

# DEKRA Niederlassung Bielefeld

Fachbereich: Fahrzeugtechnik / Verkehrsunfallanalyse  
Ladungssicherung

Karsten Wulhorst, Uwe Semsch, Wolfgang Bühren



DIN EN 12195-1:2011, DIN EN 12195-1:2004,  
VDI 2700, Blatt 2: 2002

## Vergleich der Berechnungsmethoden mit praktischer Untersuchung von kraftschlüssigen, formschlüssigen und kombinierten Ladungssicherungsmaßnahmen



## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Reibbeiwertermittlung
- 3 Berechnung der Gurtanzahl
- 4 Fahrdynamische Versuche
- 5 Fazit



# 1 Einleitung

## Einleitung

Im Rahmen einer Diplomarbeit bei der DEKRA Automobil GmbH, Niederlassung Bielefeld, wurden fahrdynamische Versuche zur Untersuchung berechneter Gurtanzahlen durchgeführt.

Die Gurtanzahlen wurde gemäß der Formeln für das Niederzurren nach DIN EN 12195-1:2004, VDI 2700 Blatt 2:2011 (GD), DIN EN 12195-1:2011 und VDI 2700 Blatt 2: 2002 berechnet.

Hierbei variierte der Reibbeiwert als Parameter in den angewandten Formeln.

Dieser Wert wurde in allen angewandten Formeln auf der Grundlage von selbst durchgeführten Versuchen norm- bzw. richtlinienkonform ermittelt.

## 2 Reibbeiwertermittlung

## Reibbeiwertermittlung - Zugversuch

Die Reibbeiwertermittlung erfolgte auf der Ladefläche eines Lkw mit einer Nutzlast von 7,5 t.

Das Fahrzeug ist normalerweise für die Automobilindustrie zur Beförderung von Stückgut im Einsatz.

Die Ladefläche war trocken, abgefegt, frei von Öl oder sonstigen fettenden Stoffen und wies eine durchschnittliche Abnutzung auf.

Der Zugversuch erfolgte gemäß VDI 2700 Blatt 14.

Materialpaarung: Gitterbox (Stahlfuß T 5 9012) zu Siebdruckplatte wobei einzelne Stahlfüße teilweise auch auf dem Stahlrahmen der Ladefläche standen.

## Reibbeiwertermittlung - Zugversuch

### Versuchsaufbau: Anordnung der Gitterboxen



#### Gitterboxen 2032

$$m_1 = 300,24 \text{ kg} + 290,592 \text{ kg}$$

$$m_1 = 590,832 \text{ kg}$$

#### Gitterboxen 2035

$$m_2 = 2 \cdot 1.005 \text{ kg} = 2.010 \text{ kg}$$

#### Masse der gesamten zu ziehenden Versuchsladung

$$m_1 + m_2 = 2.600,832 \text{ kg}$$





## Reibbeiwertermittlung - Zugversuch

Die ermittelten Rohdaten wurden in ein für den Versuch angefertigtes Excelprogramm übertragen und ausgewertet.

Bei Auswertung der einzelnen Hübe blieb der erste Peak der Zugkraftkurve (entspricht dem Haftbeiwert) unberücksichtigt.

Der zunächst direkt ermittelte Gleitreibbeiwert betrug  $\mu = 0,39$  und wurde mit folgender Formel berechnet:

$$\mu = F_Z / F_G \quad (F_Z = \text{Zugkraft} \quad F_G = \text{Gewichtskraft})$$

Für die im Nachhinein durchgeführten Berechnungen wird dieser Wert gemäß VDI 2700 Blatt 14 und DIN EN 12195-1 (2011) Anhang B umgerechnet und ersetzt.

## Reibbeiwertermittlung - Zugversuch

Bei allen weiteren Berechnungen bzgl. der erforderlichen Gurtanzahlen muss mit folgenden Reibbeiwerten gerechnet werden:

Norm bzw. Richtlinie	VDI 2700 Blatt 2:2002	DIN EN 12195-1 :2004 VDI 2700 Blatt 2:2011 (GD)	DIN EN 12195-1:2011
Reibbeiwert $\mu$	0,37	0,37	0,40

Unterschied  $0,40 - 0,37 = 0,03$  bzw. 7,5 %

Nach VDI 2700, Bl. 14 : Faktor 0,95 bzw. 5% Abzug

Nach EN 12195-1, Anh. B: 2,5 %

## 3 Berechnung der Gurtanzahl

## Berechnung der Gurtanzahl

Mit Hilfe des für die Materialpaarung bestimmten Reibbeiwertes kann nach den genannten Normen bzw. Richtlinien die jeweils erforderliche Anzahl an Gurten berechnet werden.

