EFFEKTIVE LADUNGSSICHERUNG

Die Reibungszahl μ genau ermitteln

Die ordnungsgemäße Ladungssicherung ist eine Voraussetzung für Sicherheit, Qualität und Effektivität im Straßengüterverkehr. Um eine Ladungssicherung gegen Rutschen richtig dimensionieren zu können, muss dem Anwender die Reibungszahl μ zwischen Ladegut und Ladefläche möglichst genau bekannt sein. In einem Forschungsthema werden anhand von Messreihen aktuelle μ-Werte für zeitgemäße Werkstoffe dieser Reibpaare ermittelt. Nachfolgend wird über die Versuche berichtet.

■ *Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Großmann*
■ *Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Georg Marquardt*

Wofür wird eine aktuelle Reibungszahl μ benötigt?

Gemäß StVO sind alle Ladegüter im Straßengüterverkehr gegen Rutschen und Kippen, Verrollen und Wandern zu sichern. Eine entscheidende Grundlage für die richtige Dimensionierung der Ladungssicherung gegen Rutschen ist die Kenntnis der Reibungszahl μ zwischen Ladegütern und Ladeflächen. Deren Größe bestimmt, welche Maßnahmen und Mittel zur Ladungssicherung anzuwenden sind; deren optimale Ausnutzung und Erhöhung trägt wesentlich dazu bei, den Aufwand für die Ladungssicherung gering zu halten. Dabei geht es zum einen um die erforderliche Anzahl von Zurrmitteln beim kraftschlüssigen Niederzurren, zum anderen um die Kenntnis der aufzunehmenden Anteile aus Verschiebekräften auf Wandelemente des Laderaums, auf Fixierungen auf der Ladefläche, auf andere Ladegüter oder auf Direktzurrungen. Den Verantwortlichen für Planung, Ausführung und Kontrolle der Ladungssicherung liegen zurzeit nur ältere und sehr weit gespreizte Werte für die Reibungszahl μ vor. Einschlägige Richtlinien und Handbücher beziehen sich auf eine Wertetafel aus „Dubbel's Taschenbuch für Maschinenbau", deren Angaben sich einerseits sehr breit spreizen und andererseits auf einige wenige, für Ladungen z. T. selten verbreitete Werkstoffpaarungen beziehen. Mit Hilfe dieser verfügbaren Wertetafel ist die Auswahl des richtigen μ-Wertes nach Werkstoffpaarung und Größe nicht optimal möglich.

Im Rahmen eines Forschungsthemas sind in wissenschaftlich begründeten Messreihen aktuelle μ-Werte zu ermitteln, und zwar auch für zeitgemäße Werkstoffe von Ladeflächen (z. B. melaminharzbeschichtetes Sperrholz in Siebdruckstruktur) und Transportverpackungen (z. B. Kraftpapiere, Kunststoffe, Textilien) sowie in einem wesentlich engeren Auswahlbereich. Das Ziel der Messreihen besteht darin, praktisch sinnvolle Richtwerte für die Reibungszahl μ unter Praxisbedingungen zu gewinnen. Mit diesen aktuellen μ-Werten können Verlader und Frachtführer die Forderungen nach Sicherheit, Qualität und Effektivität wesentlich besser erfüllen als bisher.

Zu messende Größen und ihre Messbereiche

Die Reibungszahl μ lässt sich aus dem mechanischen Modell bestimmen (Bild ❶, Gl. (1)):

$$\mu = \frac{F_R}{F_N} \qquad (1)$$

F_N Normalkraft, F_R Reibungskraft, m Masse des Ladeguts, μ Reibungszahl, S Schwerpunkt.

Die Reibungszahl μ ist nicht direkt messbar, sondern aus dem Verhältnis Reibungskraft zu Normalkraft bestimmbar; zu messen sind diese beiden Kräfte. Die Normalkraft ist die senkrecht auf die Standfläche des Ladeguts wirkende Kraft (Bild ❷, Gl. (2)):

$$F_{GN} = F_G \cdot \cos\delta \qquad (2)$$

F_G Gewichtskraft des Ladeguts, F_{GN} Normalkraftkomponente, δ Neigungswinkel der Ladefläche

$$\delta_{max} \approx 7° \quad \cos 7° = 0{,}9925 \qquad (3)$$

Bezogen auf den Straßenverkehr sei als Größtwert für den Neigungswinkel δ ein Winkel von etwa 7° (entspricht einer Steigung von rd. 12 %) angenommen. Aus Gl. (3) ist zu ersehen, dass die Normalkraftkomponente F_{GN} rd. 99 % der Gewichtskraft F_G beträgt. Ihre Differenz ist so geringfügig, dass mit der vereinfachenden Annahme gearbeitet werden kann (Gl. (4)):

