

[www.lasiportal.de](http://www.lasiportal.de) dankt Herrn Hasselmann vom Institut Fraunhofer IML, Herrn Ulonska vom Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. und Frau Becke vom Bundesverband Betonbauteile Deutschland e.V. für die Genehmigung zur Veröffentlichung.

## Ladungssicherung von paketierfähigen Betonwaren

### Gutachten über die Untersuchungen zum Gleit-Reibbeiwert unter Praxisbedingungen

Gerrit Hasselmann, Fraunhofer Institut Materialfluss und Logistik – Verpackungsprüfzentrum  
Dietmar Ulonska, Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V.  
Alice Becke, Bundesverband Betonbauteile Deutschland e.V.

*Die Maßnahmen und der Aufwand zur Ladungssicherung von paketierfähigen Betonwaren können durch die Höhe des Gleit-Reibbeiwertes beeinflusst werden. Bisher konnte hierfür nur auf sehr allgemeine Gleit-Reibbeiwerte aus der Literatur zurückgegriffen werden bzw. auf solche, die auf der Basis veralteter Messmethoden ermittelt worden sind. Als Ergebnis umfangreicher Untersuchungen am Fraunhofer Institut Materialfluss und Logistik – Verpackungsprüfzentrum, Dortmund konnte u. a. festgehalten werden, dass die Gleit-Reibbeiwerte von Ladeeinheiten aus paketierfähigen Betonwaren – wie sie sich im Rahmen der Verladepraxis bei üblicher Verschmutzung durch Beton- und Körnungspartikel sowie Staub tatsächlich ergeben – z. T. erheblich höher sind als die bisher in der Literatur angegebenen Werte. Dies kann in der Verladepraxis von paketierfähigen Betonwaren – nach Durchführung entsprechender Berechnungen zum notwendigen Sicherheitsbedarf – zu einer zum Teil deutlichen Reduzierung des Ladungssicherungsaufwandes führen. Daraus ergeben sich Zeit- und Kosteneinsparungen für den Verloader unter Beibehaltung des erforderlichen Sicherheitsniveaus.*

Für eine ordnungsgemäße Ladungssicherung ist die Kenntnis des Gleit-Reibbeiwertes zwischen Ladegut und Ladefläche eine wichtige Voraussetzung, da dieser die Maßnahmen zur Ladungssicherung grundsätzlich beeinflussen kann. Es gilt: Je höher der Reibbeiwert ist, desto höher ist die Rückhaltkraft, die, z. B. bei einem Bremsvorgang, über den Kraftschluss zwischen Ladegut und Ladefläche wirkt, und desto geringer ist der ggf. noch zusätzlich erforderliche Ladungssicherungsaufwand, z. B. durch Niederzurren. Für den Transport von paketierfähigen Betonwaren mit Straßenfahrzeugen kann bisher lediglich auf Gleit-Reibbeiwerte aus der Literatur zurückgegriffen werden oder auf solche, die auf „veralteten“ Prüf- und Messmethoden basieren [1], [2]. Die dort genannten Werte sind zusätzlich noch mit vergleichsweise großen Spannweiten angegeben. Zum Beispiel wird der Gleit-Reibbeiwert  $\mu$  für palettierte Ladeeinheiten auf Siebdruck-Fahrzeuggoden (Materialpaarung Holz/Holz) im trockenen Zustand zwischen 0,20 bis 0,50 angegeben [1]. Nach der VDI 2700 [3] ist bei der Anwendung derartiger Gleit-Reibbeiwerte im Zweifelsfall hier der niedrigste angegebene Wert einzusetzen, soweit nicht für den Einzelfall ermittelte und nachgewiesene Reibbeiwerte für bestimmte Werkstoffpaarungen vorliegen.

In der Betonwarenbranche wurde bereits 2006 eine Arbeitsgruppe eingerichtet, um einen Maßnahmenkatalog zur ordnungsgemäßen Ladungssicherung von paketierfähigen Betonwaren zu entwickeln und zu dokumentieren. Aus jahrelangen positiven Praxiserfahrungen heraus wurde zunächst die Vermutung aufgestellt, dass die „natürliche Reibung“ zwischen den Ladeeinheiten und den Fahrzeugböden deutlich höher sein muss als bisher angenommen. Die Aufgabe bestand im Folgenden darin, mit Blick auf einen sicheren Transport, auf eine möglichst wirtschaftliche Ladungssicherung sowie auch auf eine Verbesserung des Arbeitsschutzes beim Be- und Entladen, die real vorhandenen Reibbeiwerte für typischerweise vorliegende Bedingungen zu ermitteln.