Die Berechnung erfolgt dabei getrennt für die Gitterboxen 2035 und für die Gitterboxen 2032, da diese unterschiedliche Massen aufweisen und keine gemeinsame Einheit bilden.

Bei einem Vertikalwinkel von  $87,4^\circ$  ist der in die Berechnungen einfließende Wert des Sinus dieses Winkels nahe 1,0 und kann daher vernachlässigt werden.

## Berechnung der Gurtanzahl

### Berechnung nach VDI 2700 Blatt 2:2002

#### Gitterboxen 2035:

$$n = m \cdot g \cdot (c_x - \mu) / 2 \cdot ST_F \cdot \mu$$

$$n = 2.010 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (0,8 - 0,37) / 2 \cdot 5.000 \text{ N} \cdot 0,37$$

$$n = 2,29$$

**n = 3 Gurte (aufgerundet)**

**n = 2 nach DEKRA Bielefeld Praxis-Ansatz (mathematisch gerundet)**

## Berechnung der Gurtanzahl

### Berechnung nach VDI 2700 Blatt 2:2002

#### Gitterboxen 2032:

$$n = m \cdot g \cdot (c_x - \mu) / 2 \cdot ST_F \cdot \mu$$

$$n = 590,832 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (0,8 - 0,37) / 2 \cdot 5.000 \text{ N} \cdot 0,37$$

$$n = 0,67$$

**n = 1 Gurt (aufgerundet)**

**n = 1 nach DEKRA Bielefeld Ansatz (bei > 0,5 ebenfalls aufgerundet)**

## Berechnung der Gurtanzahl

### Gesamtergebnis nach VDI 2700 Blatt 2:2002

Nach VDI 2700 Blatt 2:2002 sind für eine Sicherung der kompletten Ladung gegen Rutschen insgesamt  $3 + 1 = 4$  **Gurte** notwendig, 3 Gurte über die Gitterboxen 2035 und 1 Gurt über die Gitterboxen 2032.

Aufgrund der 15-jährigen praktischen Versuchserfahrungen des DEKRA Bielefeld Ladungssicherungsteams sind für eine praxisgerechte Sicherung  $2 + 1 = 3$  **Gurte** ausreichend.



## Berechnung der Gurtanzahl

**Berechnung nach DIN EN 12195-1:2004  
und VDI 2700 Blatt 2:2011 (GD)**

**Gitterboxen 2035:**

$$n = m \cdot g \cdot (c_x - \mu) / 1,5 \cdot ST_F \cdot \mu$$

$$n = 2.010 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (0,8 - 0,37) / 1,5 \cdot 5.000 \text{ N} \cdot 0,37$$

$$n = 3,06$$

**n = 4 Gurte (aufgerundet)**





## Berechnung der Gurtanzahl

**Berechnung nach DIN EN 12195-1:2004  
und VDI 2700 Blatt 2: 2011 (GD)**

**Gitterboxen 2032:**

$$n = m \cdot g \cdot (c_x - \mu) / 1,5 \cdot ST_F \cdot \mu$$

$$n = 590,832 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (0,8 - 0,37) / 1,5 \cdot 5.000 \text{ N} \cdot 0,37$$

$$n = 0,90$$

**n = 1 Gurt (aufgerundet)**



## Berechnung der Gurtanzahl

### Gesamtergebnis nach DIN EN 12195-1:2004 und VDI 2700 Blatt 2:2011 (GD)

Nach DIN EN 12195-1 (2004) und VDI 2700 Blatt 2:2011 (GD) sind für eine Sicherung der kompletten Ladung gegen Rutschen insgesamt  $4 + 1 =$  **5 Gurte** notwendig, 4 Gurte über die Gitterboxen 2035 und 1 Gurt über die Gitterboxen 2032.

Gegenüber VDI 2700 Blatt 2: 2002 ist 1 Gurt mehr erforderlich.

Bei einem Sattelaufliieger mit 27 t Nutzlast, (etwa 10-fache der Masse der Versuchsladung) wären es 10 zusätzliche Gurte!

