

# Forschungsbericht

## Untersuchungen zur Thematik der überbreiten niedergezurrtten Ladung auf Nutzfahrzeugen



**Forschungs- und Technologiezentrum  
Ladungssicherung Selm gGmbH  
Auf der Koppel 100**

**59379 Selm**

**Selm 21.10.2014**

Gefördert durch:



EUROPAISCHE UNION  
Investieren in unseren Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

Ministerium für Wirtschaft, Energie,  
Industrie, Mittelstand und Handwerk  
des Landes Nordrhein-Westfalen



An den durchgeführten Versuchen und der Erstellung dieser Studie haben mitgewirkt:

Prof. Dr.-Ing. Carsten Dorn, Steinbeis Forschungszentrum -  
Institut für Transportwesen und Logistik – ITL Bremerhaven, Bremerhaven

Rainer Elfring – Mitarbeiter der F&T LaSiSe, Leiter Institut

Marc Schmülling – Mitarbeiter der F&T LaSiSe

Malte Tien – wissenschaftliche Hilfskraft der F&T LaSiSe

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung</b>	<b>Seite 10</b>
<b>2. Problemstellung</b>	<b>Seite 10</b>
<b>3. Versuchsaufbau</b>	<b>Seite 13</b>
<b>3.1 Versuchsrahmen</b>	<b>Seite 13</b>
<b>3.2 Versuchskomponenten</b>	<b>Seite 14</b>
<b>3.2.1 Standard Sattelaufleger Code XL</b>	<b>Seite 14</b>
<b>3.2.2 Kantenschutz</b>	<b>Seite 15</b>
<b>3.2.3 Zurrmittel nach DIN EN 12195-2</b>	<b>Seite 17</b>
<b>3.2.4 Messtechnik</b>	<b>Seite 19</b>
<b>3.2.5 Versuchsumgebung</b>	<b>Seite 19</b>
<b>3.3 Versuchsaufbau</b>	<b>Seite 20</b>
<b>3.3.1 Versuchsaufbau 1</b>	<b>Seite 26</b>
<b>3.3.1.1 Allgemeiner Aufbau des Versuchsträgers</b>	<b>Seite 26</b>
<b>3.3.1.2 Variante I</b>	<b>Seite 31</b>
<b>3.3.1.3 Variante II</b>	<b>Seite 33</b>
<b>3.3.2 Versuchsaufbau 2</b>	<b>Seite 34</b>
<b>3.3.2.1 Allgemeiner Aufbau des Versuchsträgers</b>	<b>Seite 34</b>
<b>3.3.2.2 Variante I</b>	<b>Seite 37</b>
<b>3.3.2.3 Variante II</b>	<b>Seite 39</b>

<b>3.3.3 Versuchsaufbau 3</b>	<b>Seite 40</b>
<b>3.3.3.1 Allgemeiner Aufbau des Versuchsträgers</b>	<b>Seite 40</b>
<b>3.3.3.2 Variante I</b>	<b>Seite 44</b>
<b>3.3.3.3 Variante II</b>	<b>Seite 46</b>
<b>4. Versuchsdurchführung</b>	<b>Seite 47</b>
<b>5. Vorgehensweise bei der Versuchsauswertung</b>	<b>Seite 51</b>
<b>6. Ergebnisse</b>	<b>Seite 52</b>
<b>6.1 Erkenntnisse über die Vorspannkraftverluste</b>	<b>Seite 52</b>
<b>6.2 Bestimmungen der Reibwerte an Kantenschonern</b>	<b>Seite 54</b>
<b>6.3 Analyse der Kräfte im Zurrmittel</b>	<b>Seite 55</b>
<b>7. Schlussfolgerungen</b>	<b>Seite 60</b>
<b>8. Anlagen</b>	<b>Seite 61</b>
<b>8.1 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 1 KG 1</b>	<b>Seite 61</b>
<b>8.2 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 1 KG 2</b>	<b>Seite 61</b>
<b>8.3 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 1 KG 3</b>	<b>Seite 62</b>
<b>8.4 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 1 KG 4</b>	<b>Seite 62</b>
<b>8.5 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 2 KG 1</b>	<b>Seite 63</b>
<b>8.6 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 2 KG 2</b>	<b>Seite 63</b>
<b>8.7 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 2 KG 3</b>	<b>Seite 64</b>
<b>8.8 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 3 KG 1</b>	<b>Seite 64</b>
<b>8.9 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 3 KG 2</b>	<b>Seite 65</b>
<b>8.10 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 3 KG 3</b>	<b>Seite 65</b>
<b>8.11 Verhältnis - Gurtkräfte Spannelementposition 1 KG 1</b>	<b>Seite 66</b>

8.12	Verhältnis - Gurtkräfte Spannelementposition 1 KG 2	Seite 66
8.13	Verhältnis - Gurtkräfte Spannelementposition 1 KG 3	Seite 67
8.14	Verhältnis - Gurtkräfte Spannelementposition 1 KG 4	Seite 67
8.15	Verhältnis - Gurtkräfte Spannelementposition 2 KG 1	Seite 68
8.16	Verhältnis - Gurtkräfte Spannelementposition 2 KG 2	Seite 68
8.17	Verhältnis - Gurtkräfte Spannelementposition 2 KG 3	Seite 69
8.18	Verhältnis - Gurtkräfte Spannelementposition 3 KG 1	Seite 69
8.19	Verhältnis - Gurtkräfte Spannelementposition 3 KG 2	Seite 70
8.20	Verhältnis - Gurtkräfte Spannelementposition 3 KG 3	Seite 70
8.21	Reibungsbeiwerte Spannelementposition 1 KG 1	Seite 71
8.22	Reibungsbeiwerte Spannelementposition 1 KG 2	Seite 71
8.23	Reibungsbeiwerte Spannelementposition 1 KG 3	Seite 72
8.24	Reibungsbeiwerte Spannelementposition 1 KG 4	Seite 72
8.25	Reibungsbeiwerte Spannelementposition 2 KG 1	Seite 73
8.26	Reibungsbeiwerte Spannelementposition 2 KG 2	Seite 73
8.27	Reibungsbeiwerte Spannelementposition 2 KG 3	Seite 74
8.28	Reibungsbeiwerte Spannelementposition 3 KG 1	Seite 74
8.29	Reibungsbeiwerte Spannelementposition 3 KG 2	Seite 75
8.30	Reibungsbeiwerte Spannelementposition 3 KG 3	Seite 75
8.31	Summe der Kräfte in Y-Richtung - SP 1 KG 1	Seite 76
8.32	Summe der Kräfte in Y-Richtung - SP 1 KG 2	Seite 76
8.33	Summe der Kräfte in Y-Richtung - SP 1 KG 3	Seite 77
8.34	Summe der Kräfte in Y-Richtung - SP 1 KG 4	Seite 77

<b>8.35</b>	<b>Summe der Kräfte in Y-Richtung - SP 2 KG 1</b>	<b>Seite 78</b>
<b>8.36</b>	<b>Summe der Kräfte in Y-Richtung - SP 2 KG 2</b>	<b>Seite 78</b>
<b>8.37</b>	<b>Summe der Kräfte in Y-Richtung - SP 2 KG 3</b>	<b>Seite 79</b>
<b>8.38</b>	<b>Summe der Kräfte in Y-Richtung - SP 3 KG 1</b>	<b>Seite 79</b>
<b>8.39</b>	<b>Summe der Kräfte in Y-Richtung - SP 3 KG 2</b>	<b>Seite 80</b>
<b>8.40</b>	<b>Summe der Kräfte in Y-Richtung - SP 3 KG 3</b>	<b>Seite 80</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Seite
Abbildung 1: Freikörperbild - Variante I Position 1	11
Abbildung 2: Freikörperbild - Variante II Position 1	12
Abbildung 3: Versuchsrahmen	13
Abbildung 4: Sattelaufleger	14
Abbildung 5: Kantenschutz 1	15
Abbildung 6: Kantenschutz 2	15
Abbildung 7: Kantenschutz 3	16
Abbildung 8: Kantenschutz 4	16
Abbildung 9: Gurtband	17
Abbildung 10: Spannelement	18
Abbildung 11: Spannmittel / Losende	19
Abbildung 12: Versuchsaufbau - Gesamtsicht	21
Abbildung 13: Versuchsaufbau - linke Seite	22
Abbildung 14: Versuchsaufbau - rechte Seite	23
Abbildung 15: Versuchsaufbau - Auflager	24
Abbildung 16: Versuchsaufbau - Druckbock	24
Abbildung 17: Versuchsaufbau - Positionsskizze	25
Abbildung 18: Versuchsaufbau - Messstellenplan	25
Abbildung 19: Versuchsaufbau 1 - Gesamtsicht	26
Abbildung 20: Versuchsaufbau 1 - Position 1	27
Abbildung 21: Versuchsaufbau 1 - Position 2	28
Abbildung 22: Versuchsaufbau 1 - Position 3	29
Abbildung 23: Versuchsaufbau 1 - Position 4	30
Abbildung 24: Versuchsaufbau 1 - Position 5	31
Abbildung 25: Freikörperbild Variante I Position 1	31
Abbildung 26: Freikörperbild Variante II Position 1	33
Abbildung 27: Versuchsaufbau 2 - Gesamtsicht	35
Abbildung 28: Versuchsaufbau 2 - Position 1	35
Abbildung 29: Versuchsaufbau 2 - Position 2	36
Abbildung 30: Freikörperbild Variante I Position 2	37
Abbildung 31: Freikörperbild Variante II Position 2	39
Abbildung 32: Versuchsaufbau 3 - Gesamtsicht	41
Abbildung 33: Versuchsaufbau 3 - Position 2	42
Abbildung 34: Versuchsaufbau 3 - Position 3	43
Abbildung 35: Freikörperbild Variante I Position 3	44
Abbildung 36: Freikörperbild Variante II Position 3	46
Abbildung 37: Einbaulage Kantenschutz 1	49
Abbildung 38: Einbaulage Kantenschutz 2	49
Abbildung 39: Einbaulage Kantenschutz 3	50

<b>Abbildung</b>	<b>Seite</b>
Abbildung 40: Einbaulage Kantenschutz 4	50
Abbildung 41: Beispielhafter Verlauf der Vorspannkraft S1	51
Abbildung 42: Kraftverläufe - Auflagerkräfte und Kräfte im Zurrmittel	55
Abbildung 43: Kraftverläufe der gemessenen Kräfte im Zurrmittel	55
Abbildung 44: Zentrales Kräftesystem an den Kanten K1 und K4	56
Abbildung 45: überbreite Ladung	58



## Symbolverzeichnis

Beschreibung	Symbol	Einheit
Eulersche Zahl $e=2,71828$	$e$	-
Reibzahl an der Kante 1	$\mu_1$	-
Reibzahl an der Kante 2	$\mu_2$	-
Reibzahl an der Kante 3	$\mu_3$	-
Reibzahl an der Kante 4	$\mu_4$	-
Reibzahl am Auflager A	$\mu_A$	-
Reibzahl am Auflager B	$\mu_B$	-
Kraft, welche diagonal auf die Kante $K_1$ wirkt	$F_1$	N
Kraft, welche diagonal auf die Kante $K_2$ wirkt	$F_2$	N
Kante 1 des Versuchsträgers	$K_1$	-
Kante 2 des Versuchsträgers	$K_2$	-
Kante 3 des Versuchsträgers	$K_3$	-
Kante 4 des Versuchsträgers	$K_4$	-
Kräfte im System	$S_x$	N
Normalkräfte im System	$F_{Nx}$	N
Kraft am Druckbock	$S_{D1}$	N
Reibungskraft der Auflager	$S_{Rx}$	N
Spreizwinkel zwischen den Kräften $S_1$ und $S_2$	$\delta_1$	°
Spreizwinkel zwischen den Kräften $S_2$ und $S_3$	$\delta_2$	°
Spreizwinkel zwischen den Kräften $S_3$ und $S_4$	$\delta_3$	°
Spreizwinkel zwischen den Kräften $S_4$ und $S_5$	$\delta_4$	°
Spreizwinkel zwischen der Waagerechten und der Kraft $S_1$	$\alpha_1$	°
Spreizwinkel zwischen der Waagerechten und der Kraft $S_5$	$\alpha_2$	°
Masse	$m$	Kg
Erdbeschleunigung	$g$	$m/s^2$
Gleitreibbeiwert	$\mu$	-
Vertikalbeschleunigungswert nach unten	$f_v$	-
Beschleunigungswert	$f_{l,q}$	°
Übertragungsbeiwert	$k$	-
Wirksame Vorspannkraft	$F_{is}$	N

## 1. Einführung

In den bekannten Regelwerken und Vorschriften zur Ladungssicherung wird auf die Fragestellung, ob eine überbreite niedergezurrte Ladung auf der Ladefläche eines Nutzfahrzeuges eine Kraft erfährt, welche der Schwerkraft entgegen wirkt und wie sich die Sicherungskräfte im Zurrmittel in Abhängigkeit der Spannelementposition verhalten, nicht näher eingegangen. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde mittels eines Prüfaufbaus eine überbreite Ladung simuliert. Dabei wurden real auftretende Kräfte entlang der Zurrmittel gemessen. Auf dieser Basis konnten die theoretischen Überlegungen entsprechend verifiziert werden, sodass nunmehr erstmals entsprechende Erkenntnisse vorliegen, die in Fachkreisen als Grundlage zur Weiterentwicklung der Berechnungsansätze herangezogen werden können.

## 2. Problemstellung

Im Allgemeinen werden die Modelle der technischen Mechanik bei der ingenieurmäßigen Betrachtung der Ladungssicherung herangezogen. Hierbei stehen die wirkenden Normalkräfte immer senkrecht zu der jeweiligen Oberfläche des Systems. Die wirkenden Tangentialkräfte dagegen liegen bei der modellhaften Annahme immer innerhalb der jeweiligen Oberfläche des betrachteten Systems. Tangential- und Normalkräfte stehen dabei senkrecht zueinander.

In dem Fall einer überbreiten niedergezurrten Ladung gilt es nun, diese Theorie auf ihre Anwendbarkeit hin zu überprüfen. Da in der Realität die Körper sich unter den statischen und dynamischen Belastungen verformen, kann nicht immer von idealen Voraussetzungen ausgegangen werden. Insbesondere auch die Verwendung von sog. Kantenschutzsystemen könnte dazu führen, dass die modellhaften Überlegungen in der Theorie von der Realität abweichen. Damit wären die o. g. Annahmen nicht immer zutreffend. Die durchgeführten Untersuchungen bezogen sich daher auf die folgenden vom Grundsatz her unterschiedlichen Freikörperbilder.

Des Weiteren ist es das Ziel der Untersuchungen festzustellen, inwieweit der Zurr- oder Sicherungskraftverlust bei unterschiedlichen Kantenschutzsystemen in der Realität auftritt. Bei überbreiter niedergezurrter Ladung tritt der Effekt der Reibungsverluste an den Kanten der Ladung stärker in Erscheinung, da das Gurtband in der Regel über mehr als zwei Kanten umgelenkt wird.

Im Folgenden sind die entsprechenden Freikörperbilder, die modellhaft für die Untersuchung angenommen worden sind, zeichnerisch dargestellt.

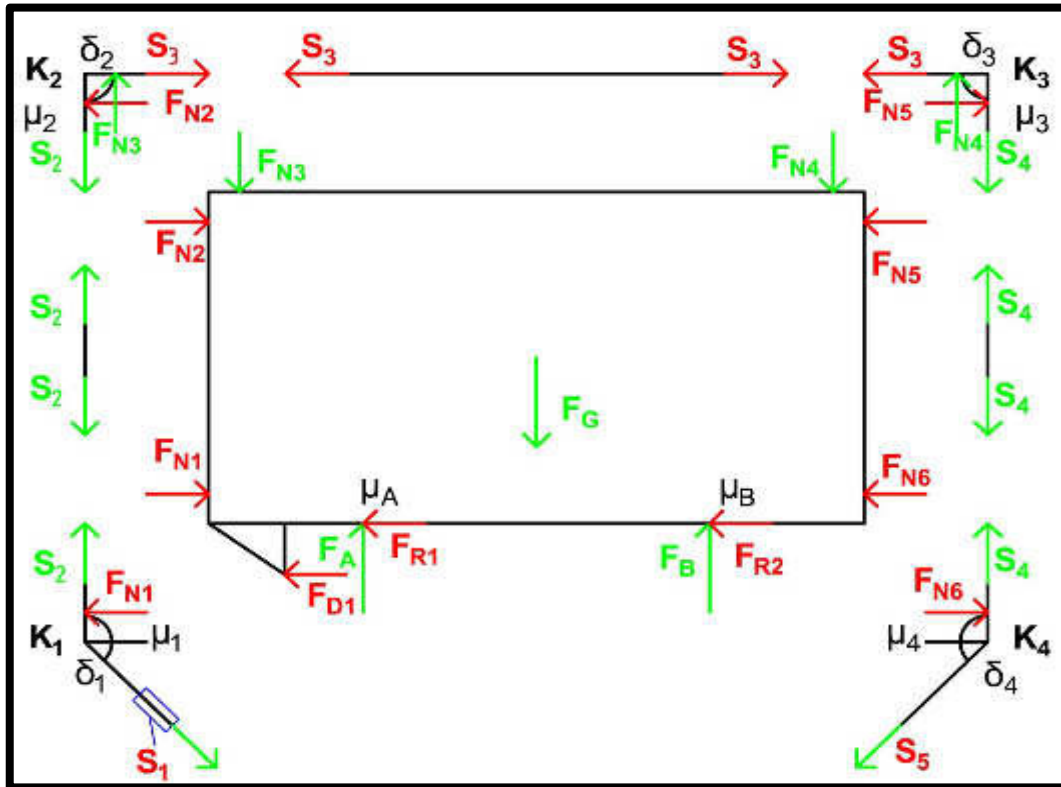


Abbildung 1: Freikörperbild - Variante I Position 1

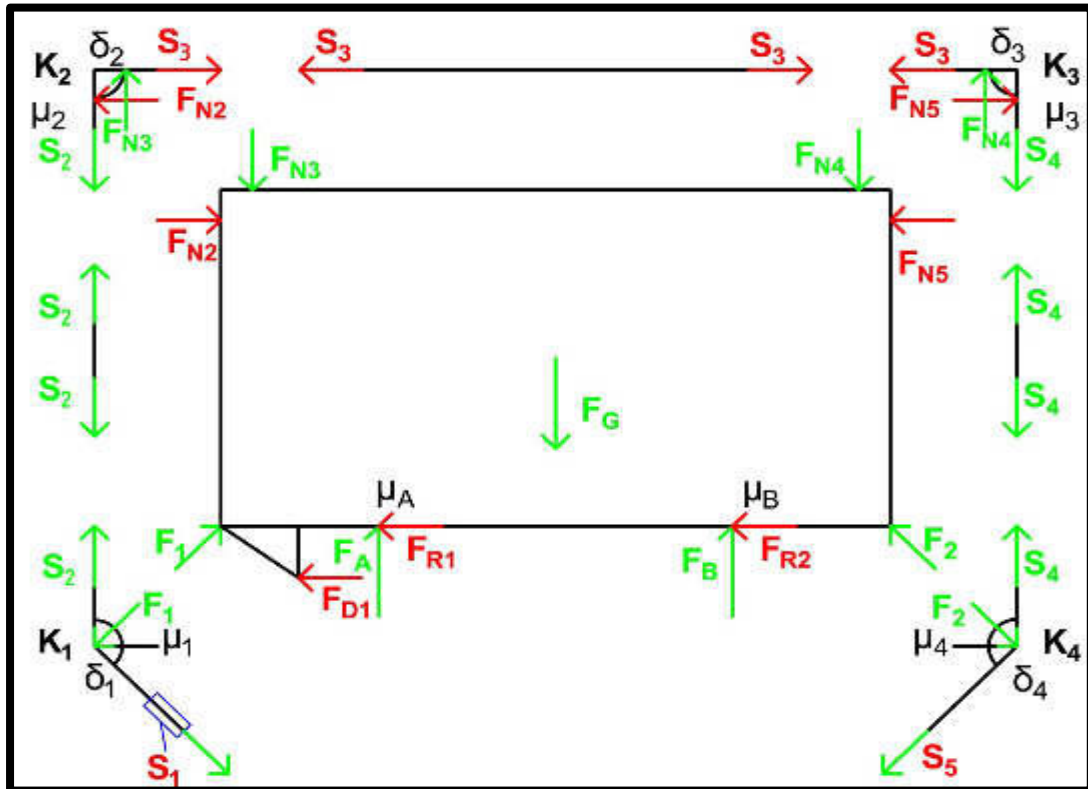


Abbildung 2: Freikörperbild - Variante II Position 1

### 3. Versuchsaufbau

#### 3.1 Versuchsrahmen

Der Versuchsrahmen wurde konstruiert, berechnet und als Einzelanfertigung aus Baustahl gefertigt.