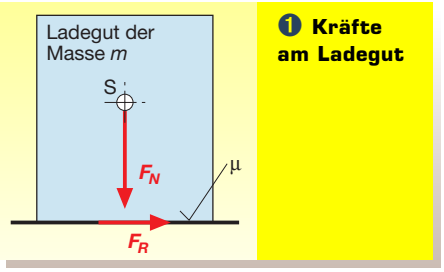
$$\mu = \frac{F_R}{F_G} \quad \text{mit } F_{GN} \approx F_G \approx F_N. \qquad (4)$$

Für andere Verkehrsarten oder Praxisbedingungen ist diese Betrachtung u. U. zu überprüfen.

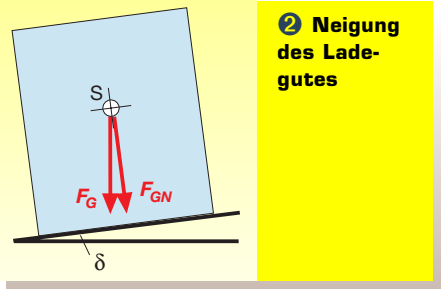
Die Größe der μ-Werte hängt von den Werkstoffen der einander berührenden Flächen ab. Um außerdem mögliche Einflüsse des Klimas beurteilen zu können, sind Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit aufzunehmen.

In erster Näherung ist die Reibungszahl μ unabhängig von den Abmessungen der Berührungsfläche sowie von der Verschiebegeschwindigkeit (Gl. (1)). Bekannt ist aber, dass dennoch Einflüsse der Flächengröße bzw. der Flächenpressung sowie der Verschiebegeschwindigkeit bestehen. Falls solche Einflüsse einmal interessieren sollten, werden diese Größen während der Versuche mit aufgenommen.

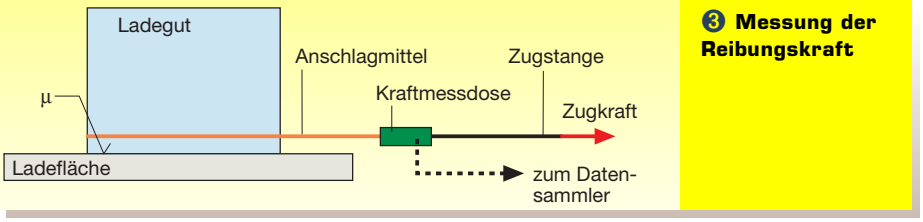
In der deutschen Richtlinie (VDI 2702) wird die Verwendung des μ-Wertes der *Gleitreibung* vorgeschrieben, im europäischen Rahmen wird die Verwendung des μ-Wertes der *Haftreibung* diskutiert. Um



❶ **Kräfte am Ladegut**



❷ **Neigung des Ladegutes**



❸ **Messung der Reibungskraft**

Tafel ① **Labor- und Feldversuche in der Gegenüberstellung**

	Laborversuche	Feldversuche
Vorteile	• gesamtes Wissen und alle technischen Einrichtungen des Labors verfügbar • Optimierung des Aufwandes möglich	• vielfältige Versuchsobjekte unter Praxisbedingungen verfügbar • Praxiserfahrungen umfassend nutzbar
Nachteile	• Versuchsobjekte müssen dem Labor zugeführt werden, Abfuhr ist zu klären	• mobile Versuchs- und Messeinrichtung erforderlich • unvorhergesehene Schwierigkeiten sind u. U. nur aufwändig lösbar • sorgfältige Vorbereitung nötig, vor allem der Mitwirkung der Verlader (Bereitstellen von Flächen, Stapler mit Fahrer, Anschlagmittel, Strom usw.) • erheblicher Zeit- und Reisekostenaufwand • Anwesenheit zertifizierender Person(en) aufwändig

für jede endgültige Entscheidung gewappnet zu sein, sind in den Messreihen sowohl die statischen als auch die dynamischen μ-Werte zu ermitteln. Somit sind zusammengefasst folgende Messgrößen aufzunehmen:

- Reibungskraft F_R – statisch und dynamisch – als Funktion der Zeit
- Masse m bzw. Gewichtskraft F_G des Ladeguts
- Verschiebegeschwindigkeit, Verschiebeweg als Funktion der Zeit
- Form und Abmessungen der Berührungsflächen
- Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit im Versuchsbereich.