Gegenüber dem praxisorientierten Ansatz von DEKRA Bielefeld wären es **20 !** zusätzliche Gurte

## Berechnung der Gurtanzahl

### Berechnung nach DIN EN 12195-1:2011

#### Gitterboxen 2035:

$$n = [m \cdot g \cdot (c_x - \mu) / 2 \cdot ST_F \cdot \mu] \cdot 1,25$$

$$n = [2.010 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (0,8 - 0,4) / 2 \cdot 5.000 \text{ N} \cdot 0,4] \cdot 1,25$$

$$n = 2,46$$

**n = 3 Gurte (aufgerundet)**

## Berechnung der Gurtanzahl

### Berechnung nach DIN EN 12195-1:2011

#### Gitterboxen 2032:

$$n = [m \cdot g \cdot (c_x - \mu) / 2 \cdot ST_F \cdot \mu] \cdot 1,25$$

$$n = [590,832 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (0,8 - 0,4) / 2 \cdot 5.000 \text{ N} \cdot 0,4] \cdot 1,25$$

$$n = 0,72$$

**n = 1 Gurt (aufgerundet)**

## Berechnung der Gurtanzahl

### Gesamtergebnis nach DIN EN 12195-1:2011

Nach DIN EN 12195-1:2011 sind für eine Sicherung der kompletten Ladung gegen Rutschen insgesamt  $3 + 1 = 4$  Gurte notwendig, 3 Gurte über die Gitterboxen 2035 und 1 Gurt über die Gitterboxen 2032.

Dies entspricht der Anzahl, die zuvor nach VDI 2700 Blatt 2:2002 errechnet wurde.

## Berechnung der Gurtanzahl

### Gegenüberstellung der Ergebnisse

Entsprechend den vorstehend dargestellten Berechnungen sind folgende Anzahlen an Zurrgurten erforderlich, um das komplette Ladegut gegen Rutschen zu sichern:

<b>Gurtanzahl</b>	<b>VDI 2700 Blatt 2:2002</b>	<b>DIN EN 12195- 1:2004 VDI 2700 Blatt 2:2011 ( GD)</b>	<b>DIN EN 12195- 1:2011</b>
Box 2035	3	4	3
Box 2032	1	1	1
gesamt	4	5	4

Nach praxisorientiertem Ansatz DEKRA Bielefeld sind es 3 Gurte

# 4 Fahrdynamische Versuche

## Fahrdynamische Versuche

Mit Bremsversuchen gemäß DIN EN 12642 Anhang B sollte festgestellt werden, wie viele Gurte tatsächlich notwendig sind, um die Ladung gegen Rutschen zu sichern.

Dafür wurden die Gitterboxen entsprechend mit insgesamt 3, 4 und 5 Gurten gesichert. Pro Gurt kam jeweils nur 1 Spannmittel (Ratsche) zum Einsatz.

### Aufbau Fahrversuche





## Fahrdynamische Versuche

### Versuch 1 – Überprüfung mit nur 3 Gurten (2 + 1)

Bei Versuch 1 wurde das Ladegut mit nur 3 Überspannungen gesichert.

Da im Vorfeld nicht bekannt war, ob die Ladung rutschen würde, wurde eine lose Kopfschlinge angelegt.

Die erste Bremsung erfolgte mit einer Verzögerung von rund 0,5 g.

Das Ladegut blieb an seiner Ausgangsposition.

Die zweite Bremsung erfolgte mit einer Verzögerung von 0,9 g über eine Zeit 125 ms.

Das Ladegut verrutschte geringfügig auf der Ladefläche, wurde aber

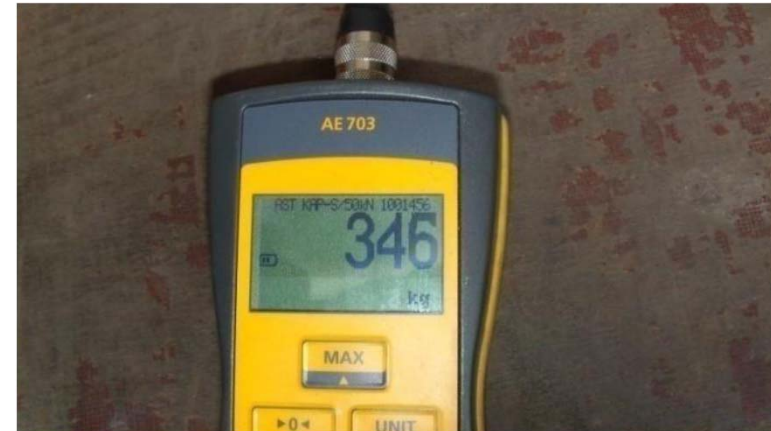
**noch nicht** durch die zuvor lose angelegte Kopfschlinge gehalten.