## Grundlagen

Paketierfähige Betonwaren, wie z. B. Pflastersteine, Gehwegplatten, Rasengittersteine, Bordsteine, Randsteine, Blockstufen oder Mauerelemente, werden heute zu einem großen Teil werkseitig zu quaderförmigen Ladeeinheiten zusammengesetzt und bis zur Verladung auf Lagerplätzen gelagert. Die Bildung einer in sich ausreichend stabilen Ladeeinheit erfolgt in der Regel durch Umreifen mit Stahl- oder Kunststoffbändern und/oder durch die Verwendung von Schrumpf- oder Stretchfolien oder durch Kombinationen daraus. Der Transport der Ladeeinheiten (Pakete aus Betonwaren) erfolgt sowohl mit als auch ohne Ladungsträger. Dabei hat sich die Verwendung von Ladungsträgern bei der Mehrzahl der Hersteller durchgesetzt. Hierbei kommen ausschließlich Holzpaletten zum Einsatz, deren Maße häufig auf die der zu transportierenden Produkte abgestimmt sind.

Zum Transport werden in der Regel offene Gliederzug-Fahrzeuge eingesetzt. Die Ladefläche ist entweder mit Stahlblech- oder Siebdruckboden belegt. Beim Beladen werden die Pakete oder Paketreihen aus Betonwaren fast ausnahmslos auf Lücke gestellt. Dies hat im Wesentlichen zwei Gründe. Zum Einen lässt das vergleichsweise hohe Gewicht der einzelnen Pakete eine vollflächige Ausladung des Fahrzeugs nicht zu. Zum Anderen lassen sich die Pakete durch die heute überwiegend praktizierte Klammertechnik beim Be- und Entladen – mittels Klammeregreifer am Stapler bzw. mittels Klammeregreifer am auf dem Fahrzeug montierten Kranausleger – zumindest in Fahrtrichtung nicht formschlüssig aufstellen. Die Klammer benötigt rechts und links vom zu be- bzw. entladenden Paket eine Lücke von mindestens 20 cm, wie Bild 1 und Bild 2 beispielhaft zeigen.



Bild 1: Anordnung von Ladeeinheiten aus Betonpflastersteinen „auf Lücke“ in Fahrtrichtung



Bild 2: Klammeregreifer am fahrzeuggebundenen Kran zur Be- und Entladung von paketierten Betonwaren

## Untersuchungsumfang

Um die typischen Rahmenbedingungen für den Transport von paketierfähigen Betonwaren möglichst vollständig und realitätsnah zu erfassen und abzubilden, wurden entsprechende Versuche ausschließlich unter Verwendung von originalen Ladeeinheiten und realen Ladeflächen durchgeführt. Dabei wurden die Parameter Ladegut, Ladungsträger, Ladeflächenzustand sowie das Gewicht der Ladeeinheit einbezogen.

Untersucht wurden insgesamt 63 unterschiedliche Reibpaarungen, die sich aus der Kombination verschiedener Paketgewichte, den Ladungsträgertypen Holzpalette oder nicht palettiert und vier Ladeflächenvarianten (Siebdruckboden gebraucht, Siebdruckboden ungebraucht, Stahlboden gebraucht und Stahlboden ungebraucht) ergaben. Die Messungen erfolgten auf Basis des „Gründrucks“ zu Blatt 14 [3] der VDI-Richtlinie 2700. Dieser wird derzeit vom VDI in den so genannten Weißdruck überführt. Die Veröffentlichung als VDI-Richtlinie wird im Herbst 2010 erwartet. Der Entwurf sieht vor, die Reibkraft zwischen Ladung und Ladefläche mit Hilfe eines Zugversuchs zu messen und mit der Gewichtskraft der Ladung ins Verhältnis zu setzen. Die Messungen sind in einem definierten Umfang von Einzelwertbestimmungen durchzuführen, um eine möglichst breite statistische Basis zu erhalten. Bei Ladeeinheiten, deren Geometrie in Bezug auf die Zugrichtung unterschiedlich ist, ist dies besonders zu berücksichtigen. Dies trifft zum Beispiel bei der Verwendung von Holzpaletten als Ladungsträger zu, da die Stellung der Kufen – in Zugrichtung oder quer dazu – Einfluss auf die Reibkraft haben kann. Es wurde daher jede Reibpaarung durch mindestens eine Messung jeweils bei Stellung der Ladeeinheit in Zugrichtung und quer zur Zugrichtung bewertet. Dabei bestand gemäß [3] eine Messung aus jeweils drei Einzelmessungen, so genannten Hüben. So ergab sich eine umfangreiche Datenbasis aus rund 380 Einzelwertbestimmungen. Ebenfalls in [3] enthalten sind Vorgaben bezüglich der Auswertung und der Zuverlässigkeit der Messergebnisse. So darf die Schwankungsbreite der drei zu bewertenden Einzelwerte nicht größer als 10 % sein.