Folgende Messbereiche der maßgeblichen Größen werden erwartet:

$m = 500…3000$ kg

$F_G = 500…3000$ daN

$F_R = 50…2000$ daN.

In der Praxis übliche, unterschiedliche Werkstoffpaarungen an den Berührungsflächen sind auszuwählen.

Allgemeine Versuchsbedingungen

Die Versuchsanordnung muss grundlegenden Forderungen genügen. Dazu gehören z. B. Eliminierung störender Einflüsse, Erreichen von Beharrungszuständen, Reproduzierbarkeit, Datenerfassung und -sicherung. Außerdem muss sie die Bestätigung der Versuchsergebnisse durch zertifizierende Stellen bzw. akkreditierte Prüflabors (prEN 12195-1) zulassen. Die Versuchsdaten sind in einer elektronischen Messkette zu sammeln, zu speichern und für die spätere Auswertung aufzubereiten. Die Messergebnisse sind bereits während der Messungen auf Plausibilität zu kontrollieren. Die Versuche lassen sich sowohl im Labor als auch bei Verladern durchführen (Tafel ①). Um die Versuchseinrichtung für beide Fälle nutzen zu können, wurde von vornherein auf eine Verschiebevorrichtung zum Einsatz in Feldversuchen orientiert. Um die Verschiebevorrichtung möglichst einfach zu gestalten, wurde eine Zugvorrichtung entwickelt.

Messung der Reibungskraft

Eine Versuchsanordnung zur Messung der Reibungskraft F_R zeigt Bild ❸. Sie besteht aus den Prüfkörpern Ladegut und Ladefläche, aus einer Vorrichtung zum Aufbringen der Zugkraft, aus einer Kraftmessdose sowie aus Verbindungsmitteln zwischen Ladegut, Kraftmessdose und Zugvorrichtung. Festgelegt wurde, Ladegüter bis zu einer Masse von 3000 kg zu verschieben. Mit einer angenommenen maximalen Reibungszahl von $\mu = 0{,}6$ ergibt sich eine erforderliche Verschiebekraft von 18000 N.

Messung der Gewichtskraft

Zur Messung der Gewichtskraft F_G wird das Ladegut mit einem geeigneten Hubwerk angehoben (Bild ❹). Zwischen Ladegut und

Hubwerk ist wiederum eine Kraftmessdose angeordnet.

Versuchseinrichtung im Detail

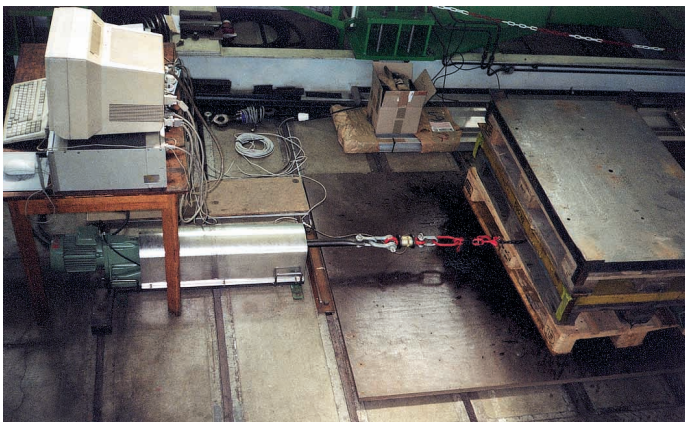
Bei der Versuchseinrichtung waren folgende Parameter einzuhalten:

- Verschiebekraft (Zugkraft) mindestens 18000 N
- Verschiebegeschwindigkeit 10 … 100 mm/min
- Verschiebeweg etwa 250 mm
- einfach handhabbare Vorrichtung, ortsveränderlich, transportfähig in PKW-Kombi ohne Gefahr der Verschmutzung durch herauslaufendes Öl.