## Fahrdynamische Versuche

### Versuch 1 – Überprüfung mit nur 3 Gurten (2 + 1)



Eingestellte Vorspannkraft vor dem Versuch auf der Seite mit Spannmittel (480 daN)



Sich einstellende Vorspannkraft vor dem Versuch auf der Seite ohne Spannmittel (346 daN)

**Gemessene Vorspannkraften entsprechen einem k-Faktor von 1,72**

**Anmerkung:** Mit der dem k-Faktor entsprechenden Reibung an den oberen Kanten der Gitterboxen können sich zusätzliche sichernde Kräfte ergeben, die bei konventionellen Berechnungen unberücksichtigt sind.

## Fahrdynamische Versuche

### Versuch 1 – Überprüfung mit nur 3 Gurten (2 + 1)



Stand Gitterbox vor Fahrversuch  
(Man beachte die gemischte  
Reibpaarung)



Stand Gitterbox nach  
Fahrversuch mit kleiner  
Verschiebung



## Fahrdynamische Versuche

### Ergebnis Versuch 1

Versuch 1 hat gezeigt, dass 3 Überspannungen für eine Sicherung gegen Rutschen bei einer Verzögerung von **0,9 g** gerade noch ausreichen.

Die kleine Bewegung der Ladung relativ zur Ladefläche wurde allein durch die Niederzurrung wieder vollständig abgebremst.

Die Kopfschlinge kam nicht zum Eingriff.

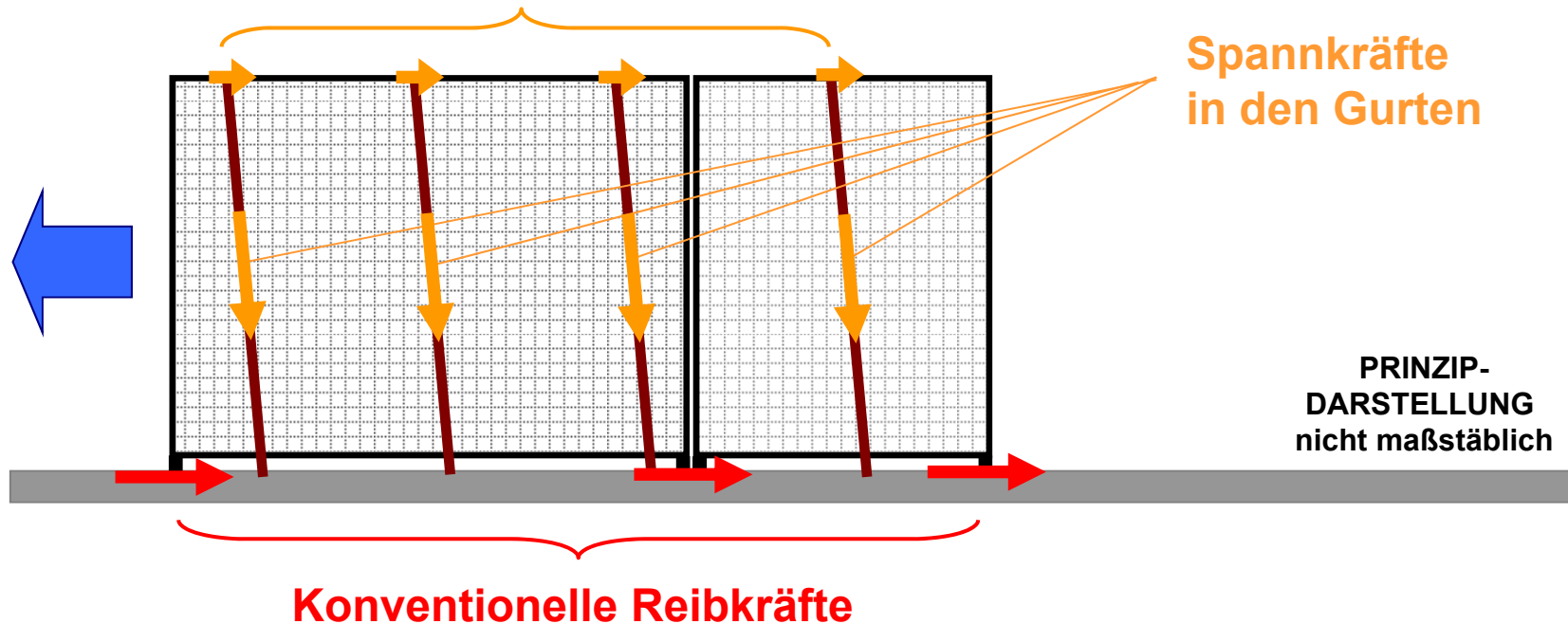
Während des Verrutschens wirkte der gegenüber dem Haftreibbeiwert verringerte Gleitreibbeiwert.