Der äußere Rahmen wird aus U-140 ST-37 Profilen gebildet. Im Inneren des Rahmens wurden entsprechende Verstrebungen aus einem Quadratrohr 40x40x5 ST-37 angebracht, um den Rahmen möglichst zu versteifen, sodass keine nennenswerten Verformungen in Querrichtung auftreten. Bei der Berechnung wurde davon ausgegangen, dass nicht alle Kräfte symmetrisch wirken.

Die Ecken des Rahmens sind mit 10x10 cm Kunststoffklötzen versehen, welche als Auflage für die Kantenschutzwinkel dienen und das Aufliegen der unter Last stehenden Kraftmessdosen am Rahmen verhindern. Die Konstruktion hat sich im Rahmen der Versuchsdurchführung bewährt.



Abbildung 3: Versuchsrahmen

## 3.2 Versuchskomponenten

### 3.2.1 Standard Sattelaufleger Code XL

Hersteller: A

Modell: Profi Liner Bj. 2013

Ausführung: Curtainsider

Zustand: abgesattelt und waage ausgerichtet

Zurripunktfestigkeit der Zurrleiste: 2000 daN, 8000 daN/m



Abbildung 4: Sattelaufleger

### 3.2.2 Kantenschutz

Kantenschutz 1 (Orange), Hersteller: Hersteller A  
Modell: Kantenschutzwinkel 50mm, Material: PE  
k-Wert: Nicht angegeben



Abbildung 5: Kantenschutz 1

Kantenschutz 2 (Blau), Hersteller: Hersteller A  
Modell: PP-Kantenschutzwinkel 50mm, Material: PP  
k-Wert: 1,8



Abbildung 6: Kantenschutz 2

Kantenschutz 3 (Schwarz) Hersteller: Hersteller A  
Modell: Kantenschutzwinkel 50mm, Material: ABS  
k-Wert: 1,8



Abbildung 7: Kantenschutz 3

Kantenschutz 4, Hersteller: Hersteller B  
Modell: Langkantenschutz, Material: PE  
k-Wert: >1,5



Abbildung 8: Kantenschutz 4



### 3.2.3 Zurrmittel nach DIN EN 12195-2

Gurtband der Verbindungsstücke

Hersteller: Hersteller A

Gurtbandbreite: 50 mm

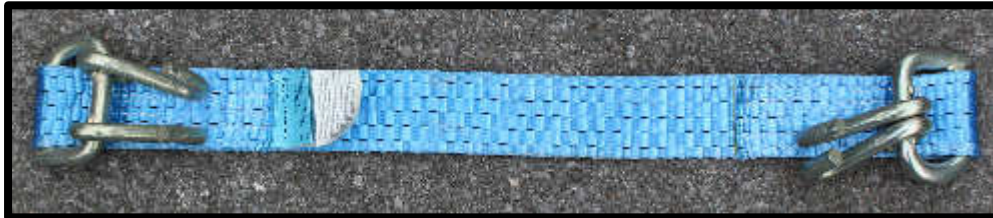
Gurtbandmaterial: PES

LC: 2500 daN

Farbe: Blau

Verbindungselement: Haken

Gebrauchszustand: Neuwertig



**Abbildung 9: Gurtband**

Spannelement

Hersteller: Hersteller A

Modell: Langhebelzugratsche

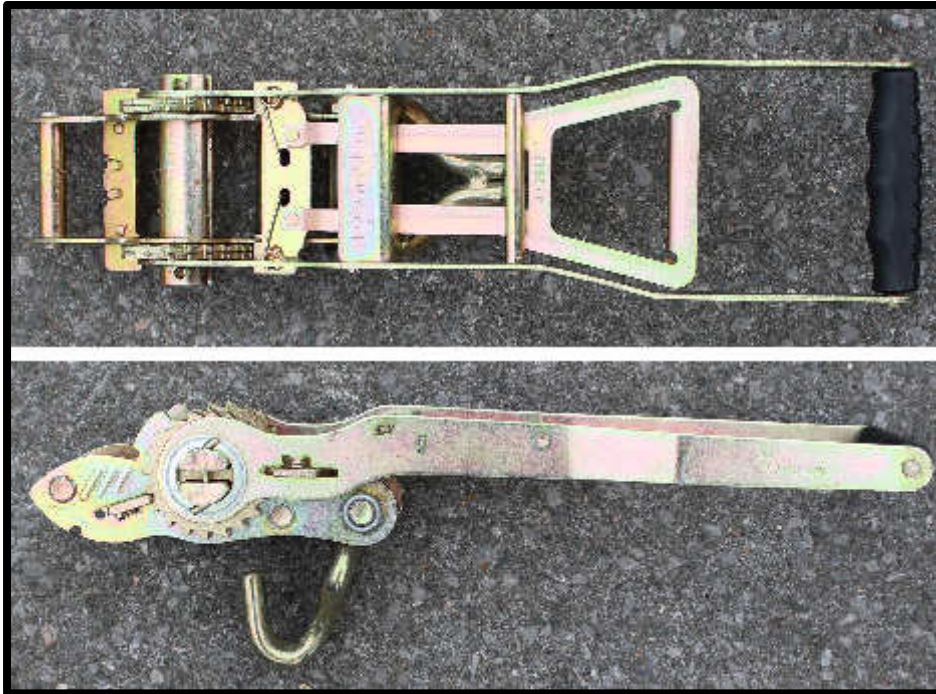
LC: 2500 daN

STF: 600 daN

SHF: 50 daN

Gebrauchszustand: Neuwertig

Besonderheit: Spitzhaken ist direkt am Spannelement befestigt, kein Gurtband am Spannelement.



**Abbildung 10: Spannelement**

**Losende für das Spannelement**

Hersteller: Hersteller A

Gurtbandbreite: 50 mm

Gurtbandmaterial: PES

LC: 2500 daN

Farbe: Orange

Verbindungselement: Doppelspitzhaken

Gebrauchszustand: Gebraucht, keine erkennbaren Schäden, keine

Ablegereife



Abbildung 11: Spannmittel / Losende

### 3.2.4 Messtechnik

Datenlogger

Typ: HBM CX22-W

Messverstärker

Typ: HBM MX840A

Kraftmessdosen 50kN

Typ: HBM U9C 50kN

Winkelmesser

Typ: DigiPas DWL180S

Messbereich: 0-90°

Auflösung: 0,05°

Genauigkeit:  $\pm 0,05^\circ$  bei 0° und 90°

$\pm 0,20^\circ$  zwischen 1° und 89°

### 3.2.5 Versuchsumgebung

31.07.2014

Ort: Auf der Koppel 100, 59379 Selm

Temperatur: 25,50°C

Sonnig ohne Wolken

Gefördert durch:



EUROPEISCHE UNION  
Investitionen in unsere Zukunft  
Europäische Fonds  
für regionale Entwicklung

Ministerium für Wirtschaft, Energie,  
Industrie, Mittelstand und Handwerk  
des Landes Nordrhein-Westfalen



01.08.2014

Ort: Auf der Koppel 100, 59379 Selm

Temperatur: 27,50°C

Sonnig bis leicht bewölkt

### 3.3 Versuchsaufbau

Der Rahmen wurde auf den Kraftmessdosen F-50-HD16 und F-50-HD18 aufliegend auf die LKW-Ladefläche senkrecht gestellt und gegen Umfallen gesichert. Zur Versteifung wurde der Rahmen mit einer Fachwerkkonstruktion versehen. Der Druckbock linker Hand nahm die Querkräfte mit der Kraftmessdose F-50-HD17 auf. Die in der Skizze dargestellten Punkte P1 bis P5 (Abbildung 17) wurden je nach Versuchsaufbau mit Kraftmessdosen und/oder Zurr-Ratschen ausgestattet. Die Eckpunkte des Rahmens, an welchen der Gurt umgelenkt wurde, sind dann im Rahmen der Versuchsdurchführungen jeweils mit unterschiedlichen Kantenschonern versehen worden.

Die Positionen 1 bis 3 der Spannelemente wurden ausgewählt, da diese auch in der Praxis möglich sind. Auf die Spannelementpositionen an den Positionen der Kraftmessdosen F-50-HD1 und F-50-HD5 wurde verzichtet, da es sich um einen symmetrischen Versuchsaufbau handelte.

Der Versuchsrahmen wurde im vorderen Drittel des Aufliegers positioniert, da sich dort der Hauptrahmen des Trailers (Doppel-T-Profil) über die Trailerlänge nach hinten betrachtet nicht mehr verändert und hier auch die Kurbelstützen vorhanden waren, um den Trailer entsprechend abzustützen. Da der Trailer zwar eine entsprechende Verwindungssteifigkeit hat, war diese Vorgehensweise unumgänglich, um mögliche Fehler auszuschließen. Auf Grund der unterschiedlichen Kraftsituationen hätte der Trailer ansonsten auch entsprechend minimal tordiert werden können.

Im Nachfolgenden sind nach der Gesamtübersicht aller Messpositionen nur noch Positionen bebildert, welche sich aufgrund der Änderung der Position der Spannelemente verändert haben. Weiter nicht dargestellte Positionen entsprechen dem zuletzt davor genannten Zustand.



**Abbildung 12: Versuchsaufbau - Gesamtsicht**

Gefördert durch:



EUROPÄISCHE UNION  
Investitionen in unsere Zukunft  
Europäische Fonds  
für regionale Entwicklung

Ministerium für Wirtschaft, Energie,  
Industrie, Mittelstand und Handwerk  
des Landes Nordrhein-Westfalen



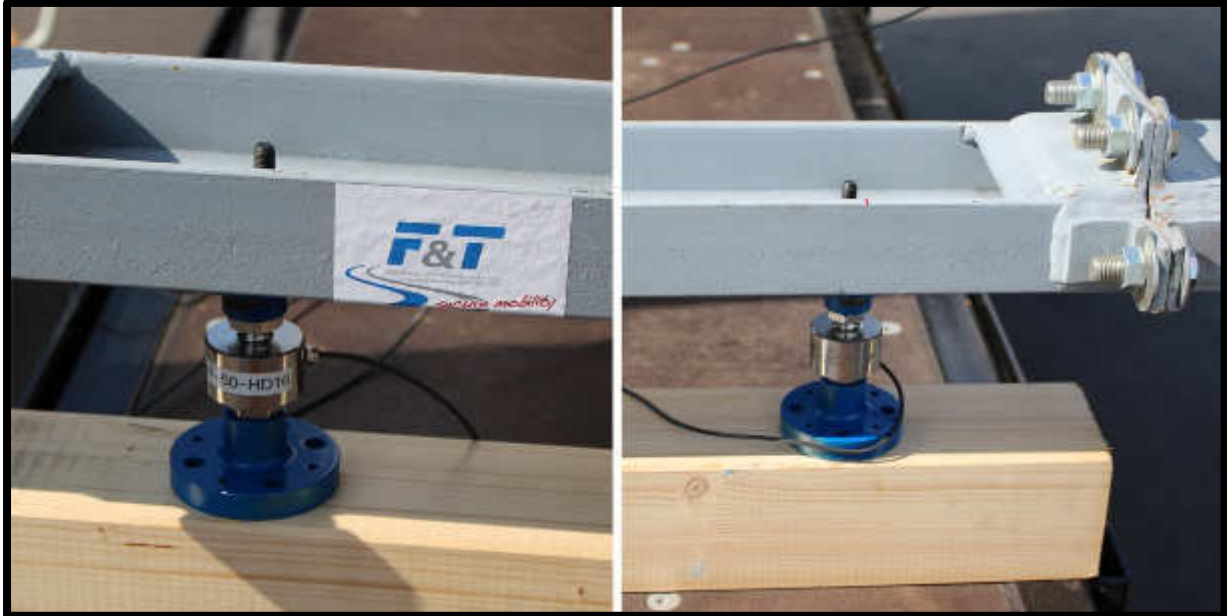


**Abbildung 13: Versuchsaufbau - linke Seite**

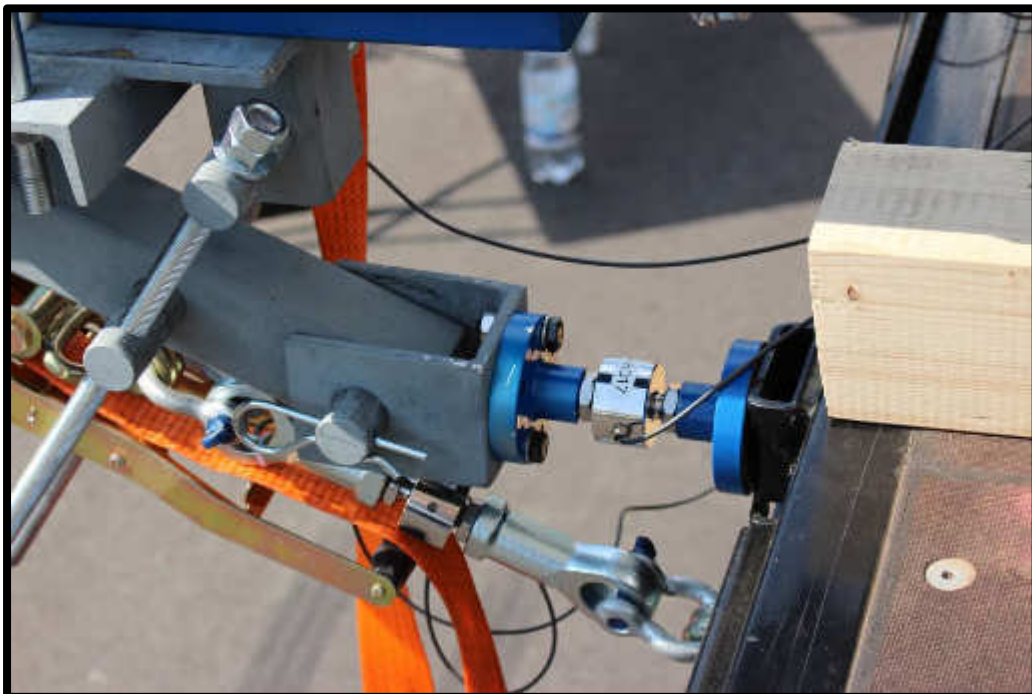
**Hinweis:** Der im Bild oben vorhandene Gurt (grün) wurde nur zur Fixierung des Rahmens angebracht, damit dieser nicht kippt. Während der Durchführung der Versuchsreihen waren diese Gurte locker, damit keine Kräfte an dieser Stelle übertragen werden. Es handelt sich hier nicht um eine neue Variante der Ladungssicherung. An den Rungen darf nicht angeschlagen werden. Darauf weisen wir deutlich hin.



