&fid=41663&callee=frontend> Download am 30.05.2015.
- [Rei-15] Reinhart, G.; Zäh, M.: Mensch und Produktion. Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften. Technische Universität München, 2015.