Daraus folgt: Während des Verrutschens der Ladung sind zusätzliche sichernde Kräfte entstanden, welche das weitere Verschieben der Ladung verhindert haben.

## Fahrdynamische Versuche

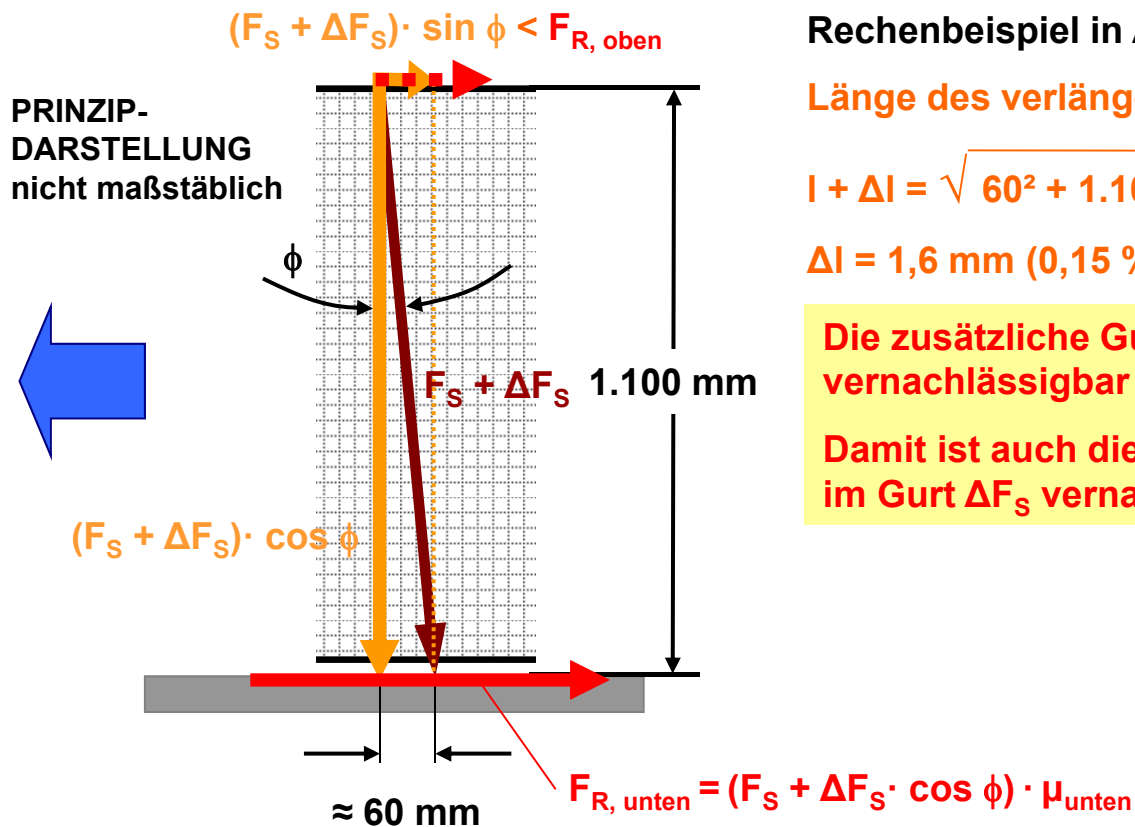
Zusätzliche sichernde Kräfte bei kleinen Ladungsverschiebungen  
unter der Voraussetzung von Reibung an den oberen Ladungskanten

Zusätzliche Horizontalkräfte  
durch Spannkraftzerlegung und Kantenreibung



## Fahrdynamische Versuche

Zusätzliche sichernde Kräfte bei kleinen Ladungsverschiebungen  
unter der Voraussetzung von Reibung an den oberen Ladungskanten