**Abbildung 14: Versuchsaufbau - rechte Seite**



**Abbildung 15: Versuchsaufbau - Auflager**



**Abbildung 16: Versuchsaufbau - Druckbock**



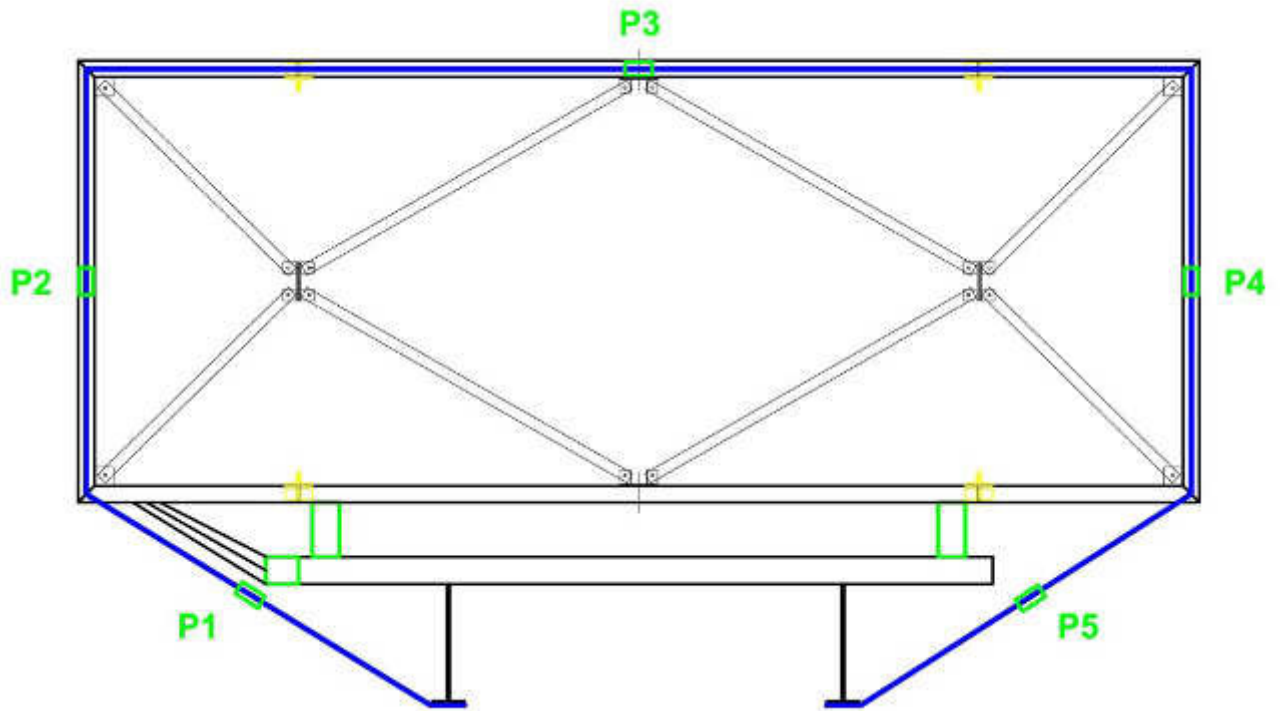


Abbildung 17: Versuchsaufbau - Positionsskizze

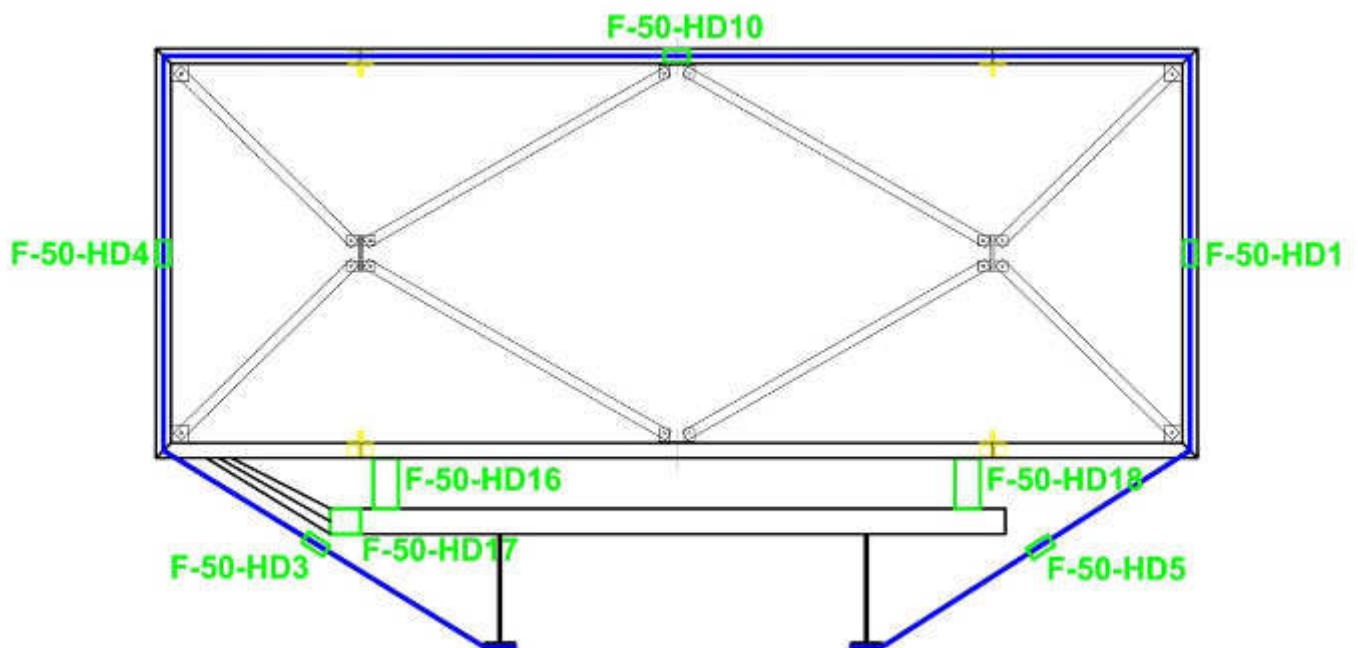


Abbildung 18: Versuchsaufbau - Messstellenplan

### 3.3.1 Versuchsaufbau 1

#### 3.3.1.1 Allgemeiner Aufbau

P1: Kraftmessdose F-50-HD3 mit Langhebelzugratsche

P2: Kraftmessdose F-50-HD4

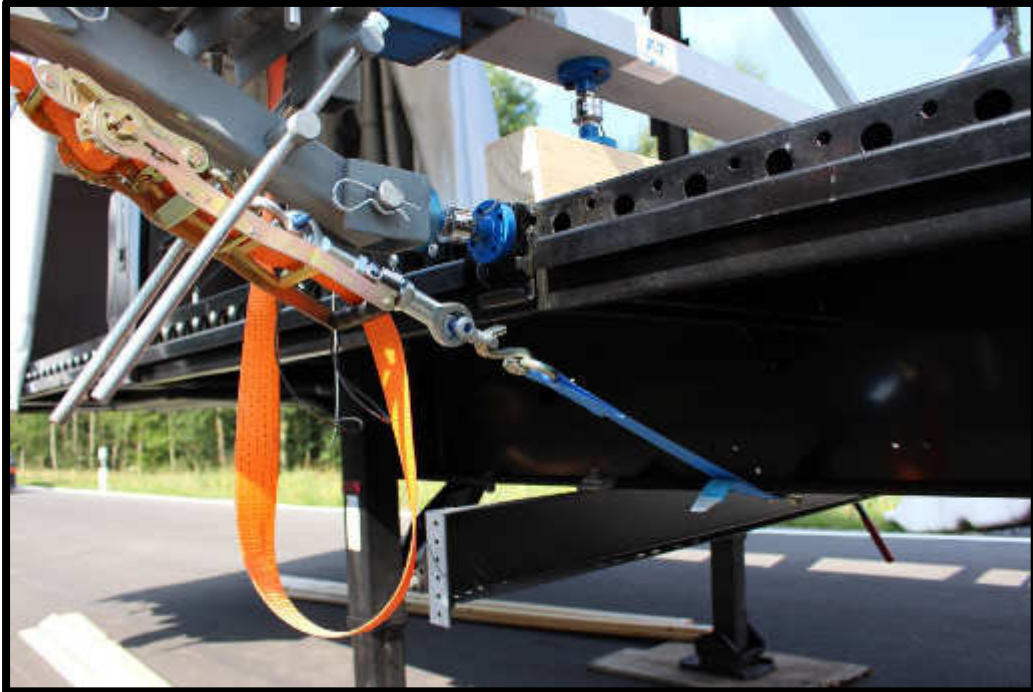
P3: Kraftmessdose F-50-HD10

P4: Kraftmessdose F-50-HD1

P5: Kraftmessdose F-50-HD5



Abbildung 19: Versuchsaufbau 1 - Gesamtsicht



**Abbildung 20: Versuchsaufbau 1 - Position 1**



**Abbildung 21: Versuchsaufbau 1 - Position 2**



**Abbildung 22: Versuchsaufbau 1 - Position 3**



**Abbildung 23: Versuchsaufbau 1 - Position 4**

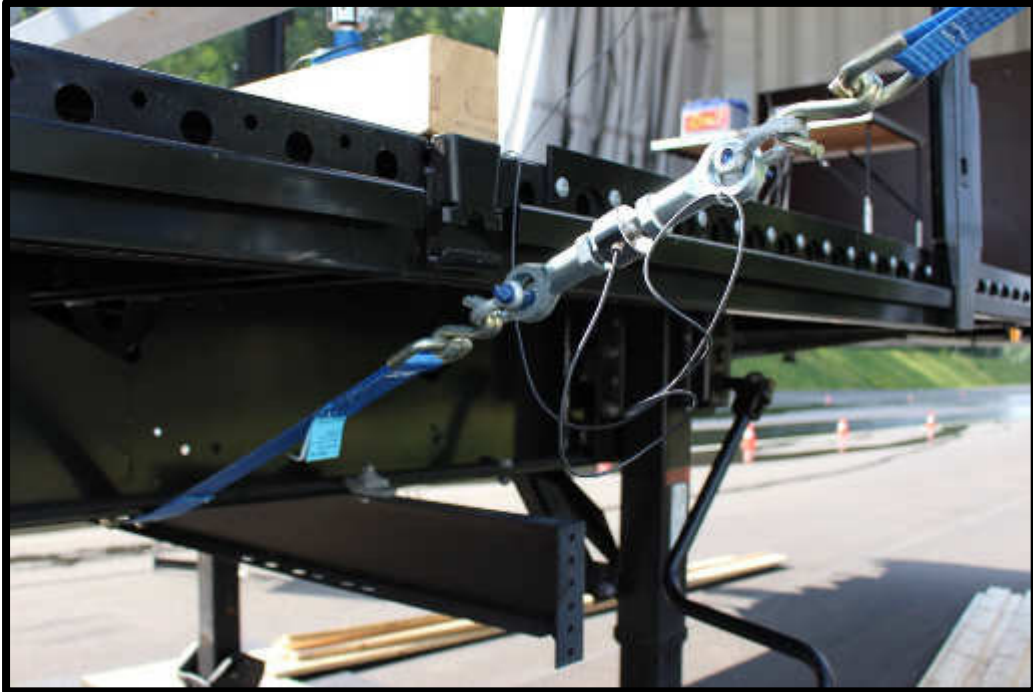


Abbildung 24: Versuchsaufbau 1 - Position 5

### 3.3.1.2 Variante I

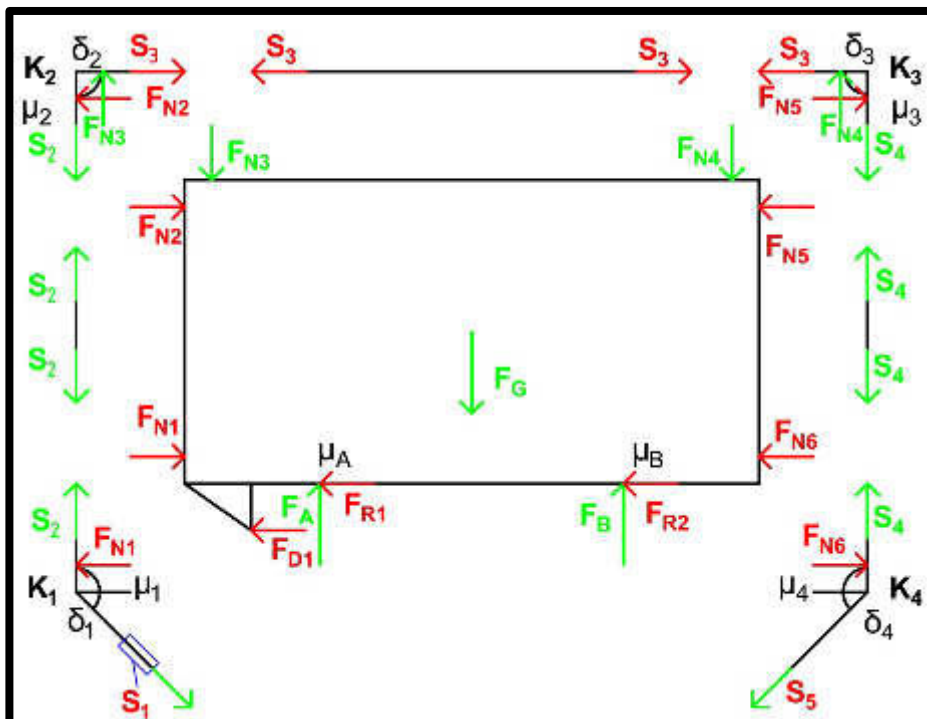


Abbildung 25: Freikörperbild Variante I Position 1

Für die Kraftsituation am Versuchsträger gilt Folgendes:

Es gilt im Punkt K<sub>1</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = -F_{N1} + S_1 * \cos(\delta_1 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 1})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = S_2 - S_1 * \sin(\delta_1 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 2})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_1 = S_2 * e^{\mu_1 * \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) \cdot (180^\circ - \delta_1)} \quad (\text{Gl. 3})$$

Es gilt im Punkt K<sub>2</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = -F_{N2} + S_2 \quad (\text{Gl. 4})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -S_2 + F_{N3} \quad (\text{Gl. 5})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_2 = S_3 * e^{\mu_2 * \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) \cdot \delta_2} \quad (\text{Gl. 6})$$

Es gilt im Punkt K<sub>3</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = +F_{N5} - S_3 \quad (\text{Gl. 7})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -S_4 + F_{N4} \quad (\text{Gl. 8})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_3 = S_4 * e^{\mu_3 * \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) \cdot \delta_3} \quad (\text{Gl. 9})$$

Es gilt im Punkt K<sub>4</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = +F_{N6} - S_5 * \cos(\delta_4 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 10})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = S_4 - S_5 * \sin(\delta_4 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 11})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_4 = S_5 * e^{\mu_4 * \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) \cdot (180^\circ - \delta_4)} \quad (\text{Gl. 12})$$

Für den Rahmen gilt:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = F_{N1} + F_{N2} - F_{N5} - F_{N6} - F_{R1} - F_{R2} - F_{D1} \quad (\text{Gl. 13})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -F_{N3} - F_G - F_{N4} + F_A + F_B \quad (\text{Gl. 14})$$



### 3.3.1.3 Variante II

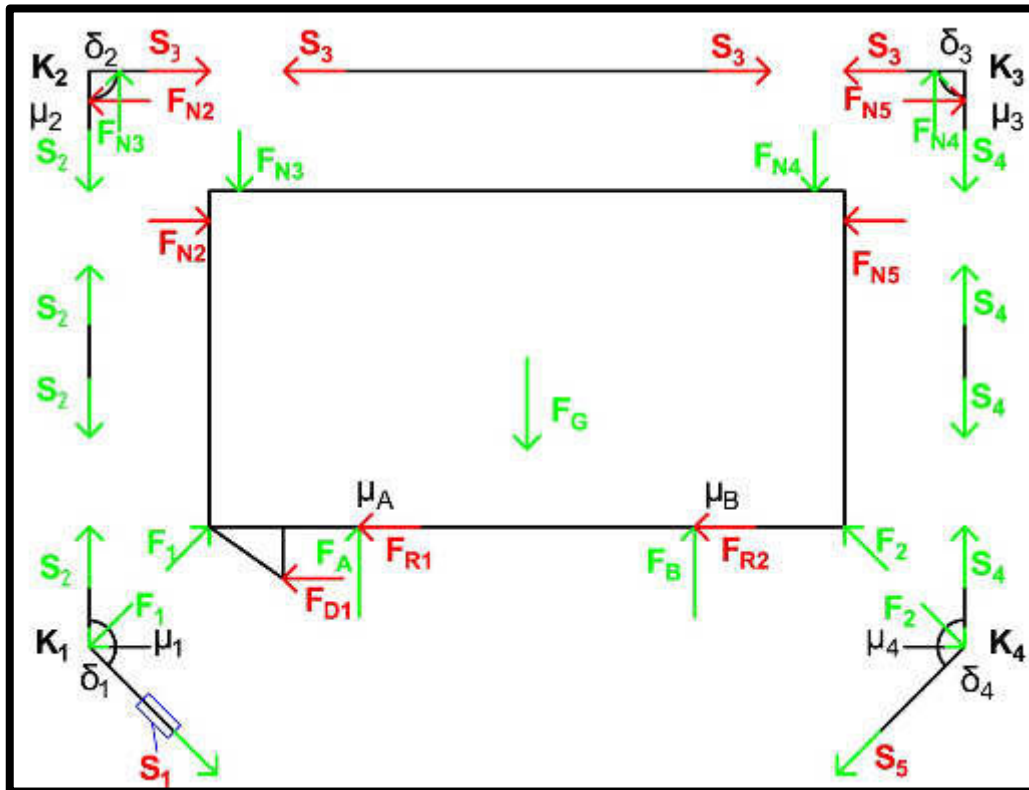


Abbildung 26: Freikörperbild Variante II Position 1

Hier gilt für die Kraftsituation am Versuchsträger Folgendes:

Es gilt im Punkt  $K_1$ :

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = -F_{1x} + S_1 \cdot \cos(\delta_1 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 15})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -F_{1y} - S_1 \cdot \sin(\delta_1 - 90^\circ) + S_2 \quad (\text{Gl. 16})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_1 = S_2 \cdot e^{\mu_1 \cdot \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) \cdot (180^\circ - \delta_1)} \quad (\text{Gl. 17})$$

Es gilt im Punkt  $K_2$ :

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = -F_{N2} + S_2 \quad (\text{Gl. 18})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -S_2 + F_{N3} \quad (\text{Gl. 19})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_2 = S_3 \cdot e^{\mu_2 \cdot \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) \cdot \delta_2} \quad (\text{Gl. 20})$$

Es gilt im Punkt K<sub>3</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = +F_{N5} - S_3 \quad (\text{Gl. 21})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -S_4 + F_{N4} \quad (\text{Gl. 22})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_3 = S_4 * e^{\mu_3 * (\frac{\pi}{180^\circ}) \cdot \delta_3} \quad (\text{Gl. 23})$$

Es gilt im Punkt K<sub>4</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = +F_{2x} - S_5 * \cos(\delta_4 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 24})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -F_{2y} - S_5 * \sin(\delta_4 - 90^\circ) + S_4 \quad (\text{Gl. 25})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_4 = S_5 * e^{\mu_4 * (\frac{\pi}{180^\circ}) \cdot (180^\circ - \delta_4)} \quad (\text{Gl. 26})$$

Ferner gilt für den Versuchsrahmen unter den Gesichtspunkten der Statik:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = F_{1x} - F_{2x} + F_{N2} - F_{N5} - F_{R1} - F_{R2} - F_{D1} \quad (\text{Gl. 27})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -F_{N3} - F_{N4} - F_G + F_{1y} + F_{2y} + F_A + F_B \quad (\text{Gl. 28})$$

## 3.3.2 Versuchsaufbau 2

### 3.3.2.1 Allgemeiner Aufbau

P1: Kraftmessdose F-50-HD3

P2: Kraftmessdose F-50-HD4 mit Langhebelzugratsche

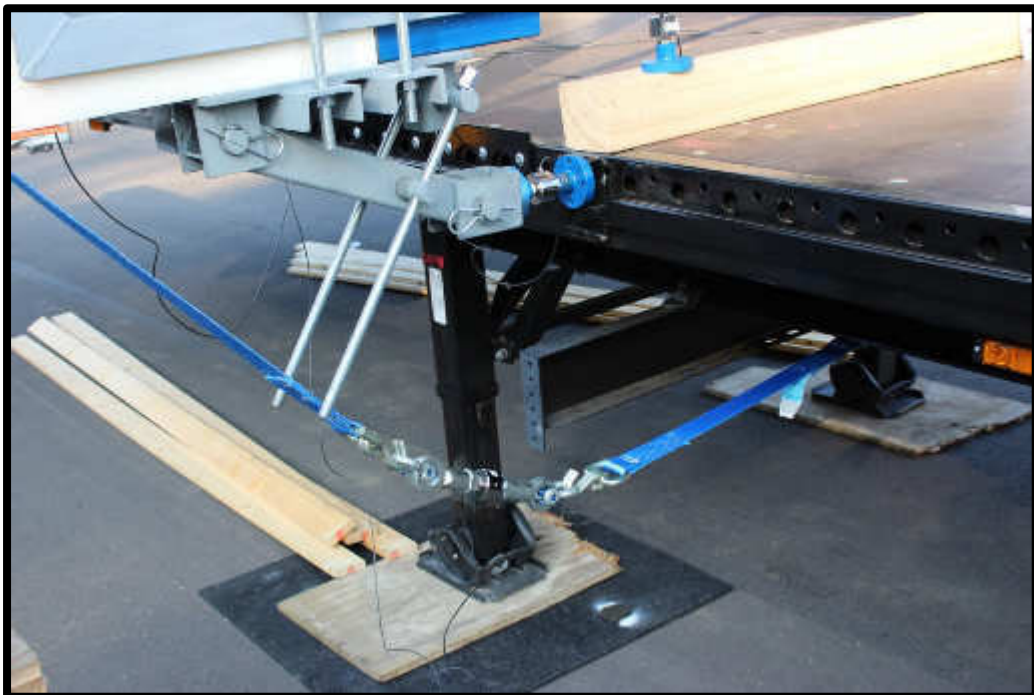
P3: Kraftmessdose F-50-HD10

P4: Kraftmessdose F-50-HD1

P5: Kraftmessdose F-50-HD5



**Abbildung 27: Versuchsaufbau 2 - Gesamtsicht**



**Abbildung 28: Versuchsaufbau 2 - Position 1**



**Abbildung 29: Versuchsaufbau 2 - Position 2**

### 3.3.2.2 Variante I

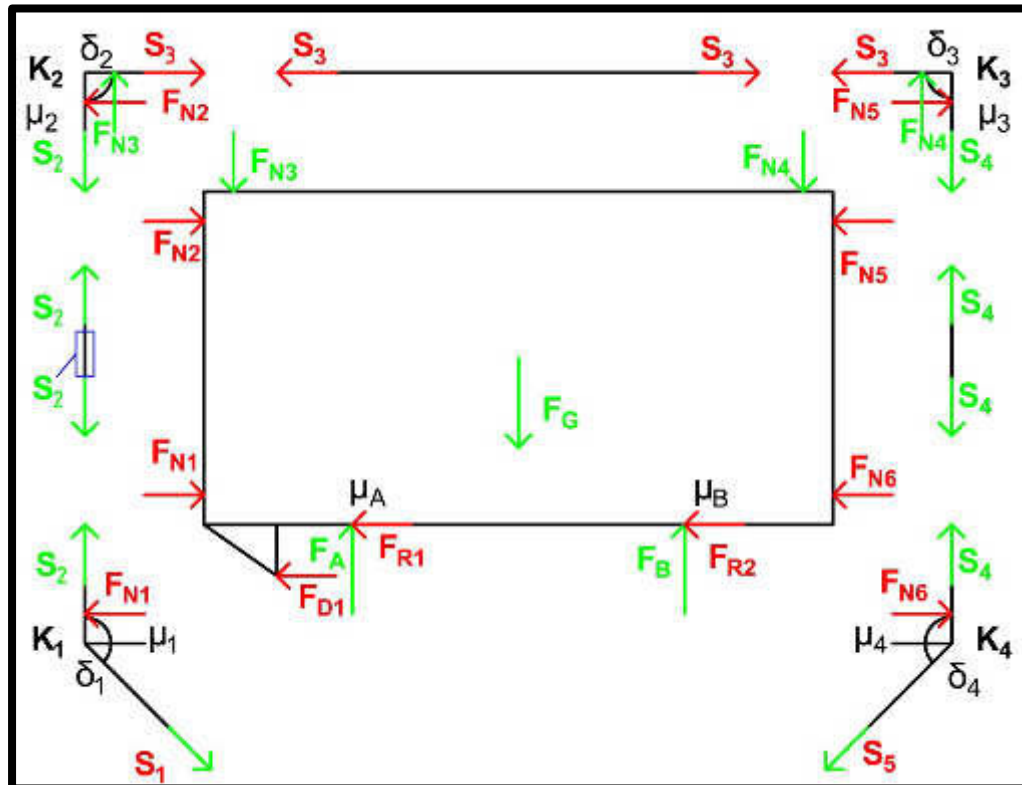


Abbildung 30: Freikörperbild Variante I Position 2

Hier gilt nun Folgendes:

Es gilt im Punkt K<sub>1</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = -F_{N1} + S_1 \cdot \cos(\delta_1 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 29})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = S_2 - S_1 \cdot \sin(\delta_1 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 30})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_2 = S_1 \cdot e^{\mu_1 \cdot \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) \cdot (180^\circ - \delta_1)} \quad (\text{Gl. 31})$$

Es gilt im Punkt K<sub>2</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = -F_{N2} + S_2 \quad (\text{Gl. 32})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -S_2 + F_{N3} \quad (\text{Gl. 33})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_2 = S_3 \cdot e^{\mu_2 \cdot \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) \cdot \delta_2} \quad (\text{Gl. 34})$$

Es gilt im Punkt K<sub>3</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = +F_{N5} - S_3 \quad (\text{Gl. 35})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -S_4 + F_{N4} \quad (\text{Gl. 36})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_3 = S_4 * e^{\mu_3 * (\frac{\pi}{180^\circ}) \cdot \delta_3} \quad (\text{Gl. 37})$$

Es gilt im Punkt K<sub>4</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = +F_{N6} - S_5 * \cos(\delta_4 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 38})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = S_4 - S_5 * \sin(\delta_4 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 39})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_4 = S_5 * e^{\mu_4 * (\frac{\pi}{180^\circ}) \cdot (180^\circ - \delta_4)} \quad (\text{Gl. 40})$$

Für den Rahmen gilt:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = F_{N1} + F_{N2} - F_{N5} - F_{N6} - F_{R1} - F_{R2} - F_{D1} \quad (\text{Gl. 41})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -F_{N3} - F_G - F_{N4} + F_A + F_B \quad (\text{Gl. 42})$$

### 3.3.2.3 Variante II

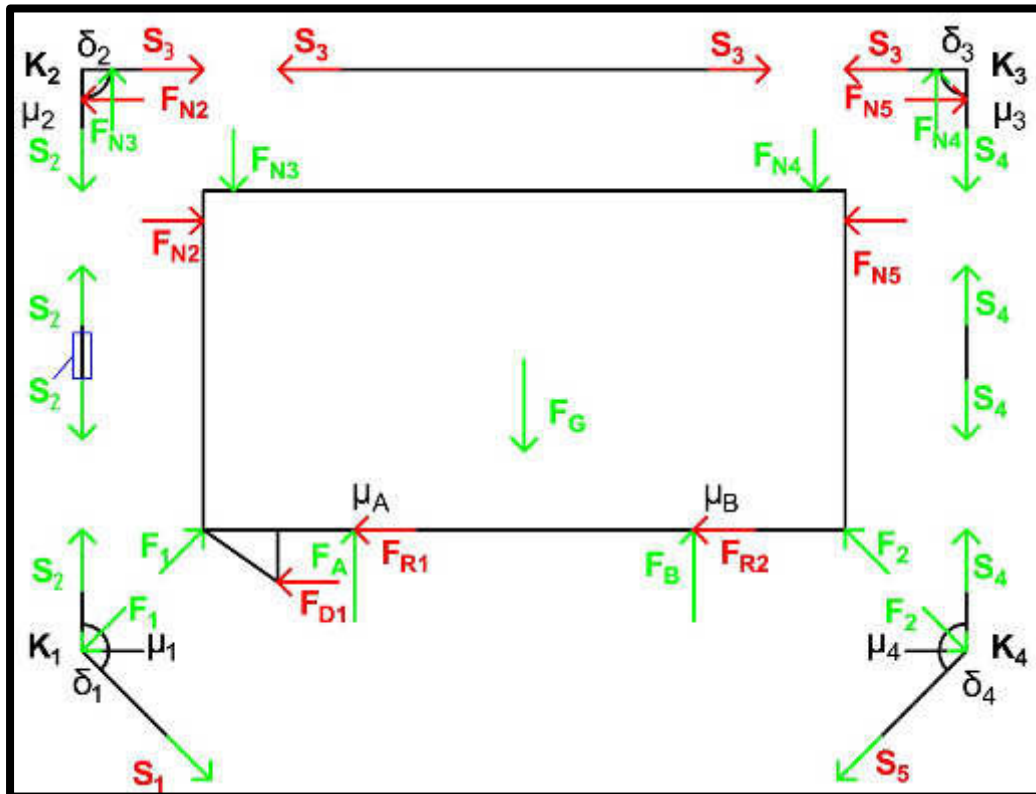


Abbildung 31: Freikörperbild Variante II Position 2

Hier gilt:

Es gilt im Punkt K<sub>1</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = -F_{1x} + S_1 * \cos(\delta_1 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 43})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -F_{1y} - S_1 * \sin(\delta_1 - 90^\circ) + S_2 \quad (\text{Gl. 44})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_2 = S_1 * e^{\mu_1 * (\frac{\pi}{180^\circ}) * (180^\circ - \delta_1)} \quad (\text{Gl. 45})$$

Es gilt im Punkt K<sub>2</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = -F_{N2} + S_2 \quad (\text{Gl. 46})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -S_2 + F_{N3} \quad (\text{Gl. 47})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_2 = S_3 * e^{\mu_2 * (\frac{\pi}{180^\circ}) * \delta_2} \quad (\text{Gl. 48})$$

Es gilt im Punkt K<sub>3</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = +F_{N5} - S_3 \quad (\text{Gl. 49})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -S_4 + F_{N4} \quad (\text{Gl. 50})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_3 = S_4 * e^{\mu_3 * (\frac{\pi}{180^\circ}) \cdot \delta_3} \quad (\text{Gl. 51})$$

Es gilt im Punkt K<sub>4</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = +F_{2x} - S_5 * \cos(\delta_4 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 52})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -F_{2y} - S_5 * \sin(\delta_4 - 90^\circ) + S_4 \quad (\text{Gl. 53})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_4 = S_5 * e^{\mu_4 * (\frac{\pi}{180^\circ}) \cdot (180^\circ - \delta_4)} \quad (\text{Gl. 54})$$

Für den Rahmen gilt:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = F_{1x} - F_{2x} + F_{N2} - F_{N5} - F_{R1} - F_{R2} - F_{D1} \quad (\text{Gl. 55})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -F_{N3} - F_{N4} - F_G + F_{1y} + F_{2y} + F_A + F_B \quad (\text{Gl. 56})$$

### 3.3.3 Versuchsaufbau 3

#### 3.3.3.1 Allgemeiner Aufbau

P1: Kraftmessdose F-50-HD3

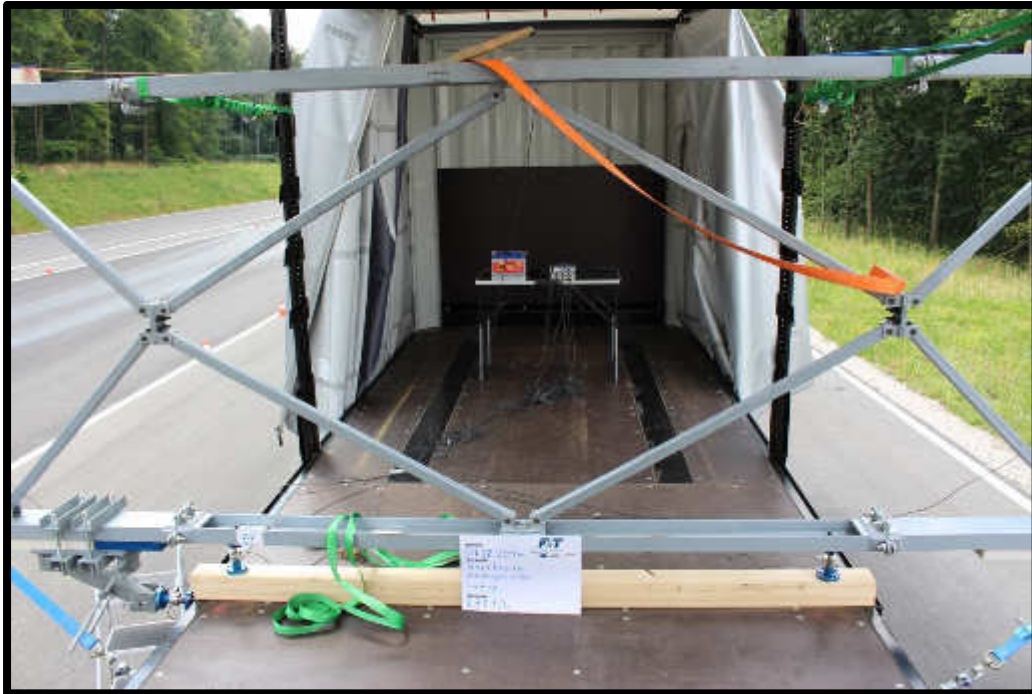
P2: Kraftmessdose F-50-HD4

P3: Kraftmessdose F-50-HD10 mit Langhebelzugratsche

P4: Kraftmessdose F-50-HD1

P5: Kraftmessdose F-50-HD5





**Abbildung 32: Versuchsaufbau 3 - Gesamtsicht**



**Abbildung 33: Versuchsaufbau 3 - Position 2**



**Abbildung 34: Versuchsaufbau 3 - Position 3**

### 3.3.3.2 Variante I

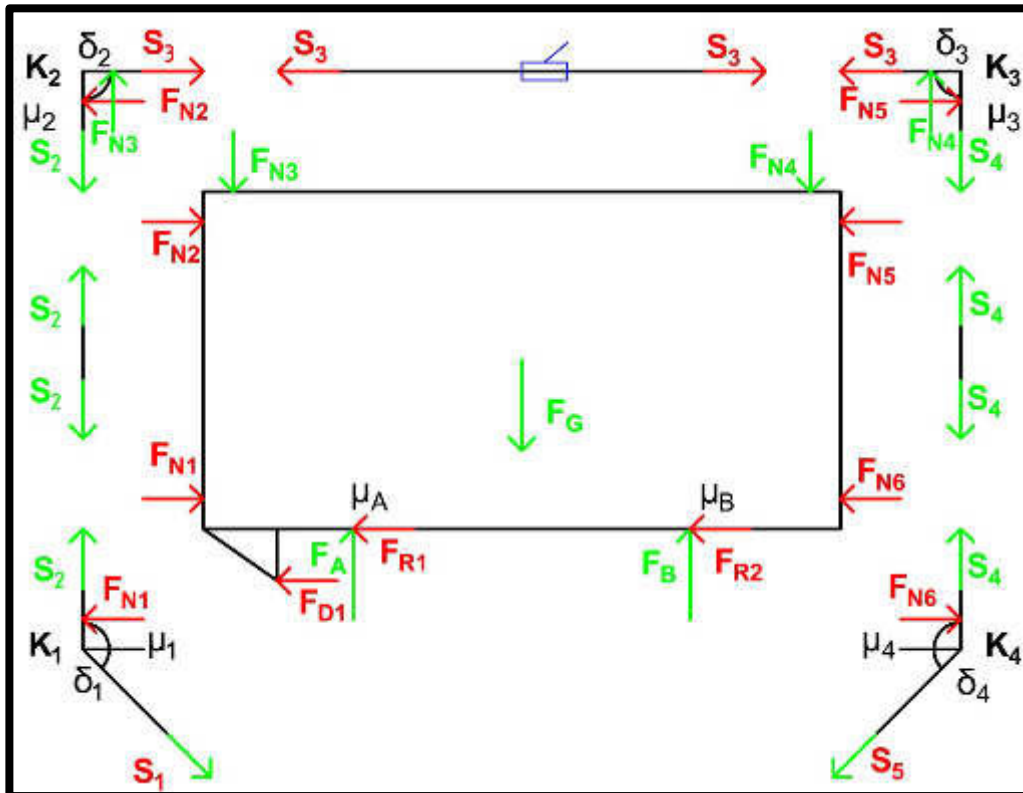


Abbildung 35: Freikörperbild Variante I Position 3

Es gilt:

Es gilt im Punkt  $K_1$ :

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = -F_{N1} + S_1 \cdot \cos(\delta_1 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 57})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = S_2 - S_1 \cdot \sin(\delta_1 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 58})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_2 = S_1 \cdot e^{\mu_1 \cdot \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) \cdot (180^\circ - \delta_1)} \quad (\text{Gl. 59})$$

Es gilt im Punkt  $K_2$ :

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = -F_{N2} + S_2 \quad (\text{Gl. 60})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -S_2 + F_{N3} \quad (\text{Gl. 61})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_3 = S_2 \cdot e^{\mu_2 \cdot \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) \cdot \delta_2} \quad (\text{Gl. 62})$$

Es gilt im Punkt K<sub>3</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = +F_{N5} - S_3 \quad (\text{Gl. 63})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -S_4 + F_{N4} \quad (\text{Gl. 64})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_3 = S_4 * e^{\mu_3 * (\frac{\pi}{180^\circ}) \cdot \delta_3} \quad (\text{Gl. 65})$$

Es gilt im Punkt K<sub>4</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = +F_{N6} - S_5 * \cos(\delta_4 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 66})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = S_4 - S_5 * \sin(\delta_4 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 67})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_4 = S_5 * e^{\mu_4 * (\frac{\pi}{180^\circ}) \cdot (180^\circ - \delta_4)} \quad (\text{Gl. 68})$$

Für den Rahmen gilt:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = F_{N1} + F_{N2} - F_{N5} - F_{N6} - F_{R1} - F_{R2} - F_{D1} \quad (\text{Gl. 69})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -F_{N3} - F_G - F_{N4} + F_A + F_B \quad (\text{Gl. 70})$$

### 3.3.3.3 Variante II

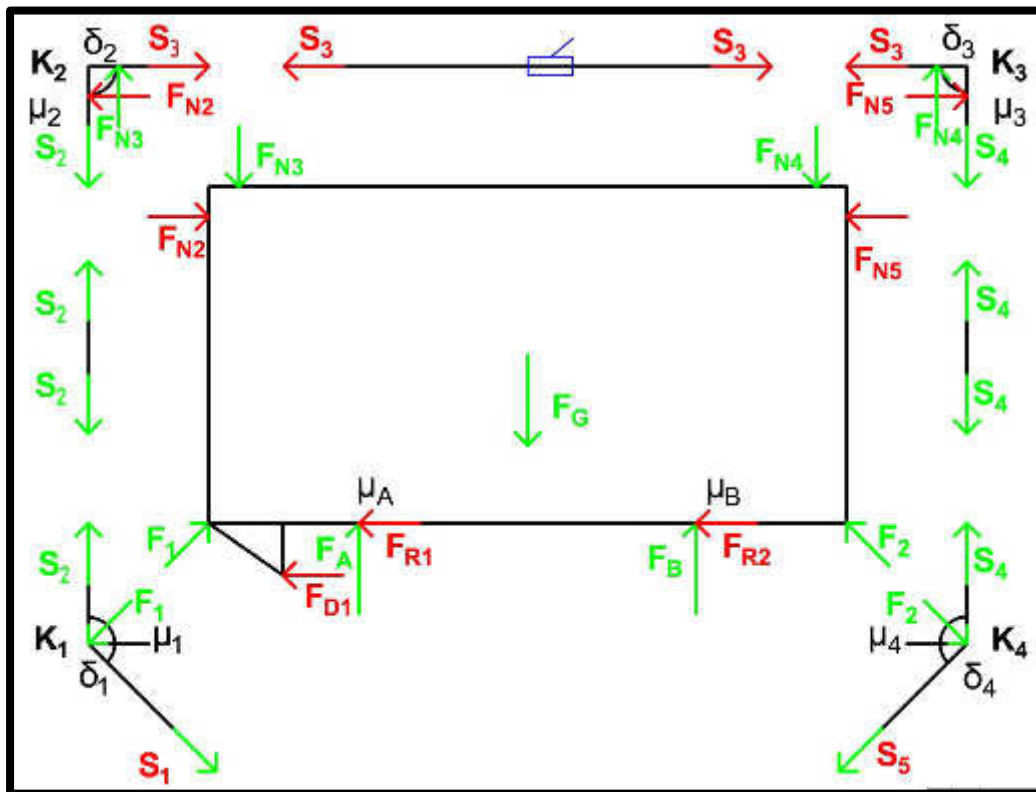


Abbildung 36: Freikörperbild Variante II Position 3

Es gelten hier folgende Annahmen:

Es gilt im Punkt K<sub>1</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = -F_{1x} + S_1 \cdot \cos(\delta_1 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 71})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -F_{1y} - S_1 \cdot \sin(\delta_1 - 90^\circ) + S_2 \quad (\text{Gl. 72})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_2 = S_1 \cdot e^{\mu_1 \cdot \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) \cdot (180^\circ - \delta_1)} \quad (\text{Gl. 73})$$

Es gilt im Punkt K<sub>2</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = -F_{N2} + S_2 \quad (\text{Gl. 74})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -S_2 + F_{N3} \quad (\text{Gl. 75})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_3 = S_2 \cdot e^{\mu_2 \cdot \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) \cdot \delta_2} \quad (\text{Gl. 76})$$

Es gilt im Punkt K<sub>3</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = +F_{N5} - S_3 \quad (\text{Gl. 77})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -S_4 + F_{N4} \quad (\text{Gl. 78})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_3 = S_4 * e^{\mu_3 * (\frac{\pi}{180^\circ}) \cdot \delta_3} \quad (\text{Gl. 79})$$

Es gilt im Punkt K<sub>4</sub>:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = +F_{2x} - S_5 * \cos(\delta_4 - 90^\circ) \quad (\text{Gl. 80})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -F_{2y} - S_5 * \sin(\delta_4 - 90^\circ) + S_4 \quad (\text{Gl. 81})$$

$$\text{Ferner gilt: } S_4 = S_5 * e^{\mu_4 * (\frac{\pi}{180^\circ}) \cdot (180^\circ - \delta_4)} \quad (\text{Gl. 82})$$

Für den Rahmen gilt:

$$\rightarrow^+ \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; 0 = F_{1x} - F_{2x} + F_{N2} - F_{N5} - F_{R1} - F_{R2} - F_{D1} \quad (\text{Gl. 83})$$

$$\uparrow^+ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0; 0 = -F_{N3} - F_{N4} - F_G + F_{1y} + F_{2y} + F_A + F_B \quad (\text{Gl. 84})$$

## 4. Versuchsdurchführung

Vor dem Messbeginn wurden sämtliche Kraftmessenrichtungen einem „Reset“ unterzogen. Die Gewichtskraft des Rahmens sowie die Vorspannung der Kraftmessdose am seitlichen Druckbock wurden dabei gleich null gesetzt. Sämtliche aufgenommenen Kräfte sind Kräfte, welche alleinig unter der Aufbringung der Vorspannkraft des jeweiligen Spannelements entstanden sind.