Die Überprüfung oder Bewertung der Ladeeinheitensicherung gegenüber verkehrsüblichen Belastungen waren nicht Gegenstand der Untersuchung. Gleichwohl wurden ausschließlich in sich stabile Ladeeinheiten untersucht.

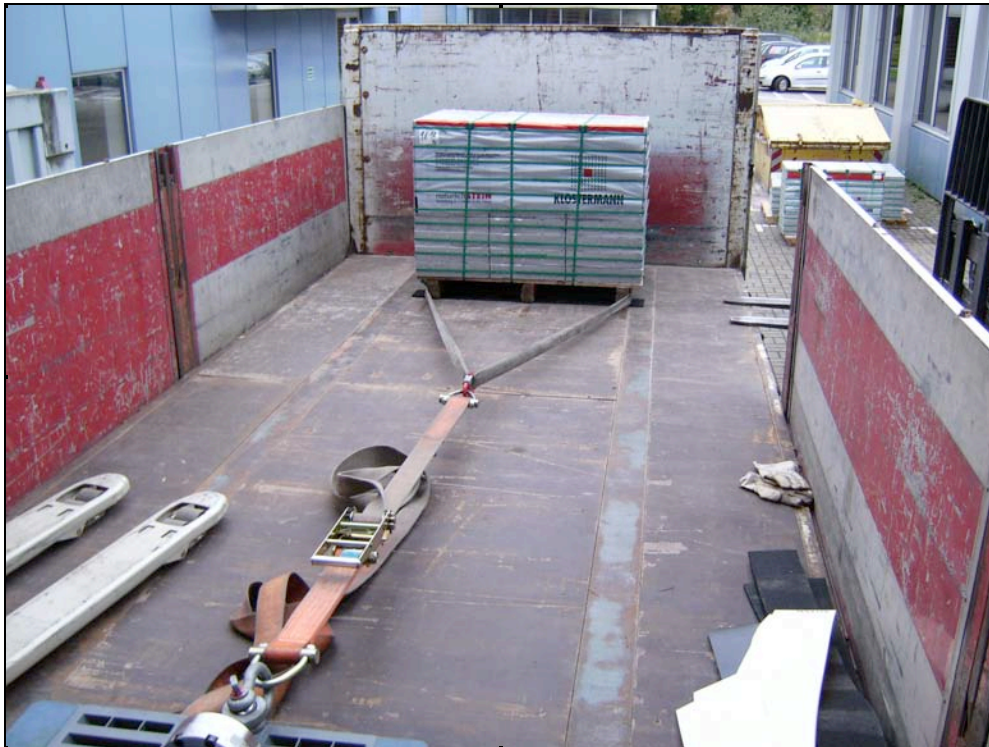


Bild 3: Zugkraftmessung zur Bestimmung des Gleit-Reibbeiwertes zwischen nicht palettierter Ladeinheit und Ladefläche mit Stahlboden nach Regenschauer

### Untersuchungsergebnisse

Nach den bisher umfangreichsten Gleit-Reibbeiwert-Untersuchungen, die für Ladeinheiten aus paketierfähigen Betonwaren bekannt sind, lassen sich aus den Ergebnissen die folgenden Schlüsse ableiten:

- Die Gleit-Reibbeiwerte von Ladeinheiten aus paketierfähigen Betonwaren – wie sie sich im Rahmen der Verladepraxis bei üblicher Verschmutzung durch Beton- und Körnungspartikel sowie Staub tatsächlich ergeben – sind zum Teil erheblich höher als die bisher in der Literatur angegebenen.
- Die Schwankungen innerhalb der Einzelwerte der jeweiligen Messungen waren insgesamt sehr gering. Beim Vergleich zwischen Siebdruck- und Stahl-Fahrzeughöden sind keine systematischen Unterschiede bei den Messwertschwankungen zu erkennen. Dies gilt gleichermaßen für die beiden untersuchten Palettenarten, bei denen ebenfalls keine systematischen Unterschiede bei den Messwertschwankungen zu erkennen waren.
- Die Art bzw. Konstruktion der Palette hingegen, hatte einen Einfluss auf den Reibbeiwert. So lieferten Branchen-Poolpaletten auf den vier untersuchten Fahrzeughöden durchweg höhere Gleit-Reibbeiwerte als Europaletten.
- Beim Einsatz palettierter Ladeinheiten auf nassem Fahrzeughöden aus Stahl (Messungen nach Regenschauer) ergab sich im Vergleich zu demselben Höden im trockenen Zustand kein signifikant geringerer Reibbeiwert. Für einen Siebdruck-Fahrzeughöden wird derzeit von einem ähnlichen Verhalten ausgegangen. Eine messtechnische Überprüfung ist für 2010 vorgesehen.
- Bei Ladeinheiten mit Palette ist ein systematischer Einfluss der Kufenstellung der Palette im Hinblick auf die Höhe des Reibbeiwertes nicht erkennbar.
- Ein Einfluss des Gewichts (Masse) der Ladeinheit auf den Reibbeiwert wurde – insbesondere bei palettierter Ladeinheiten – in Verbindung mit gebrauchten

Fahrzeughöden vermutet. Es wurde angenommen, dass die Gebrauchsspuren der Ladefläche einen gewichtsabhängigen Einfluss auf den Reibbeiwert ausüben könnten. Die Messungen haben dies jedoch nicht bestätigt.

- Die im Rahmen der Untersuchung gemessenen Gleit-Reibbeiwerte sind grundsätzlich deutlich höher als die bisher innerhalb der Fachwelt herangezogenen Gleit-Reibbeiwerte. Dies kann in der Verladepraxis von paketierfähigen Betonwaren – nach Durchführung entsprechender Berechnungen zum notwendigen Sicherheitsbedarf – zu einer zum Teil deutlichen Reduzierung des Ladungssicherungsaufwandes führen. Daraus ergeben sich Zeitersparnisse für den Verlader, die zu Kosteneinsparungen in den betreffenden Unternehmen – unter Beibehaltung des erforderlichen Sicherheitsniveaus – führen.

Die Gleit-Reibbeiwerte der Tabelle 1 können für die Ermittlung der Ladungssicherungsmaßnahmen im Zusammenhang mit Transporten auf Straßenfahrzeugen angewendet werden, wenn die darin genannten Bedingungen auf die zu transportierenden bzw. zu sichernden paketierfähigen Betonwaren zutreffen. Ansonsten wird empfohlen, die Werte der Tabelle 2 anzuwenden.

**Tabelle 1: Mittlere Gleit-Reibbeiwerte  $\mu_D$  für palettierte Betonwaren in Abhängigkeit von der Palettenart und dem Fahrzeugboden**

Zeile	Fahrzeugboden	Ladeeinheit palettiert auf Branchen-Poolpalette	Ladeeinheit palettiert auf Europalette
1	Siebdruck, gebraucht	$\mu_D = 0,62$ (24 Einzelwerte)	$\mu_D = 0,55$ (18 Einzelwerte)
2	Siebdruck, ungebraucht (fabrikneu)	$\mu_D = 0,53$ (18 Einzelwerte)	$\mu_D = 0,51$ (18 Einzelwerte)
3	Stahl, gebraucht	$\mu_D = 0,54$ (30 Einzelwerte <sup>1)</sup> )	$\mu_D = 0,35$ (15 Einzelwerte)
4	Stahl, ungebraucht (fabrikneu)	$\mu_D = 0,46$ (12 Einzelwerte)	$\mu_D = 0,42$ (12 Einzelwerte)

<sup>1)</sup> Einschließlich sechs Messwerte auf Stahlboden nach Regenschauer.