Rechenbeispiel in Anlehnung an Versuch 1

Länge des verlängerten Gurtes:

$$l + \Delta l = \sqrt{60^2 + 1.100^2} \text{ mm} = 1.101,6 \text{ mm}$$

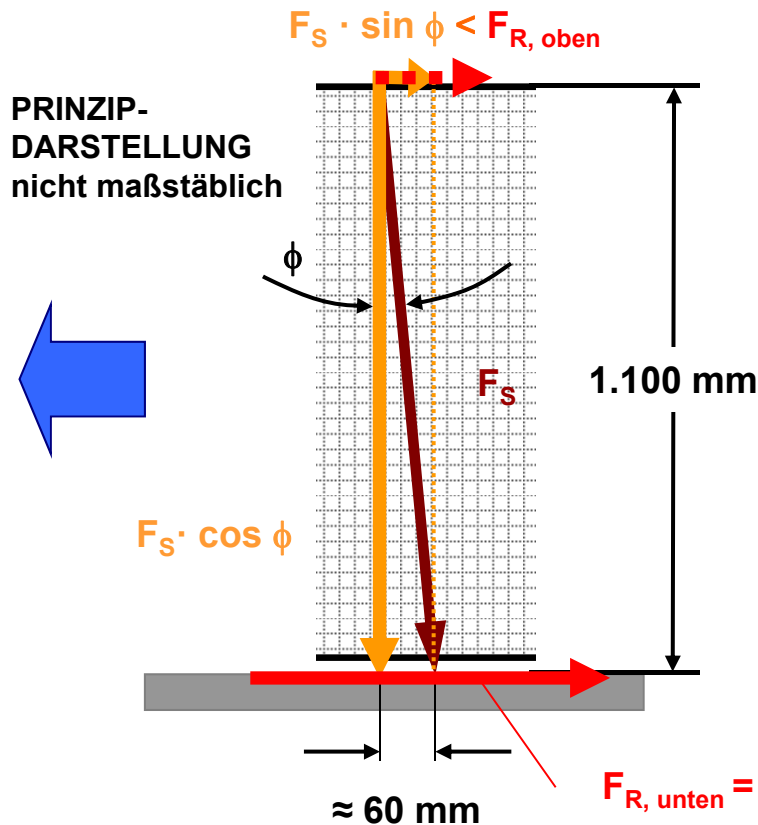
$$\Delta l = 1,6 \text{ mm (0,15 \%)}$$

Die zusätzliche Gurtdehnung  $\Delta l$  ist vernachlässigbar klein.

Damit ist auch die zusätzliche Spannkraft im Gurt  $\Delta F_S$  vernachlässigbar klein.

## Fahrdynamische Versuche

Zusätzliche sichernde Kräfte bei kleinen Ladungsverschiebungen  
unter der Voraussetzung von Reibung an den oberen Ladungskanten



Rechenbeispiel in Anlehnung an Versuch 1:

$$\phi = 3^\circ$$

$$\cos \phi = 0,9986 \approx 1,00$$

$$\sin \phi = 0,0523 \approx 0,05$$

$$F_S = 413 \text{ daN} = (480 + 346) \text{ daN} / 2$$

$$\mu_{\text{unten}} = 0,4$$

$$\mu_{\text{oben}} = 0,2$$

$$F_{R, \text{unten}} = 413 \text{ daN} \cdot 0,4 = 165,2 \text{ daN}$$

$$F_{R, \text{oben}} = 413 \text{ daN} \cdot 0,2 = 82,6 \text{ daN}$$

$$F_S \cdot \sin \phi = 413 \text{ daN} \cdot 0,05 = 20,7 \text{ daN}$$

Die sichernde Kraft erhöht sich um ca. 8 %

## Fahrdynamische Versuche

### Versuch 2 – Überprüfung mit 5 Gurten (4 + 1)

Bei Versuch 2 wurde die Ladung entsprechend DIN EN 12195-1:2004 und VDI 2700 Blatt 2:2011 (GD) mit 5 Gurten gegen Rutschen gesichert.

Die erste Bremsung erfolgte mit einer Verzögerung von rund **0,9 g** über eine Zeit von 125 ms.