Die Langhebelzugratsche wurde mindestens bis zum Erreichen der etikettierten Vorspannkraft (STF) von Hand gespannt. Durch die konstruktionsbedingte Zahnteilung wurde die STF teilweise etwas überschritten.

Die Kraftverläufe wurden während des Spanns des Gurtes aufgezeichnet und visuell dargestellt. Nach einer Setzphase von zwei Minuten nach dem Erreichen der STF wurde die Messung beendet. Innerhalb dieser Setzphase wurden mit dem digitalen

Winkelmesser die Winkel des Gurtbandes zur Waagerechten an den Positionen 1 und 5 durch Auflegen auf das Gurtband ermittelt.

Die Abtastrate beträgt 1200 Hz unter der Verwendung eines Butterworth Tiefpaßfilters mit einer Grenzfrequenz von 100 Hz.

Die Durchführung erfolgte in drei Durchgängen für die Spannelementpositionen 1 bis 3 mit jeweiliger Variation der Kantenschoner.

Spannelement auf Position 1:

- Kantenschoner 1 (Orange)
- Kantenschoner 2 (Blau)
- Kantenschoner 3 (Schwarz)
- Kantenschoner 4 (Schwarz)

Spannelement auf Position 2:

- Kantenschoner 1 (Orange)
- Kantenschoner 2 (Blau)
- Kantenschoner 3 (Schwarz)

Spannelement auf Position 3:

- Kantenschoner 1 (orange)
- Kantenschoner 2 (blau)
- Kantenschoner 3 (schwarz)

Von der weiteren Verwendung des Kantenschoners 4 wurde nach der ersten Spannelementposition abgesehen. Der Grund lag in der starken elastischen Verformung des Kantenschoners durch die Vorspannkräfte. Diese hätte die weiteren Messergebnisse über Gebühr verfälscht. Jeder Versuch wurde dann insgesamt 10 mal durchgeführt, um die Erkenntnisse statistisch abzusichern.



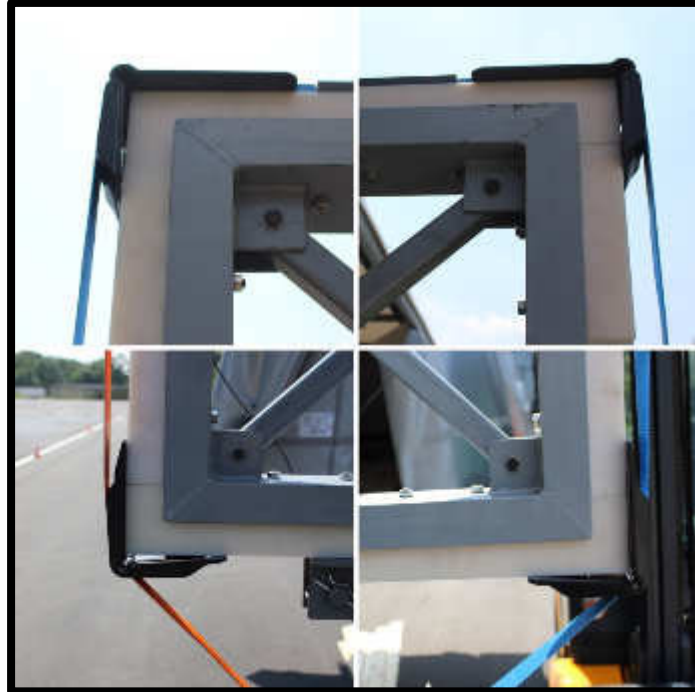
Die Anbringung des Kantenschutzes ist in den folgenden Abbildungen dargestellt.



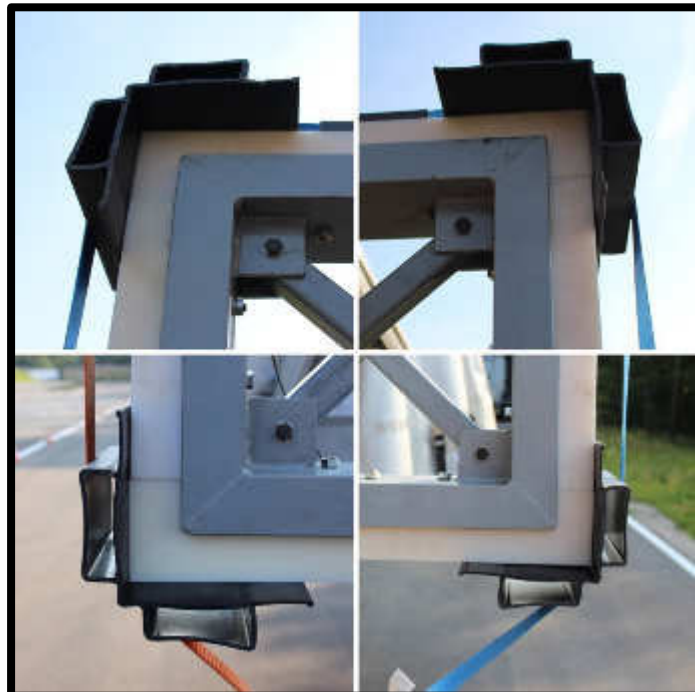
**Abbildung 37: Einbaulage Kantenschutz 1**



**Abbildung 38: Einbaulage Kantenschutz 2**



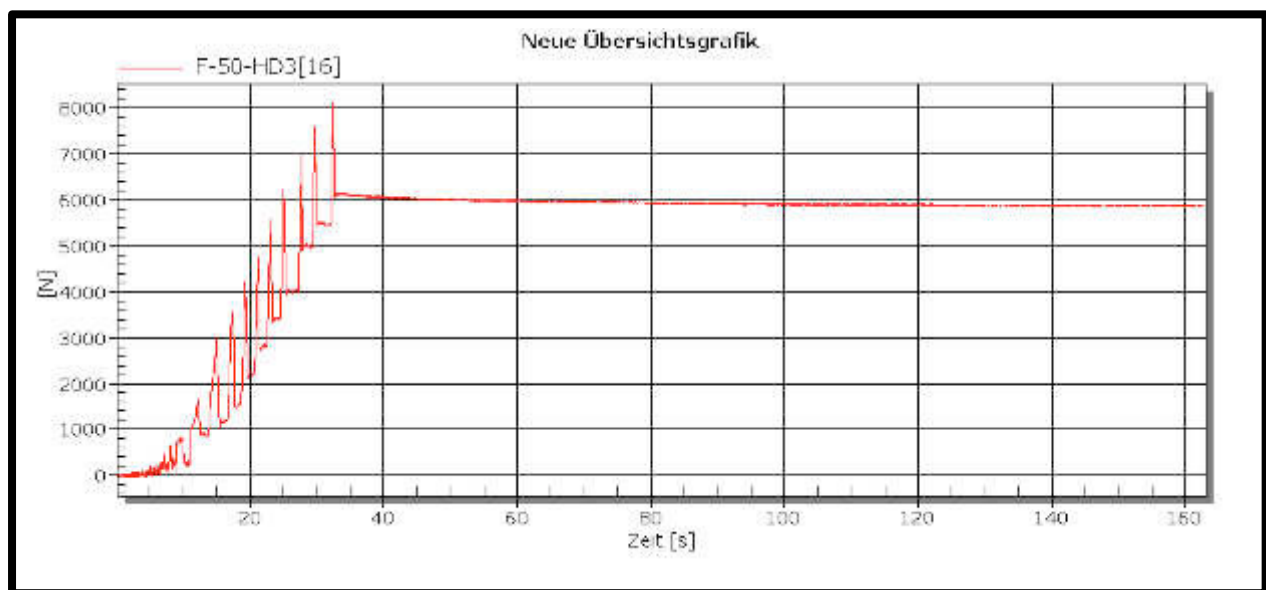
**Abbildung 39: Einbaulage Kantenschutz 3**



**Abbildung 40: Einbaulage Kantenschutz 4**

## 5. Vorgehensweise bei der Versuchsauswertung

Die gemessenen Daten wurden zunächst alle entsprechend gesichtet. Vom Grundsatz her ist nur der Zeitpunkt von Interesse, bei dem die jeweilige für die Versuchsreihe definierte Vorspannkraft erreicht worden ist und ein Kräfteausgleich stattgefunden hat. In der Abbildung 41 ist beispielhaft ein solcher Verlauf dargestellt.



**Abbildung 41: Beispielhafter Kraftverlauf der Vorspannkraft S1**

Es ist deutlich zu erkennen, dass nach der Aufbringung der Vorspannkraft durch das Spannelement ein annähernd konstanter Kraftverlauf vorhanden ist. Nur dieser Bereich wurde für die weitere Auswertung herangezogen. Somit wurde für jede gemessene Kraft der Kurvenverlauf gesichtet und ein Zeitfenster mit konstantem Kraftverlauf für die weitere Betrachtung herangezogen. Dieser Zeitraum betrug im Mittel mehr als 1 Minute. Da die durchgeführten Messungen insgesamt jeweils mehr als zwei Minuten andauerten, waren genügend Messdaten vorhanden, um eine entsprechende Mittelwertbildung des annähernd konstant verlaufenden Kraftverlaufes vorzunehmen. Hier wurden im Schnitt mehr als 70.000 Messwerte pro Kanal verarbeitet (konstanter Kraftverlauf). Diese jeweils berechneten Mittelwerte der jeweiligen Kräfte sind im Anhang tabellarisch für die jeweiligen Parameterkonstellationen aufgeführt.

## 6. Ergebnisse

### 6.1 Erkenntnisse über die Vorspannkraftverluste

Im Rahmen der Versuchsdurchführung wurden die jeweiligen Kräfte gemessen. Die Ergebnisse dieser Messungen sind für die unterschiedlichen Kantenschoner sowie auch die unterschiedlichen Positionen der Spannelemente im Anhang dargestellt. Da an den Kanten entsprechende Reibungseinflüsse vorhanden sind, können die jeweiligen angrenzenden Kräfte in Relation gesetzt werden. Somit ergeben sich die folgenden Daten für die jeweiligen Mittelwerte der Versuchsreihen.

#### Für Position 1 des Spannelementes

	$S_2/S_1$	$S_3/S_2$	$S_4/S_3$	$S_5/S_4$	$S_5/S_1$
KS 1	-	0,76	0,74	0,84	0,47
KS 2	0,92	0,86	0,83	0,89	0,58
KS 3	-	0,83	0,77	0,84	0,57
KS 4	-	0,86	0,79	0,94	0,62

#### Für Position 2 des Spannelementes

	$S_2/S_1$	$S_3/S_2$	$S_4/S_3$	$S_5/S_4$	$S_5/S_1$
KS 1	-	-	0,78	0,85	0,62
KS 2	-	-	0,81	0,87	0,71
KS 3	-	-	0,8	0,86	0,68

#### Für Position 3 des Spannelementes

	$S_2/S_1$	$S_3/S_2$	$S_4/S_3$	$S_5/S_4$	$S_5/S_1$
KS 1	0,87	0,84	0,84	0,89	1,02
KS 2	0,9	0,86	0,86	0,88	0,99
KS 3	0,87	-	0,91	0,91	1,01

Wo das Verhältnis größer als 1 gewesen ist, wurde keine Mittelwertberechnung durchgeführt. Hier entspricht das Kräfteverhältnis nicht den theoretischen Erwartungen. Dies hängt damit zusammen, dass beim Spannen über den Zahnkranz und die Sperrklinke entsprechend hohe Spannkraften aufgebracht werden. Sofern das nächste Zahnelement nicht mehr erreicht worden ist, hat die Zurrkraft auf der Seite des Spannelementes etwas nachgelassen. Bedingt durch die Reibung am Kantenschutz ist somit die ursprünglich etwas geringfügig erhöhte Kraft erhalten geblieben und die Kräfte im Spannmittel am Kantenschutzwinkel haben sich umgekehrt. Dieser Sachverhalt spiegelt sich auch deutlich in den jeweiligen Messdaten wider.

- Grundsätzlich ist festzuhalten, dass es bei jeder Umlenkung einen entsprechenden Kraftverlust gibt. Bei Betrachtung der o.g. Kennwerte ist dieser Verlust teilweise doch sehr beachtlich. Es ist festzuhalten, dass dieser Kraftverlust infolge der Reibung zwischen Spannmittel und Kantenschutz / Ladung sich negativ auf die nach unten wirkende Normalkrafterhöhung auswirkt. Im Rahmen von Schulungen zur Ladungssicherung ist auf diesen Umstand deutlich hinzuweisen. Insbesondere bei überbreiten Ladegütern, bei welchen mindestens vierfache Umlenkungen vorhanden sein können, ist dieser Sachverhalt erheblich. Auch die Kombinationen der Zurrmittel und Kantenschutzwinkel können unterschiedliche Reibbeiwerte vorweisen.
- Ferner ist zu erkennen, dass auch die Position des Zurrmittels einen entsprechenden Einfluss hat. Die beste Sicherungswirkung im Rahmen der Niederzurrung wird erzielt, wenn das Spannmittel sich auf der Position 3 befindet. Hier ist der Vorspannkraftverlust auf beiden Seiten sozusagen am geringsten, d.h. die Ladung wird symmetrisch beansprucht und es bilden sich nur geringe Querkräfte, welche ein Verschieben der Ladung zu einer Seite hin begünstigen. Das Verhältnis  $S_5/S_1$  beträgt hier annähernd 1.
- Bei der Spannmittelposition 1 sowie auch der Spannmittelposition 2 beträgt das Verhältnis  $S_5/S_1$  annähernd 0,6. Hier wurde ein sehr deutlicher Vorspannkraftverlust verzeichnet. Insbesondere erscheint es sinnvoll darauf zu achten, dass bei einer Kontrolle an verschiedenen Stellen des Gurtes die Vorspannkraft gemessen und dokumentiert wird. Sollte, wie in diesem Beispiel hier, die Vorspannkraft nur am Spannelement gemessen und dieser Wert dann einer Berechnung zugrunde gelegt werden, so ist dieser Sachverhalt nicht ausreichend, um die Kraftsituation beurteilen zu können. Für eine fundierte Ladungssicherungsberechnung sind die vorhandenen Reibungsverluste auf jeden Fall zu beachten.

## 6.2 Bestimmung der Reibwerte an den Kantenschonern

Gemäß der Gleichungen 3, 6, 9 und 12 können die jeweiligen Reibungswerte bestimmt werden, wenn der Umschlingungswinkel sowie die entsprechenden Zurrkräfte bekannt sind (Eytelweinsche Gleichung zur Umschlingungsreibung). Die Reibungsbeiwerte sind für die einzelnen Versuchsreihen bestimmt worden. Dabei ist aufgefallen, dass insbesondere für die Reibungsbeiwerte an der Kante 1 sowie an der Kante 4 diese Methodik nicht funktioniert, da der Umschlingungswinkel zu gering erscheint. Die berechneten Ergebnisse erscheinen so nicht sinnvoll. Deshalb wurde im Rahmen der Betrachtung nur der Reibungskennwert für den Kantenschutzwinkel bestimmt, wenn die Umschlingung mindestens 90 Grad betrug.

Ob überhaupt diese Grundgleichung bei kleineren Winkeln zum Ansatz gebracht werden kann, muss gesondert untersucht werden. Deutlich ist aus den Ergebnissen erkennbar, dass die verwendeten Kantenschoner einen unterschiedlichen Reibungsbeiwert aufwiesen. Auch die Streuung der Werte ist teilweise beachtlich. Dieses hängt sicherlich mit der Mikroverzahnung der Oberflächenstrukturen sowie den fortschreitenden Verschleißzuständen von Gurt und Kantenschoner während der Durchführung der Versuche zusammen.

	KS 1	KS 2	KS 3	KS 4
Spannmittelpos. 1	$\mu=0,18$	$\mu=0,11$	$\mu=0,14$	$\mu=0,12$
Spannmittelpos. 2	$\mu=0,16$	$\mu=0,13$	$\mu=0,14$	-
Spannmittelpos. 3	$\mu=0,11$	$\mu=0,09$	$\mu=0,05$	-

Die Kantenschoner 2 und 3 haben durchschnittlich bei der angewandten Kombination den geringsten Reibungsbeiwert. Der Kantenschoner 1 zeigte im Verlauf der Untersuchungen, dass er nicht immer den Flächenpressungen standhalten konnte, sodass es hier eine größere Verzahnung der Materialien durch Einschneiden gab. Somit muss der analysierte Reibungsbeiwert auch etwas höher liegen. Nicht zu erklären ist die Situation, warum die Reibungsbeiwerte in Abhängigkeit der Spannmittelposition sich verändern. Die Vermutung liegt nahe, dass es große Streuungen im Rahmen der Messungen gab. Hier waren starke plastische Verformungen teilweise erkennbar. Somit kann diesbezüglich keine dezidierte Aussage getroffen werden. Der Kantenschoner 4 hat den Beanspruchungen nicht standgehalten. Hier waren sehr deutliche und große Verformungen nach der Beanspruchung sichtbar.