In Vorversuchen wurde die Möglichkeit, vorhandene Maschinen (Gabelstapler oder Brückenkran) als Zugvorrichtung zu nutzen, negativ bewertet. Wegen des Ausschlusses von Hydraulikelementen bestand die Aufgabe, eine mechanische Zugvorrichtung zu entwickeln. Gewählt wurde ein Spindeltrieb mit frequenzsteuerbarem Getriebemotor (Bild ❺). Der Getriebemotor (1) setzt über eine Faltenbalgkupplung (2) die Trapezgewindespindel (3) in Drehbewegung. Die auf der Spindel sitzende Mutter (4) ist starr mit einer Zugstange (5) verbunden. An die Zugstange kann mit Anschlagmitteln das Ladegut angehängt werden. Eine Linearführung (6) ist Träger der Lagerung (7) der Mutter. Diese Lagerung ermöglicht die Verschiebung der Mutter in Achsrichtung der Spindel und verhindert das Mitdrehen der Mutter mit der Spindel. Die durch axiale Verschiebung der Mutter und des angehängten Ladeguts hervorgerufene Kraft wird durch die Lagerung (8) der Spindel auf den Rahmen (9) übertragen. Auf diesem Rahmen sind der Getriebemotor und die Schiene der Linearführung befestigt. Um ein Verschieben der Vorrichtung gegenüber der Ladefläche zu verhindern, ist eine Stützschiene (10) am Rahmen angebracht, die an die Kante der Ladefläche anzulegen ist. Die Zugkraft wird mit Hilfe eines Kraftsensors zwischen Zugstange und Ladegut ermittelt. Als Kraftsensor kommt eine mit Dehnungsmessstreifen arbeitende Kraftmessdose zum Einsatz. Die während der Verschiebung auftretenden Messsignale werden mit einem Messcomputer (A/D-Wandlerkarte) und entsprechender Datenerfassungssoftware im Computer abgelegt und stehen für die weitere Bearbeitung zur Verfügung.

Die Bilder ❻ und ❼ zeigen die Versuchseinrichtung im Laborbetrieb und beim Feldversuch. In beiden Fällen hat sie ihre Einsatzfähigkeit bewiesen. Zurzeit werden umfangreiche Messreihen gefahren, über deren Ergebnisse später berichtet wird.

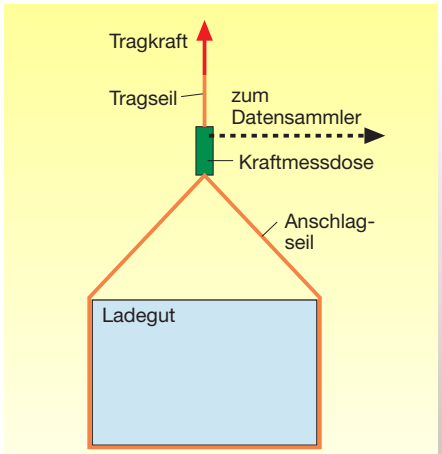
HF 9222



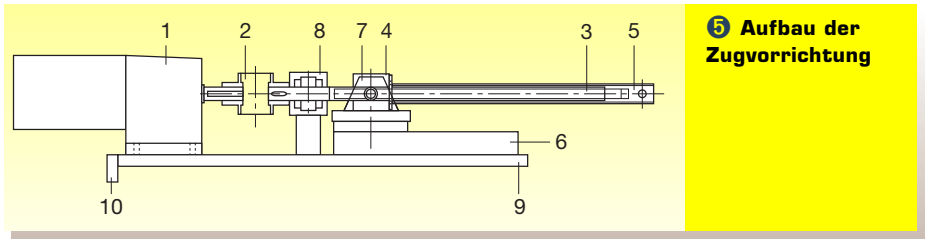
❻ **Versuchseinrichtung im Laborbetrieb**



❼ **Versuchseinrichtung im Laderaum**



❹ **Messung der Gewichtskraft**



❺ **Aufbau der Zugvorrichtung**

Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Großmann

Geschäftsführer der TUL-LOG GmbH in Dresden



Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Georg Marquardt

Institutsleiter des Instituts für Fördertechnik, Baumaschinen und Logistik der TU Dresden