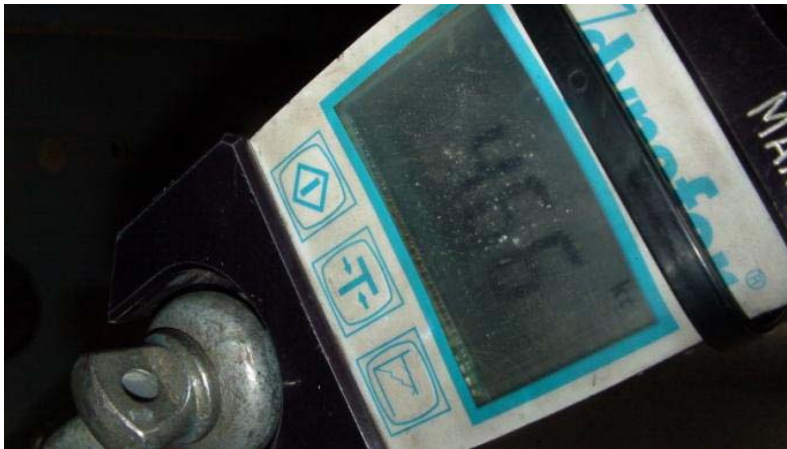
Das Ladegut blieb dabei an seiner Ausgangsposition.

Auch nach einer weiteren Bremsung mit einer Verzögerung von knapp **0,9 g** war kein Verrutschen der Ladung zu erkennen.



## Fahrdynamische Versuche

### Versuch 2 – Überprüfung mit 5 Gurten (4 + 1)



Eingestellte Vorspannkraft vor dem Versuch auf der Seite mit Spannmittel (466 daN)



Sich einstellende Vorspannkraft vor dem Versuch auf der Seite ohne Spannmittel (288 daN)

**Gemessene Vorspannkraften entsprechen einem k-Faktor von 1,62**

**Anmerkung:** Mit der dem k-Faktor entsprechenden Reibung an den oberen Kanten der Gitterboxen können sich zusätzliche sichernde Kräfte ergeben, die bei konventionellen Berechnungen unberücksichtigt sind.

## Fahrdynamische Versuche

### Versuch 2 – Überprüfung mit 5 Gurten (4 + 1)



Stand Gitterbox vor dem Versuch



Stand Gitterbox nach dem Versuch,  
kein Verrutschen erkennbar



## Fahrdynamische Versuche

### Ergebnis Versuch 2

Versuch 2 hat gezeigt, dass 5 Überspannungen für eine Sicherung gegen Rutschen selbst bei Verzögerungen von **0,9 g** ausreichend sind.

Das Ladegut blieb an seiner Ausgangsposition, ein Verrutschen war nicht zu erkennen.



## Fahrdynamische Versuche

### Versuch 3 – Überprüfung mit 4 Gurten (3 + 1)

Bei Versuch 3 wurde die Ladung mit 4 Gurten entsprechend VDI 2700 Blatt 2:2002 sowie DIN EN 12195-1:2011 gegen Rutschen gesichert.

Die erste Bremsung erfolgte hierbei mit einer Verzögerung von rund **0,95 g** über eine Zeit von 125 ms.

Die Ladung verrutschte minimal.

Hinsichtlich der Ursache für das minimale Verrutschen sollte zunächst ermittelt werden, inwiefern die Lücken zwischen Ladegut und Gitterbox (beobachtete Bewegung der Ladung innerhalb der Gitterbox) dieses Minimalverrutschen der Gitterbox verursacht hatten.

## Fahrdynamische Versuche

### Versuch 3 – Überprüfung mit 4 Gurten (3 + 1)



Eingestellte Vorspannkraft vor dem Versuch auf der Seite mit Spannmittel (479 daN)



Sich einstellende Vorspannkraft vor dem Versuch auf der Seite ohne Spannmittel (285 daN)

**Gemessene Vorspannkraften entsprechen einem k-Faktor von 1,60**

**Anmerkung:** Mit der dem k-Faktor entsprechenden Reibung an den oberen Kanten der Gitterboxen können sich zusätzliche sichernde Kräfte ergeben, die bei konventionellen Berechnungen unberücksichtigt sind.

## Fahrdynamische Versuche

### Versuch 3 – Überprüfung mit 4 Gurten (3 + 1)



Stand Gitterbox vor dem Versuch



Stand Gitterbox nach dem Versuch,  
minimale Verschiebung feststellbar



## Fahrdynamische Versuche

### Ergebnisse Versuch 3

Das Ladegut war bei Einwirkung der Verzögerung von **0,95 g** ohne Eingriff der Kopfschlinge minimal verrutscht.

Ursache des Verrutschens war offensichtlich eine Relativbewegung der Ladung mit anschließender Impulsübertragung auf die Gitterboxen.

Während des Verrutschens wirkt der gegenüber dem Haftreibbeiwert verringerte Gleitreibbeiwert.

Die minimale Bewegung der Ladung relativ zur Ladefläche wurde allein durch die Niederzurrung wieder vollständig abgebremst.