### 6.3 Analyse der Kräfte im Zurrmittel

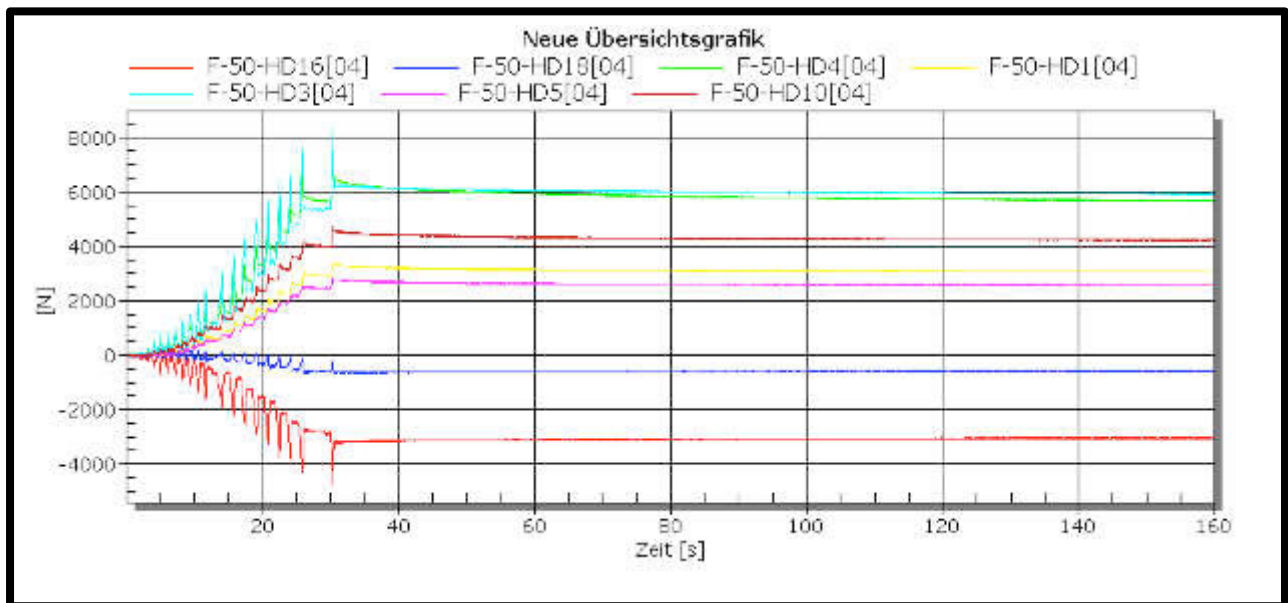


Abbildung 42: Kraftverläufe - Auflagerkräfte und Kräfte im Zurrmittel

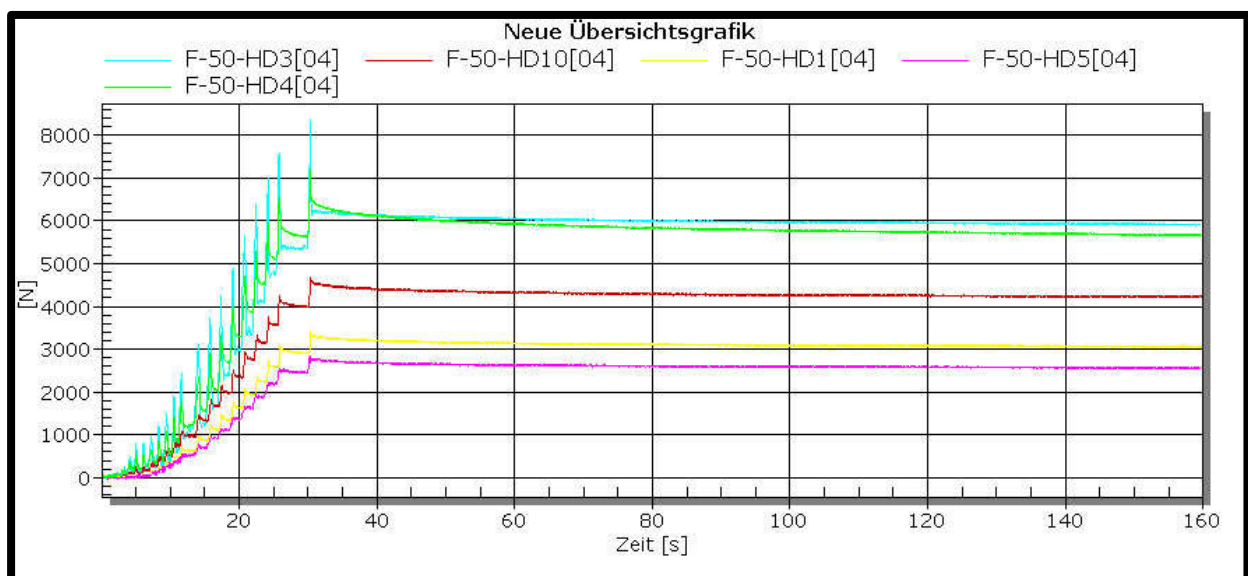
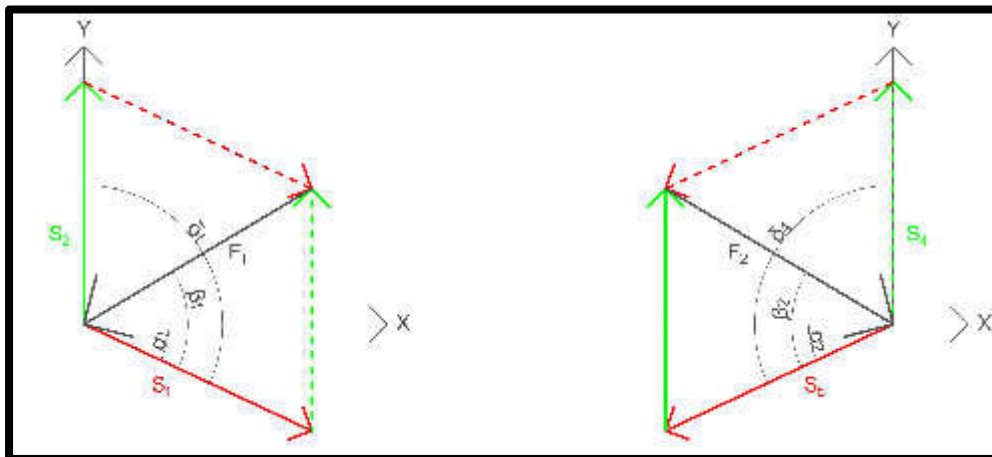


Abbildung 43: Kraftverläufe der gemessenen Kräfte im Zurrmittel

Im Rahmen der Betrachtung der Kurvenverläufe ist zunächst auffällig, dass jeweils die Kraftspitzen annähernd gleich an den unterschiedlichen Messstellen auftreten. Durch die Funktion des Spanns selbst ist es so, dass die Spannungsspitze sich im Gurtband auf alle Messstellen überträgt. Ferner ist zu erkennen, dass alle Messstellen auch nach der maximalen Kraftaufbringung sich auf einen eigenen, annähernd konstanten Wert festlegen.

Um die Theorien zu überprüfen, welches mechanische Ersatzmodell zur Anwendung kommen muss, wurden die Gleichungen 14, 28, 42, 56, 70 und 84 jeweils verwendet und es wurde untersucht, inwieweit die Bedingung, dass sich die Kräfte in y-Richtung aufheben, Gültigkeit hat. Die Ergebnisse der Berechnungen sind im Anhang dargestellt.

Sehr deutlich ist zu erkennen, dass wir das Modell II als Grundlage heranziehen können. Dabei ist darauf zu achten, dass wir an den Kanten jeweils ein zentrales Kräftesystem vorliegen haben. Die Berechnungen der Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  wurden entsprechend durchgeführt.



**Abbildung 44: Zentrales Kräftesystem an den Kanten K1 und K4**

Für Kante 1 gilt:

$$F_1 = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + 2 * S_1 * S_2 * \cos(\delta_1)} \quad (\text{Gl. 85})$$

Mit:

$$\delta_1 = \alpha_1 + 90 \quad (\text{Gl. 86})$$



Ferner gilt:

$$\beta_1 = \arccos\left(\frac{S_1^2 - S_2^2 + F_1^2}{2 * F_1 * S_1}\right) \quad (\text{Gl. 87})$$

$$F_{1Y} = \sin(\beta_1 - \alpha_1) * F_1 \quad (\text{Gl. 88})$$

Für Kante 4 gilt:

$$F_2 = \sqrt{S_4^2 + S_5^2 + 2 * S_4 * S_5 * \cos(\delta_4)} \quad (\text{Gl. 89})$$

Mit:

$$\delta_4 = \alpha_2 + 90^\circ \quad (\text{Gl. 90})$$

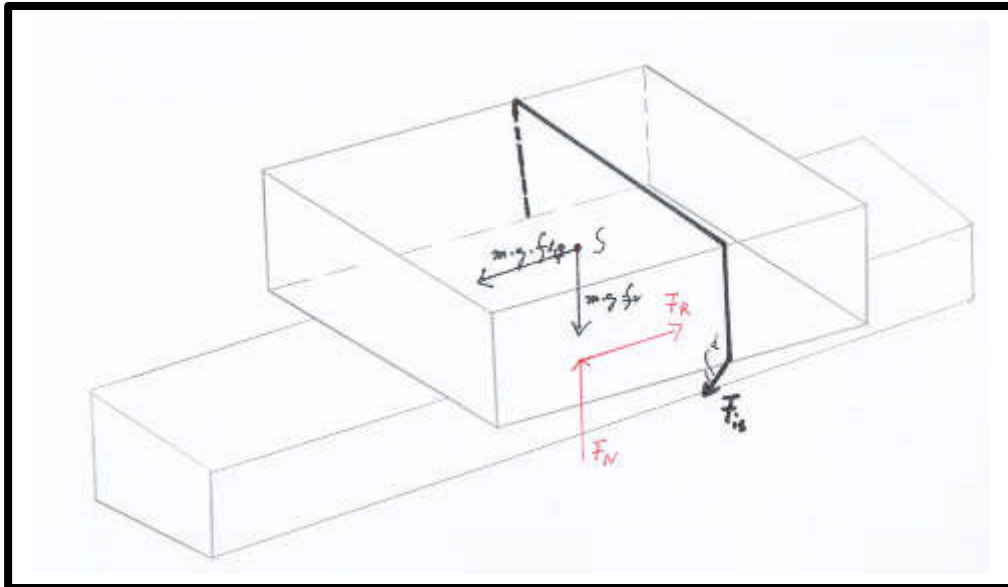
Ferner gilt:

$$\beta_2 = \arccos\left(\frac{S_4^2 - S_5^2 + F_2^2}{2 * F_2 * S_4}\right) \quad (\text{Gl. 91})$$

$$F_{2Y} = \sin(\beta_2 - \alpha_2) * F_2 \quad (\text{Gl. 92})$$

Auf der Grundlage der o.g. Gleichungen wurden die entsprechenden Berechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind im Anhang dargestellt. Es ist sehr gut zu erkennen, dass das Freikörperbild (Variante II) die entsprechenden Bedingungen erfüllt. Die noch geringen Abweichungen lassen sich durch die Toleranzen der Winkelmessung erklären. Schon 1 Grad Abweichung hat hier entsprechende Auswirkungen, sodass die Summenwerte der Y-Kräfte deutlich um null pendeln. Somit kann es als bewiesen betrachtet werden, dass zur Anwendung die modellhafte Betrachtung der Variante II bei überbreiter Ladung anzusetzen ist. Bedingt durch die jeweiligen unterschiedlichen Kraftsituationen an den Kanten K1 bis K4 wird sich das Ladegut auch jeweils spezifisch dann verformen. Dieses wurde jedoch im Rahmen der Untersuchungen nicht weiter berücksichtigt. Bedingt durch die Umlenkung an den Kanten K1 und K4 werden entsprechende vertikale Kraftkomponenten in die zu sichernde Ladeeinheit induziert (siehe auch Abbildung 44). Dieser Aspekt dürfte ggf. bei der Dimensionierung der entsprechenden Ladeeinheit zu berücksichtigen sein.

Somit kann die Niederzurrung einer überbreiten Ladung wie folgt berechnet werden:



**Abbildung 45: überbreite Ladung**

Das Kräftegleichgewicht ergibt Folgendes:

$$m \cdot g \cdot f_{lq} \leq \mu \cdot \{m \cdot g \cdot f_v + (n \cdot ((F_{iS} \cdot \sin \alpha) + F_{iS}(k - 1) \cdot \sin \alpha))\} \quad (\text{Gl. 93})$$

Somit ergibt sich für die Anzahl der Überspannungen beim Niederzurren:

$$n = \frac{m \cdot g \cdot (f_{lq} - \mu \cdot f_v)}{\mu \cdot F_{iS} \cdot k \cdot \sin \alpha}$$

Unter den in Kap. 6.1 ermittelten Vorspannkraftverhältnissen  $S_5 / S_1$  ergibt sich nunmehr für den k-Faktor folgendes, wenn sich das Spannelement in der **Position 1** befindet:

$$k = \frac{S_5}{S_1} + 1$$

Die entsprechenden Kennwerte  $k$  ergeben sich wie folgt für die unterschiedlichen Kantenschützer:

	KS 1	KS 2	KS 3	KS 4
Spannmittelpos. 1	K=1,47	K=1,58	K=1,57	K=1,62

Wenn sich das Spannelement in der **Position 2** befindet gilt Folgendes:

$$k = \left( \frac{S_5}{S_1} + 1 \right) \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

Bei Sichtung der Daten ist auffällig, dass der Faktor  $S_2/S_1$  umgerechnet 0,9 beträgt.

	KS 1	KS 2	KS 3	KS 4
Spannmittelpos. 2	K=1,45	K=1,53	K=1,51	-

Wenn sich das Spannelement in der **Position 3** befindet gilt Folgendes:

$$k = \left( \frac{S_5}{S_1} + 1 \right) \cdot \frac{S_3}{S_2} \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

	KS 1	KS 2	KS 3	KS 4
Spannmittelpos. 3	K=1,47	K=1,54	K=1,57	-

Bei Betrachtung der  $k$ -Werte für die unterschiedlichen Kantenschutzwinkel sowie auch die unterschiedlichen Spannelementpositionen kann festgehalten werden, dass im Mittel mit einem  $k$ -Wert bei überbreiter Ladung von 1,5 gerechnet werden kann. Dabei sind die üblichen Kantenschoner einzusetzen. Eine Erhöhung der Reibwerte zwischen Kantenschutzwinkel und Zurrmittel verringert den  $k$ -Wert. Die Position des Spannelementes hat dabei keinen Einfluss auf die nach unten in der Summe wirkende erhöhende Normalkraft. Nur in Querrichtung ist der Aspekt entscheidend, weil die Kräfte ggf. die Ladung seitlich verschieben. Auf diesen Umstand sollte in Schulungen zur Ladungssicherung überbreiter Ladungen hingewiesen werden.

## 7. Schlussfolgerungen

Im Rahmen der Untersuchungen konnte der Reibungsverlust an den Kantenschutzwinkeln definitiv nachgewiesen werden. Somit ist er bei Berechnungen zur Ladungssicherung mit zu berücksichtigen. Es konnte darüber hinaus auch der k-Wert für diese Konstellation bestimmt werden. Überbreite Ladegüter haben in der Regel entsprechende Umschlingungswinkel, die in der Summe mehr als 180 Grad betragen.

In Anlehnung an die bisher beim Niederzurren geltenden Berechnungsformeln können diese auch hier angewandt werden. Allerdings ist hier bei den gängigen Kantenschonern höchstens ein k-Wert von 1,5 anzusetzen. Auf diesen Umstand ist dringend hinzuweisen, wenn entsprechende Berechnungen zur Ladungssicherung überbreiter Ladegüter vorgenommen werden sollen. Eine Angabe zum k-Wert auf den Kantenschonern sollte überdacht werden. Der normativ festgelegte Wert von  $k=1,8$  für das standardisierte Niederzurren ist bei überbreiten Ladegütern so nicht anzusetzen. Eine solche Angabe ist unter dem Aspekt der überbreiten Ladegüter für den Anwender irreführend.

Die Position des Spannmittels spielt für das Niederzurren zunächst keine Rolle, wenn nur der Aspekt der Reibkraftehöhung angedacht ist. Jedoch können durch das seitliche Anbringen des Spannelementes hier seitliche Kräfte aufgebracht werden, die bei vektorieller Betrachtung im Reibungskreis ggf. mindernd wirken. Deshalb sollte darauf geachtet werden, dass die Ladeeinheiten dann auch symmetrisch beim Niederzurren belastet werden. Auf diesen Umstand ist gesondert im Rahmen von Schulungen hinzuweisen. Die hergeleitete Formel zur Berechnung der Ladungssicherung bei überbreiten Ladegütern gilt für symmetrische Ladegüter. Ansonsten ist die Formel entsprechend für die unterschiedlichen Winkel  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  sinngemäß zu erweitern.

Die Formel ist abgeleitet in Anlehnung an die geltende VDI 2700 ff. Dennoch muss betont werden, dass es in diesem Zusammenhang weitere Fragen gibt, die es zu beantworten gilt. Insbesondere Fragestellungen im Hinblick auf die Flächenpressung zwischen Zurrmittel und Kantenschoner müssen geklärt werden, um den Einfluss hier genauer zu analysieren. Die Bestimmung der Reibbeiwerte aus den gemessenen Kräften, insbesondere bei kleineren Umschlingungswinkeln, zeigt Handlungsbedarf für weitere Untersuchungen auf. Auch die Frage, ob nicht auch gewisse zulässige Druckfestigkeiten für Kantenschutzwinkel mit angegeben werden müssen, sollte gesondert untersucht werden. Im Rahmen der durchgeführten Versuche zeigte sich deutlich, dass hier reibungserhöhende Effekte an Kantenschutzwinkeln auftreten, die einen erhöhten Vorspannkraftverlust bedingen. Ein weiterer Aspekt ist das Verhalten bei dynamischer Beanspruchung. Auf diesen Punkt wurde an dieser Stelle zunächst verzichtet, um die Auswertungen nicht zu umfangreich zu gestalten. Dieses ist im Rahmen eines weiteren Vorhabens genauer zu analysieren. Dennoch können die Erkenntnisse dieser durchgeführten Untersuchungen im Hinblick auf die Praxis umgesetzt werden. Sie sind ein Baustein zur Sicherung überbreiter Ladungen auf Nutzfahrzeugen.