**Tabelle 2: Gleit-Reibbeiwerte  $\mu_D$  als Grundlage zur Ermittlung von Ladungssicherungsmaßnahmen für den Transport mit Straßenfahrzeugen von paketierfähigen Betonwaren <sup>1)</sup>**

Zeile	Reibpaarung	Gleit-Reibbeiwert $\mu_D$	
		Fahrzeugboden gebraucht <sup>2)</sup>	Fahrzeugboden ungebraucht (fabrikneu) <sup>3)</sup>
1	Betonwaren nicht palettiert auf Fahrzeugboden Siebdruck	0,56	0,35
2	Betonwaren auf Euro- oder Branchen-Poolpalette auf Fahrzeugboden Siebdruck	0,55	0,51
3	Betonwaren nicht palettiert auf Fahrzeugboden Stahl	0,58	0,46
4a	Betonwaren auf Europalette auf Fahrzeugboden Stahl	0,35	0,42
4b	Betonwaren auf Branchen-Poolpalette auf Fahrzeugboden Stahl	0,54	0,46

<sup>1)</sup> Für hier nicht angegebene Reibpaarungen sind die Gleit-Reibbeiwerte gesondert, ggf. nach Durchführung entsprechender Messungen, anzunehmen.

<sup>2)</sup> Ein „Fahrzeugboden gebraucht“ weist deutliche Gebrauchsspuren auf. Diese stellen sich infolge der üblichen Verladepraxis in Betonwerken meist schon nach kurzer Nutzungsdauer bzw. wenigen Be- und Entladevorgängen ein.

<sup>3)</sup> Es wird empfohlen, die Gleit-Reibbeiwerte für „Fahrzeugboden ungebraucht“ solange für

Ladungssicherungsmaßnahmen zugrunde zu legen, bis der Fahrzeugboden deutliche Gebrauchsspuren aufweist.

## Beispiele

Für verschiedene Gleit-Reibbeiwerte wird der Ladungssicherungsaufwand durch Niederzurren beispielhaft verglichen (Tabelle 3). Die Werte gelten für zwei nebeneinander angeordnete Ladeeinheiten (eine Paketreihe), die in Fahrtrichtung durch Niederzurren zu sichern sind. Der Übertragungswert beim Niederzurren wurde mit  $k = 1,8$  angesetzt (nur mit für die Anwendung geprüftem Kantenschutz möglich) und der Zurrwinkel beträgt  $\alpha \geq 80^\circ$ .

**Tabelle 3: Ladungssicherung durch Niederzurren im Vergleich – Ergebnisse der Beispiele**

Gleit-Reibbeiwerte	Erforderliche Anzahl der Zurrgurte			
	Masse je Ladeeinheit $m = 750 \text{ kg}$		Masse je Ladeeinheit $m = 1.000 \text{ kg}$	
	mit Normalratsche (STF = 350 daN)	mit Langhebelratsche (STF = 500 daN)	mit Normalratsche (STF = 350 daN)	mit Langhebelratsche (STF = 500 daN)
$\mu_D = 0,20$	8	6	10	7
$\mu_D = 0,30$	5	3	6	4
$\mu_D = 0,56$	2	1	2	1
$\mu_D = 0,62$	1		1	

## Einsatz von rutschhemmenden Materialien

Der Einsatz von rutschhemmenden Materialien (RhM) hat sich in Betonwerken bisher nicht durchgesetzt, weil damit oftmals ein zusätzlicher Zeitaufwand bei der Ladungssicherung verbunden ist. Gegen den Einsatz von RhM spricht zudem eine Verladepraxis, bei welcher die Pakete erst nach dem Absetzen auf der Ladefläche mittels Stapler in ihre vorgesehene Position geschoben werden.

Um gesicherte Erkenntnisse über die Leistungsfähigkeit verschiedener RhM in Kombination mit paketierfähigen Betonwaren zu erlangen, wurden dennoch im Rahmen der Untersuchung bei etwa einem Viertel der durchgeführten Messungen RhM mit einbezogen (Bild 4). Es erfolgten sowohl Versuche mit nicht palettierten als auch mit palettierten Ladeeinheiten. Dabei konnten die untersuchten RhM alles in allem nicht überzeugen. Durch den Einsatz der Produkte bei palettierten Einheiten konnten zum Teil nur unwesentlich höhere Gleit-Reibbeiwerte erzielt werden. Dagegen wurden bei nicht palettierten Ladeeinheiten durchaus deutlich höhere Gleit-Reibbeiwerte als ohne den Einsatz RhM gemessen.