## Fahrdynamische Versuche

### Weitere Erkenntnisse aus Versuch 3 – Vorbereitung Versuch 4

Das Ladegut war innerhalb der Gitterbox nicht formschlüssig gelagert, sodass bei der Verzögerung von 0,95 g das Ladegut an die vordere Wand der Gitterbox schlug.

Dabei wurde ein Impuls auf die Gitterbox übertragen, der sie dann minimal verrutschen ließ.

Um diesen Einfluss im Weiteren auszuschließen, wurde durch entsprechende formschlüssige Maßnahmen das Ladegut innerhalb der Gitterbox gesichert.

Dies erfolgte mittels Kanthölzern, die zwischen Ladegut und Gitterbox gesteckt wurden.





## Fahrdynamische Versuche

### Versuch 4 – Überprüfung mit 4 Gurten (3 + 1)

Bei der folgenden Bremsung (mit Kanthölzern zwischen Ladegut und Gitterbox) wurde eine Verzögerung von knapp **0,9 g** über eine Zeit von 125 ms erreicht.

Die Gitterboxen waren standfest und es war keinerlei Verrutschen erkennbar.

Das zuvor festgestellte geringe Verrutschen war somit auf den kurzzeitig wirkenden Impuls infolge des Anstoßes des Ladegutes an den Wänden der Gitterbox zurückzuführen.

## Fahrdynamische Versuche

### Versuch 4 – Überprüfung mit 4 Gurten (3 + 1)



**Kanthölzer zwischen Ladegut und Gitterbox**



## Fahrdynamische Versuche

### Versuch 4 – Überprüfung mit 4 Gurten (3 + 1)



Eingestellte Vorspannkraft vor dem Versuch auf der Seite mit Spannmittel (485 daN)



Sich einstellende Vorspannkraft vor dem Versuch auf der Seite mit Spannmittel (344 daN)

**Gemessene Vorspannkraften entsprechen einem k-Faktor von 1,71**

**Anmerkung:** Mit der dem k-Faktor entsprechenden Reibung an den oberen Kanten der Gitterboxen können sich zusätzliche sichernde Kräfte ergeben, die bei konventionellen Berechnungen unberücksichtigt sind.

## Fahrdynamische Versuche

### Versuch 4 – Überprüfung mit 4 Gurten (3 + 1)



Position nach Versuch 3 war Ausgangsbasis



Kein weiteres Verrutschen nach dem Versuch erkennbar



## Fahrdynamische Versuche

### Ergebnis Versuche 3 und 4

Die Versuche 3 und 4 haben gezeigt, dass 4 Überspannungen für eine Sicherung gegen Rutschen mehr als ausreichend sind.

Das Ladegut blieb an seiner Ausgangsposition, nachdem ein Formschluss innerhalb der Gitterbox geschaffen worden war.

Ein Verrutschen war dann trotz der **deutlich über 0,8 g liegenden Verzögerung** nicht mehr zu erkennen.

# 5 Fazit

## Fazit

**Es kann nicht bestätigt werden, dass bei Anwendung der neuen DIN EN 12195-1:2011 eine auf die Verkehrssicherheit sich auswirkende Herabsetzung von Sicherungskräften entsteht.**

Bei Anwendung der alten DIN EN 12195-1:2004 ist die Ladung mit 1 Gurt, bezogen auf den DEKRA Praxisansatz sogar mit 2 Gurten übersichert.

Die Gitterboxen behalten ihre Ausgangsposition bei (geringfügige Verschiebung bei Versuch 1) und die Standfestigkeit der Ladung war nicht beeinträchtigt.

Dies bestätigt die Erkenntnis aus allen DEKRA Fahrversuchen, dass eine Ladungssicherung nach der alten VDI-Richtlinie 2700 Blatt 2: 2002 mit einfachem Berechnungsansatz (Faktor  $k = 2,0$ ) nicht zu einem unzulässigen Verrutschen der Ladung bei Einwirkung der geforderten Beschleunigungen führt.

**Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit!**



## Ihre Ansprechpartner in Ladungssicherungspraxis

**Dipl.- Ing.(FH) Karsten Wulhorst**

**Dipl.- Ing. Uwe Semsch**

**Dipl.- Ing.(FH) Thorsten Ludwig**

**Dipl.-Ing. Wolfgang Bühren**

**DEKRA Automobil GmbH**

**Niederlassung Bielefeld**

**Tel./Fax: 0521- 29905-20/-70**

oder [vorname.name@dekra.com](mailto:vorname.name@dekra.com)