## 8. Anlagen

### 8.1 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 1 KG 1

Gemittelte Messdaten										
Ratschenposition 1										
Kantengleiter 1 (Orange)										
Durchlauf	Kraft S <sub>1</sub>	Kraft S <sub>2</sub>	Kraft S <sub>3</sub>	Kraft S <sub>4</sub>	Kraft S <sub>5</sub>	Kraft F <sub>A</sub>	Kraft F <sub>B</sub>	Kraft F <sub>D1</sub>	α 1 (links)	α 2 (rechts)
Nr.	F-50-HD3	F-50-HD4	F-50-HD10	F-50-HD1	F-50-HD5	F-50-HD16	F-50-HD18	F-50-HD17		
	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in Grad	in Grad
1	6398	6553	5474	3992	3264	3096	922	2488	22,95	23,50
2	5721	5642	4474	3417	2899	2846	822	2422	23,15	23,40
3	6375	6598	5192	3844	3256	3095	925	2750	22,90	23,25
4	6067	6137	4685	3492	2921	3032	783	2670	22,90	23,20
5	6192	5918	4507	3372	2842	3080	754	2882	22,85	23,20
6	5860	5913	4401	3289	2784	3004	721	2616	22,80	23,10
7	5916	5708	4186	3122	2646	3062	644	2737	22,90	23,25
8	5801	5479	4080	2961	2454	2852	597	2894	23,00	23,00
9	6140	5910	4393	3282	2768	3211	626	2394	22,75	23,40
10	5982	5796	4276	3100	2598	3074	600	2712	23,10	23,40

### 8.2 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 1 KG 2

Gemittelte Messdaten										
Ratschenposition 1										
Kantengleiter 2 (Blau)										
Durchlauf	Kraft S <sub>1</sub>	Kraft S <sub>2</sub>	Kraft S <sub>3</sub>	Kraft S <sub>4</sub>	Kraft S <sub>5</sub>	Kraft F <sub>A</sub>	Kraft F <sub>B</sub>	Kraft F <sub>D1</sub>	α 1 (links)	α 2 (rechts)
Nr.	F-50-HD3	F-50-HD4	F-50-HD10	F-50-HD1	F-50-HD5	F-50-HD16	F-50-HD18	F-50-HD17		
	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in Grad	in Grad
1	5705	5237	4552	3768	3334	2722	1064	2335	22,55	23,00
2	5977	5375	4548	3811	3415	2881	1076	2470	22,65	23,05
3	6172	5990	5187	4364	3921	2932	1323	2299	22,65	23,10
4	5564	5005	4257	3503	3134	2730	963	2246	22,75	23,20
5	6388	5837	4951	4075	3651	3069	1146	2566	22,80	23,15
6	6402	5901	5069	4106	3645	3115	1135	2666	22,55	23,05
7	5900	5345	4596	3727	3333	2831	1036	2458	22,50	23,10
8	7590	6847	5940	4931	4382	3369	1409	3082	22,65	23,15
9	5589	5025	4286	3542	3142	2738	973	2254	22,65	23,00
10	6117	5693	4852	3983	3559	3026	1124	2470	22,85	23,00

### 8.3 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 1 KG 3

Gemittelte Messdaten										
Ratschenposition 1										
Kantengleiter 3 (Schwarz)										
Durchlauf	Kraft S <sub>1</sub>	Kraft S <sub>2</sub>	Kraft S <sub>3</sub>	Kraft S <sub>4</sub>	Kraft S <sub>5</sub>	Kraft F <sub>A</sub>	Kraft F <sub>B</sub>	Kraft F <sub>D1</sub>	α 1 (links)	α 2 (rechts)
Nr.	F-50-HD3	F-50-HD4	F-50-HD10	F-50-HD1	F-50-HD5	F-50-HD16	F-50-HD18	F-50-HD17		
	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in Grad	in Grad
1	6490	6715	5438	4230	3573	3492	987	2163	23,00	23,35
2	6201	6721	5686	4348	3691	3074	1169	2248	22,75	23,10
3	6468	6674	5620	4273	3604	3160	1128	2587	22,85	23,40
4	6381	6532	5397	4230	3539	3132	1088	2553	22,75	23,05
5	6603	6811	5665	4353	3663	3264	1120	2667	22,85	23,20
6	6255	6542	5257	4224	3551	3078	1105	2478	23,15	23,55
7	6118	6878	5786	4414	3618	2929	1137	2196	22,75	23,25
8	6673	7094	5822	4620	3906	3158	1233	2448	23,00	23,35
9	6651	6975	5804	4390	3666	3136	1131	2625	22,90	23,50
10	6277	6457	5409	4138	3427	2975	1041	2539	22,85	23,35

### 8.4 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 1 KG 4

Gemittelte Messdaten										
Ratschenposition 1										
Kantengleiter 4										
Durchlauf	Kraft S <sub>1</sub>	Kraft S <sub>2</sub>	Kraft S <sub>3</sub>	Kraft S <sub>4</sub>	Kraft S <sub>5</sub>	Kraft F <sub>A</sub>	Kraft F <sub>B</sub>	Kraft F <sub>D1</sub>	α 1 (links)	α 2 (rechts)
Nr.	F-50-HD3	F-50-HD4	F-50-HD10	F-50-HD1	F-50-HD5	F-50-HD16	F-50-HD18	F-50-HD17		
	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in Grad	in Grad
1	5500	5318	4694	3794	3558	2509	1163	1762	22,25	22,60
2	6006	5781	5037	3906	3703	2795	1165	2216	22,30	22,55
3	5943	5588	4829	3820	3567	2777	1113	2291	22,20	22,75
4	5901	5716	4943	3907	3618	2762	1144	2258	22,35	22,60
5	5875	5794	4974	3963	3715	2672	1200	2121	22,35	22,65
6	6077	5879	5013	3926	3675	2870	1163	2401	22,30	22,75
7	5912	5856	5028	3928	3679	2719	1172	2087	22,20	22,80
8	6349	6110	5151	4074	3852	3015	1219	2465	22,30	22,65
9	5871	5998	5155	4077	3785	2780	1263	2170	22,45	22,80
10	6475	6472	5588	4467	4125	2860	1391	2544	22,45	22,55

## 8.5 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 2 KG 1

Gemittelte Messdaten										
Ratschenposition 2										
Kantengleiter 1 (Orange)										
Durchlauf	Kraft S <sub>1</sub>	Kraft S <sub>2</sub>	Kraft S <sub>3</sub>	Kraft S <sub>4</sub>	Kraft S <sub>5</sub>	Kraft F <sub>A</sub>	Kraft F <sub>B</sub>	Kraft F <sub>D1</sub>	α 1 (links)	α 2 (rechts)
Nr.	F-50-HD3	F-50-HD4	F-50-HD10	F-50-HD1	F-50-HD5	F-50-HD16	F-50-HD18	F-50-HD17		
	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in Grad	in Grad
1	5911	5892	6232	4893	4149	2661	1472	1971	24,00	24,40
2	5972	5875	6192	4816	4053	2811	1403	2070	22,75	24,55
3	6236	6022	6503	5087	4323	2982	1523	2228	22,90	24,75
4	7115	6683	6525	5102	4372	2779	1564	2404	22,95	24,80
5	7459	7195	6634	5176	4441	3267	1532	2604	23,50	24,80
6	7549	6806	6912	5364	4579	3298	1569	2430	22,90	24,75
7	6497	6049	5584	4273	3653	2923	1177	2381	23,00	24,70
8	6882	6286	6047	4598	3886	2886	1301	2795	23,00	24,70
9	7191	6780	6671	5166	4374	3186	1524	2673	22,95	24,55
10	7604	7060	6954	5445	4654	3411	1598	2818	23,00	24,75

## 8.6 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 2 KG 2

Gemittelte Messdaten										
Ratschenposition 2										
Kantengleiter 2 (Blau)										
Durchlauf	Kraft S <sub>1</sub>	Kraft S <sub>2</sub>	Kraft S <sub>3</sub>	Kraft S <sub>4</sub>	Kraft S <sub>5</sub>	Kraft F <sub>A</sub>	Kraft F <sub>B</sub>	Kraft F <sub>D1</sub>	α 1 (links)	α 2 (rechts)
Nr.	F-50-HD3	F-50-HD4	F-50-HD10	F-50-HD1	F-50-HD5	F-50-HD16	F-50-HD18	F-50-HD17		
	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in Grad	in Grad
1	6508	6074	6381	5137	4502	2729	1637	2110	22,30	24,45
2	6448	5883	6370	5119	4495	2744	1615	2097	22,55	24,50
3	6583	6168	6588	5351	4732	2825	1712	1878	22,45	24,40
4	7021	6445	6990	5799	5087	2998	1849	2096	22,55	24,30
5	6298	5967	6389	5190	4544	2682	1662	1926	22,65	24,25
6	6407	6463	6338	5092	4414	2733	1564	1969	22,45	24,30
7	6484	6012	6494	5206	4529	2812	1633	2042	22,50	24,15
8	6909	6323	7016	5711	4969	3012	1773	2044	22,60	24,15
9	6495	6355	6525	5247	4563	2772	1662	2034	22,70	24,35
10	6510	6040	6531	5318	4629	2877	1660	1940	22,60	24,30

## 8.7 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 2 KG 3

Gemittelte Messdaten										
Ratschenposition 2										
Kantengleiter 3 (Schwarz)										
Durchlauf	Kraft S <sub>1</sub>	Kraft S <sub>2</sub>	Kraft S <sub>3</sub>	Kraft S <sub>4</sub>	Kraft S <sub>5</sub>	Kraft F <sub>A</sub>	Kraft F <sub>B</sub>	Kraft F <sub>D1</sub>	α 1 (links)	α 2 (rechts)
Nr.	F-50-HD3	F-50-HD4	F-50-HD10	F-50-HD1	F-50-HD5	F-50-HD16	F-50-HD18	F-50-HD17		
	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in Grad	in Grad
1	6964	6340	6895	5407	4545	3178	1542	2201	22,70	24,65
2	6497	5969	6244	5047	4221	2896	1470	2290	22,80	24,15
3	6671	5840	6843	5437	4593	2855	1672	2319	23,30	24,65
4	6627	6015	6534	5207	4411	2985	1562	2375	23,15	24,55
5	7264	6548	7311	5886	5076	3231	1821	2426	23,20	24,00
6	7630	6957	7460	5989	5150	3228	1875	2579	24,15	24,45
7	6772	5937	7103	5746	4985	3115	1796	1777	22,95	24,55
8	7383	6538	7476	6050	5287	3139	1935	2192	22,85	24,40
9	7249	6490	7357	5946	5131	3082	1877	2292	22,90	24,30
10	5992	5781	5794	4606	3939	2615	1376	2049	22,85	24,30

## 8.8 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 3 KG 1

Gemittelte Messdaten										
Ratschenposition 3										
Kantengleiter 1 (Orange)										
Durchlauf	Kraft S <sub>1</sub>	Kraft S <sub>2</sub>	Kraft S <sub>3</sub>	Kraft S <sub>4</sub>	Kraft S <sub>5</sub>	Kraft F <sub>A</sub>	Kraft F <sub>B</sub>	Kraft F <sub>D1</sub>	α 1 (links)	α 2 (rechts)
Nr.	F-50-HD3	F-50-HD4	F-50-HD10	F-50-HD1	F-50-HD5	F-50-HD16	F-50-HD18	F-50-HD17		
	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in Grad	in Grad
1	4599	5167	5932	4960	4436	1705	1857	947	23,00	24,85
2	4678	5267	6038	5181	4629	1706	1956	864	22,70	24,55
3	3962	4478	5554	4570	4080	1458	1754	650	22,20	23,40
4	4375	4996	5876	4963	4384	1602	1861	831	22,65	23,90
5	4876	5604	6321	5401	4739	1785	2013	991	22,55	24,10
6	4436	5080	6370	5091	4504	1628	1915	724	22,75	24,50
7	4450	5086	5777	5242	4720	1611	2048	644	23,15	25,90
8	4370	5072	6129	5180	4637	1707	1968	564	22,50	23,30
9	4437	5175	6180	5240	4672	1728	1984	542	22,85	24,15
10	4599	5317	6692	5347	4779	1816	2016	557	22,60	23,65



## 8.9 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 3 KG 2

Gemittelte Messdaten										
Ratschenposition 3										
Kantengleiter 2 (Blau)										
Durchlauf	Kraft S <sub>1</sub>	Kraft S <sub>2</sub>	Kraft S <sub>3</sub>	Kraft S <sub>4</sub>	Kraft S <sub>5</sub>	Kraft F <sub>A</sub>	Kraft F <sub>B</sub>	Kraft F <sub>D1</sub>	α 1 (links)	α 2 (rechts)
Nr.	F-50-HD3	F-50-HD4	F-50-HD10	F-50-HD1	F-50-HD5	F-50-HD16	F-50-HD18	F-50-HD17		
	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in Grad	in Grad
1	4077	4571	5467	4626	4100	1519	1697	570	22,55	24,40
2	4718	5360	6365	5375	4751	1767	1978	722	22,65	24,40
3	4736	5255	6030	5305	4711	1727	1976	800	22,45	24,75
4	4507	5034	5773	5030	4443	1684	1843	720	22,50	24,40
5	4374	4902	5715	4986	4400	1607	1842	664	22,60	24,65
6	5026	5630	6361	5571	4974	1856	2086	946	22,25	24,50
7	4423	4884	5718	4909	4330	1630	1797	788	22,45	24,25
8	4780	5237	5872	5272	4694	1755	1975	878	22,40	24,65
9	4198	4680	5539	4673	4059	1587	1670	652	22,40	24,50
10	4230	4794	5638	4752	4128	1609	1690	600	22,50	24,30

## 8.10 Gemittelte Messdaten Spannelementposition 3 KG 3

Gemittelte Messdaten										
Ratschenposition 3										
Kantengleiter 3 (Schwarz)										
Durchlauf	Kraft S <sub>1</sub>	Kraft S <sub>2</sub>	Kraft S <sub>3</sub>	Kraft S <sub>4</sub>	Kraft S <sub>5</sub>	Kraft F <sub>A</sub>	Kraft F <sub>B</sub>	Kraft F <sub>D1</sub>	α 1 (links)	α 2 (rechts)
Nr.	F-50-HD3	F-50-HD4	F-50-HD10	F-50-HD1	F-50-HD5	F-50-HD16	F-50-HD18	F-50-HD17		
	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in N	in Grad	in Grad
1	5728	6615	7764	6574	5913	2082	2510	801	22,45	24,40
2	4857	5667	6083	5618	5071	1785	2148	551	22,70	24,50
3	4626	5337	5660	5236	4728	1711	1988	642	22,75	24,55
4	4679	5445	5960	5225	4639	1746	1930	704	22,65	22,80
5	5446	6319	6839	5951	5417	2063	2240	660	22,70	24,70
6	4840	5565	5737	5380	4894	1793	2050	685	22,40	22,90
7	5206	5991	5922	5627	5146	1924	2141	733	22,50	24,75
8	4606	5344	5675	5108	4647	1729	1926	528	22,40	22,75
9	5052	5741	5701	5502	5003	1931	2068	587	22,40	22,90
10	5492	6366	6933	6080	5527	2156	2266	521	22,50	24,60

## 8.11 Verhältnis der Gurtkräfte Spannelementposition 1 KG 1

Verhältnis der Gurtkräfte					
Ratschenposition 1					
Kantengleiter 1 (Orange)					
Durchlauf	$S_2/S_1$	$S_3/S_2$	$S_4/S_3$	$S_5/S_4$	$S_5/S_1$
Nr.	-	-	-	-	
1	1,02	0,84	0,73	0,82	0,51
2	0,99	0,79	0,76	0,85	0,51
3	1,03	0,79	0,74	0,85	0,51
4	1,01	0,76	0,75	0,84	0,48
5	0,96	0,76	0,75	0,84	0,46
6	1,01	0,74	0,75	0,85	0,48
7	0,96	0,73	0,75	0,85	0,45
8	0,94	0,74	0,73	0,83	0,42
9	0,96	0,74	0,75	0,84	0,45
10	0,97	0,74	0,72	0,84	0,43
<b>MW:</b>		<b>0,76</b>	<b>0,74</b>	<b>0,84</b>	<b>0,47</b>

## 8.12 Verhältnis der Gurtkräfte Spannelementposition 1 KG 2

Verhältnis der Gurtkräfte					
Ratschenposition 1					
Kantengleiter 2 (Blau)					
Durchlauf	$S_2/S_1$	$S_3/S_2$	$S_4/S_3$	$S_5/S_4$	$S_5/S_1$
Nr.	-	-	-	-	
1	0,92	0,87	0,83	0,88	0,58
2	0,90	0,85	0,84	0,90	0,57
3	0,97	0,87	0,84	0,90	0,64
4	0,90	0,85	0,82	0,89	0,56
5	0,91	0,85	0,82	0,90	0,57
6	0,92	0,86	0,81	0,89	0,57
7	0,91	0,86	0,81	0,89	0,56
8	0,90	0,87	0,83	0,89	0,58
9	0,90	0,85	0,83	0,89	0,56
10	0,93	0,85	0,82	0,89	0,58
<b>MW:</b>	<b>0,92</b>	<b>0,86</b>	<b>0,83</b>	<b>0,89</b>	<b>0,58</b>

### 8.13 Verhältnis der Gurtkräfte Spannelementposition 1 KG 3

Verhältnis der Gurtkräfte					
Ratschenposition 1					
Kantengleiter 3 (Schwarz)					
Durchlauf	$S_2/S_1$	$S_3/S_2$	$S_4/S_3$	$S_5/S_4$	$S_5/S_1$
Nr.	-	-	-	-	
1	1,03	0,81	0,78	0,84	0,55
2	1,08	0,85	0,76	0,85	0,60
3	1,03	0,84	0,76	0,84	0,56
4	1,02	0,83	0,78	0,84	0,55
5	1,03	0,83	0,77	0,84	0,55
6	1,05	0,80	0,80	0,84	0,57
7	1,12	0,84	0,76	0,82	0,59
8	1,06	0,82	0,79	0,85	0,59
9	1,05	0,83	0,76	0,84	0,55
10	1,03	0,84	0,77	0,83	0,55
<b>MW:</b>		<b>0,83</b>	<b>0,77</b>	<b>0,84</b>	<b>0,57</b>

### 8.14 Verhältnis der Gurtkräfte Spannelementposition 1 KG 4

Verhältnis der Gurtkräfte					
Ratschenposition 1					
Kantengleiter 4					
Durchlauf	$S_2/S_1$	$S_3/S_2$	$S_4/S_3$	$S_5/S_4$	$S_5/S_1$
Nr.	-	-	-	-	
1	0,97	0,88	0,81	0,94	0,65
2	0,96	0,87	0,78	0,95	0,62
3	0,94	0,86	0,79	0,93	0,60
4	0,97	0,86	0,79	0,93	0,61
5	0,99	0,86	0,80	0,94	0,63
6	0,97	0,85	0,78	0,94	0,60
7	0,99	0,86	0,78	0,94	0,62
8	0,96	0,84	0,79	0,95	0,61
9	1,02	0,86	0,79	0,93	0,64
10	1,00	0,86	0,80	0,92	0,64
<b>MW:</b>		<b>0,86</b>	<b>0,79</b>	<b>0,94</b>	<b>0,62</b>

### 8.15 Verhältnis der Gurtkräfte Spannelementposition 2 KG 1

Verhältnis der Gurtkräfte					
Ratschenposition 2					
Kantengleiter 1 (Orange)					
Durchlauf	$S_1/S_2$	$S_3/S_2$	$S_4/S_3$	$S_5/S_4$	$S_5/S_1$
Nr.	–	–	–	–	–
1	1,00	1,06	0,79	0,85	0,70
2	1,02	1,05	0,78	0,84	0,68
3	1,04	1,08	0,78	0,85	0,69
4	1,06	0,98	0,78	0,86	0,61
5	1,04	0,92	0,78	0,86	0,60
6	1,11	1,02	0,78	0,85	0,61
7	1,07	0,92	0,77	0,85	0,56
8	1,09	0,96	0,76	0,85	0,56
9	1,06	0,98	0,77	0,85	0,61
10	1,08	0,98	0,78	0,85	0,61
<b>MW:</b>	<b>1,06</b>		<b>0,78</b>	<b>0,85</b>	<b>0,62</b>

### 8.16 Verhältnis der Gurtkräfte Spannelementposition 2 KG 2

Verhältnis der Gurtkräfte					
Ratschenposition 2					
Kantengleiter 2 (Blau)					
Durchlauf	$S_2/S_1$	$S_3/S_2$	$S_4/S_3$	$S_5/S_4$	$S_5/S_1$
Nr.	–	–	–	–	–
1	1,07	1,05	0,81	0,88	0,69
2	1,10	1,08	0,80	0,88	0,70
3	1,07	1,07	0,81	0,88	0,72
4	1,09	1,08	0,83	0,88	0,72
5	1,06	1,07	0,81	0,88	0,72
6	0,99	0,98	0,80	0,87	0,69
7	1,08	1,08	0,80	0,87	0,70
8	1,09	1,11	0,81	0,87	0,72
9	1,02	1,03	0,80	0,87	0,70
10	1,08	1,08	0,81	0,87	0,71
<b>MW:</b>			<b>0,81</b>	<b>0,87</b>	<b>0,71</b>

### 8.17 Verhältnis der Gurtkräfte Spannelementposition 2 KG 3

Verhältnis der Gurtkräfte					
Ratschenposition 2					
Kantengleiter 3 (Schwarz)					
Durchlauf	$S_2/S_1$	$S_3/S_2$	$S_4/S_3$	$S_5/S_4$	$S_5/S_1$
Nr.	-	-	-	-	-
1	1,10	1,09	0,78	0,84	0,65
2	1,09	1,05	0,81	0,84	0,65
3	1,14	1,17	0,79	0,84	0,69
4	1,10	1,09	0,80	0,85	0,67
5	1,11	1,12	0,81	0,86	0,70
6	1,10	1,07	0,80	0,86	0,67
7	1,14	1,20	0,81	0,87	0,74
8	1,13	1,14	0,81	0,87	0,72
9	1,12	1,13	0,81	0,86	0,71
10	1,04	1,00	0,79	0,86	0,66
<b>MW:</b>	<b>1,11</b>	<b>1,11</b>	<b>0,80</b>	<b>0,86</b>	<b>0,68</b>

### 8.18 Verhältnis der Gurtkräfte Spannelementposition 3 KG 1

Verhältnis der Gurtkräfte					
Ratschenposition 3					
Kantengleiter 1 (Orange)					
Durchlauf	$S_1/S_2$	$S_2/S_3$	$S_4/S_3$	$S_5/S_4$	$S_5/S_1$
Nr.	-	-	-	-	-
1	0,89	0,87	0,84	0,89	0,96
2	0,89	0,87	0,86	0,89	0,99
3	0,88	0,81	0,82	0,89	1,03
4	0,88	0,85	0,84	0,88	1,00
5	0,87	0,89	0,85	0,88	0,97
6	0,87	0,80	0,80	0,88	1,02
7	0,87	0,88	0,91	0,90	1,06
8	0,86	0,83	0,85	0,90	1,06
9	0,86	0,84	0,85	0,89	1,05
10	0,86	0,79	0,80	0,89	1,04
<b>MW:</b>	<b>0,87</b>	<b>0,84</b>	<b>0,84</b>	<b>0,89</b>	

## 8.19 Verhältnis der Gurtkräfte Spannelementposition 3 KG 2

Verhältnis der Gurtkräfte					
Ratschenposition 3					
Kantengleiter 2 (Blau)					
Durchlauf	$S_2/S_1$	$S_3/S_2$	$S_4/S_3$	$S_5/S_4$	$S_5/S_1$
Nr.	-	-	-	-	-
1	0,89	0,84	0,85	0,89	1,01
2	0,88	0,84	0,84	0,88	1,01
3	0,90	0,87	0,88	0,89	0,99
4	0,90	0,87	0,87	0,88	0,99
5	0,89	0,86	0,87	0,88	1,01
6	0,89	0,89	0,88	0,89	0,99
7	0,91	0,85	0,86	0,88	0,98
8	0,91	0,89	0,90	0,89	0,98
9	0,90	0,84	0,84	0,87	0,97
10	0,88	0,85	0,84	0,87	0,98
<b>MW:</b>	<b>0,90</b>	<b>0,86</b>	<b>0,86</b>	<b>0,88</b>	

## 8.20 Verhältnis der Gurtkräfte Spannelementposition 3 KG 3

Verhältnis der Gurtkräfte					
Ratschenposition 3					
Kantengleiter 3 (Schwarz)					
Durchlauf	$S_2/S_1$	$S_3/S_2$	$S_4/S_3$	$S_5/S_4$	$S_5/S_1$
Nr.	-	-	-	-	-
1	0,87	0,85	0,85	0,90	1,03
2	0,86	0,93	0,92	0,90	1,04
3	0,87	0,94	0,93	0,90	1,02
4	0,86	0,91	0,88	0,89	0,99
5	0,86	0,92	0,87	0,91	0,99
6	0,87	0,97	0,94	0,91	1,01
7	0,87	1,01	0,95	0,91	0,99
8	0,86	0,94	0,90	0,91	1,01
9	0,88	1,01	0,97	0,91	0,99
10	0,86	0,92	0,88	0,91	1,01
<b>MW:</b>	<b>0,87</b>		<b>0,91</b>	<b>0,91</b>	

## 8.21 Reibungsbeiwerte Spannelementposition 1 KG 1

Reibungsbeiwerte			
Ratschenposition 1			
Kantengleiter 1 (Orange)			
Durchlauf	$\mu_2$	$\mu_3$	
Nr.	-	-	
1	0,115	0,201	
2	0,148	0,172	
3	0,153	0,191	
4	0,172	0,187	
5	0,173	0,185	
6	0,188	0,185	
7	0,197	0,187	
8	0,188	0,204	
9	0,189	0,186	
10	0,194	0,205	
<b>MW:</b>	<b>0,172</b>	<b>0,190</b>	<b>0,181</b>

## 8.22 Reibungsbeiwerte Spannelementposition 1 KG 2

Reibungsbeiwerte			
Ratschenposition 1			
Kantengleiter 2 (Blau)			
Durchlauf	$\mu_2$	$\mu_3$	
Nr.	-	-	
1	0,089	0,120	
2	0,106	0,113	
3	0,092	0,110	
4	0,103	0,124	
5	0,105	0,124	
6	0,097	0,134	
7	0,096	0,133	
8	0,090	0,119	
9	0,101	0,121	
10	0,102	0,126	
<b>MW:</b>	<b>0,098</b>	<b>0,122</b>	<b>0,110</b>

### 8.23 Reibungsbeiwerte Spannelementposition 1 KG 3

Reibungsbeiwerte			
Ratschenposition 1			
Kantengleiter 3 (Schwarz)			
Durchlauf	$\mu_2$	$\mu_3$	
Nr.	-	-	
1	0,134	0,160	
2	0,106	0,171	
3	0,109	0,174	
4	0,122	0,155	
5	0,117	0,168	
6	0,139	0,139	
7	0,110	0,172	
8	0,126	0,147	
9	0,117	0,178	
10	0,113	0,171	
<b>MW:</b>	<b>0,119</b>	<b>0,164</b>	<b>0,141</b>

### 8.24 Reibungsbeiwerte Spannelementposition 1 KG 4

Reibungsbeiwerte			
Ratschenposition 1			
Kantengleiter 4			
Durchlauf	$\mu_2$	$\mu_3$	
Nr.	-	-	
1	0,079	0,136	
2	0,088	0,162	
3	0,093	0,149	
4	0,092	0,150	
5	0,097	0,145	
6	0,101	0,156	
7	0,097	0,157	
8	0,109	0,149	
9	0,096	0,149	
10	0,093	0,143	
<b>MW:</b>	<b>0,095</b>	<b>0,150</b>	<b>0,122</b>



## 8.25 Reibungsbeiwerte Spannelementposition 2 KG 1

Reibungsbeiwerte			
Ratschenposition 2			
Kantengleiter 1 (Orange)			
Durchlauf	$\mu_2$	$\mu_3$	
Nr.	-	-	
1		0,154	
2		0,160	
3		0,156	
4		0,157	
5		0,158	
6		0,161	
7		0,170	
8		0,174	
9		0,163	
10		0,156	
<b>MW:</b>		<b>0,161</b>	

## 8.26 Reibungsbeiwerte Spannelementposition 2 KG 2

Reibungsbeiwerte			
Ratschenposition 2			
Kantengleiter 2 (Blau)			
Durchlauf	$\mu_2$	$\mu_3$	
Nr.	-	-	
1		0,138	
2		0,139	
3		0,132	
4		0,119	
5		0,132	
6		0,139	
7		0,141	
8		0,131	
9		0,139	
10		0,131	
<b>MW:</b>		<b>0,134</b>	<b>0,134</b>

## 8.27 Reibungsbeiwerte Spannelementposition 2 KG 3

Reibungsbeiwerte			
Ratschenposition 2			
Kantengleiter 3 (Schwarz)			
Durchlauf	$\mu_2$	$\mu_3$	
Nr.	-	-	
1		0,155	
2		0,135	
3		0,146	
4		0,145	
5		0,138	
6		0,140	
7		0,135	
8		0,135	
9		0,136	
10		0,146	
<b>MW:</b>		<b>0,141</b>	<b>0,141</b>

## 8.28 Reibungsbeiwerte Spannelementposition 3 KG 1

Reibungsbeiwerte			
Ratschenposition 3			
Kantengleiter 1 (Orange)			
Durchlauf	$\mu_2$	$\mu_3$	
Nr.	-	-	
1	0,088	0,114	
2	0,087	0,097	
3	0,137	0,124	
4	0,103	0,108	
5	0,077	0,100	
6	0,144	0,143	
7	0,081	0,062	
8	0,121	0,107	
9	0,113	0,105	
10	0,146	0,143	
<b>MW:</b>	<b>0,110</b>	<b>0,110</b>	<b>0,110</b>

## 8.29 Reibungsbeiwerte Spannelementposition 3 KG 2

Reibungsbeiwerte			
Ratschenposition 3			
Kantengleiter 2 (Blau)			
Durchlauf	$\mu_2$	$\mu_3$	
Nr.	-	-	
1	0,114	0,106	
2	0,109	0,108	
3	0,088	0,082	
4	0,087	0,088	
5	0,098	0,087	
6	0,078	0,084	
7	0,100	0,097	
8	0,073	0,069	
9	0,107	0,108	
10	0,103	0,109	
<b>MW:</b>	<b>0,096</b>	<b>0,094</b>	<b>0,095</b>

## 8.30 Reibungsbeiwerte Spannelementposition 3 KG 3

Reibungsbeiwerte			
Ratschenposition 3			
Kantengleiter 3 (Schwarz)			
Durchlauf	$\mu_2$	$\mu_3$	
Nr.	-	-	
1	0,102	0,106	
2	0,045	0,051	
3	0,037	0,050	
4	0,058	0,084	
5	0,050	0,089	
6	0,019	0,041	
7	-0,007	0,033	
8	0,038	0,067	
9	-0,004	0,023	
10	0,054	0,084	
<b>MW:</b>	<b>0,039</b>	<b>0,063</b>	<b>0,051</b>

### 8.31 Summe der Kräfte in Y-Richtung - Spannelementposition 1 KG 1

Summe der Kräfte in Y							
Ratschenposition 1							
Kantengleiter 1 (Orange)							
Variante I	Variante II						
$\Sigma F_y$	$\delta_1$	$\delta_4$	$F_1$	$F_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\Sigma F_y$
in N	in Grad	in Grad	in N	in N	in Grad	in Grad	in N
-6527	112,95	113,50	7154	4025	57,51	65,45	222
-5391	113,15	113,40	6260	3495	55,97	63,82	268
-6422	112,90	113,25	7172	3937	57,93	63,79	254
-5814	112,90	113,20	6745	3562	56,95	64,29	303
-5456	112,85	113,20	6701	3449	54,47	63,97	310
-5477	112,80	113,10	6515	3374	56,79	63,72	362
-5124	112,90	113,25	6427	3198	54,90	63,77	359
-4991	113,00	113,00	6232	3018	54,03	64,55	224
-5355	112,75	113,40	6675	3349	54,73	64,07	363
-5222	113,10	113,40	6494	3156	55,18	64,34	295

### 8.32 Summe der Kräfte in Y-Richtung - Spannelementposition 1 KG 2

Summe der Kräfte in Y							
Ratschenposition 1							
Kantengleiter 2 (Blau)							
Variante I	Variante II						
$\Sigma F_y$	$\delta_1$	$\delta_4$	$F_1$	$F_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\Sigma F_y$
in N	in Grad	in Grad	in N	in N	in Grad	in Grad	in N
-5219	112,55	113,00	6088	3937	52,61	61,77	295
-5229	112,65	113,05	6314	3999	51,77	61,26	318
-6099	112,65	113,10	6745	4582	55,04	61,18	340
-4815	112,75	113,20	5871	3667	51,83	61,42	307
-5697	112,80	113,15	6781	4271	52,52	61,33	304
-5757	112,55	113,05	6843	4293	52,78	61,66	368
-5205	112,50	113,10	6264	3905	52,03	61,38	302
-7000	112,65	113,15	8029	5150	51,91	61,68	132
-4856	112,65	113,00	5904	3704	51,77	61,67	331
-5526	112,85	113,00	6541	4178	53,33	61,35	384

### 8.33 Summe der Kräfte in Y-Richtung - Spannelementposition 1 KG 3

Summe der Kräfte in Y							
Ratschenposition 1							
Kantengleiter 3 (Schwarz)							
Variante I	Variante II						
$\Sigma F_y$	$\delta_1$	$\delta_4$	$F_1$	$F_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\Sigma F_y$
in N	in Grad	in Grad	in N	in N	in Grad	in Grad	in N
-6466	113,00	113,35	7291	4322	57,97	63,97	527
-6826	112,75	113,10	7169	4465	59,84	63,60	397
-6659	112,85	113,40	7270	4361	57,78	64,07	345
-6542	112,75	113,05	7152	4324	57,38	64,19	367
-6780	112,85	113,20	7420	4450	57,76	64,04	377
-6583	113,15	113,55	7053	4297	58,52	64,30	305
-7226	112,75	113,25	7224	4468	61,40	65,18	272
-7323	113,00	113,35	7607	4722	59,15	63,93	236
-7098	112,90	113,50	7535	4458	58,50	64,56	217
-6579	112,85	113,35	7044	4198	57,64	64,81	220

### 8.34 Summe der Kräfte in Y-Richtung - Spannelementposition 1 KG 4

Summe der Kräfte in Y							
Ratschenposition 1							
Kantengleiter 4							
Variante I	Variante II						
$\Sigma F_y$	$\delta_1$	$\delta_4$	$F_1$	$F_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\Sigma F_y$
in N	in Grad	in Grad	in N	in N	in Grad	in Grad	in N
-5440	112,25	112,60	6032	4084	54,69	59,06	222
-5727	112,30	112,55	6568	4228	54,52	58,56	261
-5518	112,20	112,75	6438	4096	53,48	59,32	265
-5717	112,35	112,60	6469	4182	54,81	59,60	272
-5885	112,35	112,65	6496	4262	55,58	59,10	207
-5772	112,30	112,75	6662	4214	54,74	59,22	306
-5893	112,20	112,80	6564	4215	55,69	59,22	232
-5950	112,30	112,65	6943	4399	54,51	58,73	341
-6032	112,45	112,80	6599	4358	57,14	59,60	334
-6688	112,45	112,55	7198	4779	56,21	59,69	196

### 8.35 Summe der Kräfte in Y-Richtung - Spannelementposition 2 KG 1

Summe der Kräfte in Y							
Ratschenposition 2							
Kantengleiter 1 (Orange)							
Variante I	Variante II						
$\Sigma F_y$	$\delta_1$	$\delta_4$	$F_1$	$F_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\Sigma F_y$
in N	in Grad	in Grad	in N	in N	in Grad	in Grad	in N
-6652	114,00	114,40	6428	4938	56,86	64,48	15
-6477	112,75	114,55	6561	4837	55,67	64,90	221
-6604	112,90	114,75	6777	5114	54,94	64,60	269
-7442	112,95	114,80	7629	5141	53,77	64,27	-265
-7572	113,50	114,80	8038	5218	55,18	64,21	-38
-7303	112,90	114,75	7958	5401	51,99	64,41	12
-6222	113,00	114,70	6935	4308	53,41	64,31	35
-6697	113,00	114,70	7285	4616	52,59	64,81	-126
-7236	112,95	114,55	7724	5200	53,93	64,64	89
-7496	113,00	114,75	8106	5485	53,29	64,35	89

### 8.36 Summe der Kräfte in Y-Richtung - Spannelementposition 2 KG 2

Summe der Kräfte in Y							
Ratschenposition 2							
Kantengleiter 2 (Blau)							
Variante I	Variante II						
$\Sigma F_y$	$\delta_1$	$\delta_4$	$F_1$	$F_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\Sigma F_y$
in N	in Grad	in Grad	in N	in N	in Grad	in Grad	in N
-6845	112,30	114,45	7018	5245	53,21	63,07	33
-6643	112,55	114,50	6862	5227	52,35	63,01	22
-6982	112,45	114,40	7097	5487	53,44	62,64	68
-7397	112,55	114,30	7492	5935	52,61	62,93	61
-6813	112,65	114,25	6806	5311	54,01	62,99	52
-7258	112,45	114,30	7155	5188	56,60	63,45	34
-6773	112,50	114,15	6953	5322	53,01	63,20	111
-7249	112,60	114,15	7358	5838	52,50	63,20	97
-7168	112,70	114,35	7121	5349	55,41	63,34	46
-6821	112,60	114,30	6974	5427	53,09	63,27	130

### 8.37 Summe der Kräfte in Y-Richtung - Spannelementposition 2 KG 3

Summe der Kräfte in Y							
Ratschenposition 2							
Kantengleiter 3 (Schwarz)							
Variante I	Variante II						
$\Sigma F_y$	$\delta_1$	$\delta_4$	$F_1$	$F_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\Sigma F_y$
in N	in Grad	in Grad	in N	in N	in Grad	in Grad	in N
-7027	112,70	114,65	7390	5422	52,32	65,02	137
-6650	112,80	114,15	6913	5085	52,75	64,91	121
-6750	113,30	114,65	6913	5461	50,89	64,80	-27
-6675	113,15	114,55	6982	5243	52,38	64,61	109
-7382	113,20	114,00	7627	6009	52,10	63,49	126
-7843	114,15	114,45	7949	6071	53,00	63,90	-150
-6772	112,95	114,55	7054	5836	50,81	63,57	199
-7514	112,85	114,40	7731	6175	51,20	63,16	23
-7477	112,90	114,30	7619	6048	51,69	63,65	27
-6396	112,85	114,30	6513	4669	54,88	64,04	43

### 8.38 Summe der Kräfte in Y-Richtung - Spannelementposition 3 KG 1

Summe der Kräfte in Y							
Ratschenposition 3							
Kantengleiter 1 (Orange)							
Variante I	Variante II						
$\Sigma F_y$	$\delta_1$	$\delta_4$	$F_1$	$F_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\Sigma F_y$
in N	in Grad	in Grad	in N	in N	in Grad	in Grad	in N
-6565	113,00	114,85	5411	5078	61,52	62,41	-99
-6786	112,70	114,55	5532	5324	61,43	62,28	-67
-5836	112,20	113,40	4727	4767	61,30	61,63	95
-6496	112,65	113,90	5222	5121	62,00	62,39	2
-7207	112,55	114,10	5850	5543	62,22	62,80	-7
-6628	112,75	114,50	5297	5214	62,19	62,68	-40
-6669	113,15	115,90	5280	5305	62,35	62,73	-152
-6577	112,50	113,30	5278	5416	62,60	61,45	169
-6703	112,85	114,15	5351	5409	63,02	62,13	78
-6832	112,60	113,65	5534	5561	62,50	61,73	148

### 8.39 Summe der Kräfte in Y-Richtung - Spannelementposition 3 KG 2

Summe der Kräfte in Y							
Ratschenposition 3							
Kantengleiter 2 (Blau)							
Variante I	Variante II						
$\Sigma F_y$	$\delta_1$	$\delta_4$	$F_1$	$F_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\Sigma F_y$
in N	in Grad	in Grad	in N	in N	in Grad	in Grad	in N
-5981	112,55	114,40	4819	4748	61,17	62,54	-41
-6990	112,65	114,40	5614	5510	61,79	62,66	-35
-6857	112,45	114,75	5571	5423	60,67	62,67	-78
-6537	112,50	114,40	5319	5155	60,98	62,69	-33
-6439	112,60	114,65	5165	5091	61,18	62,88	-67
-7259	112,25	114,50	5961	5727	60,95	62,28	-24
-6366	112,45	114,25	5188	5039	60,46	62,66	-40
-6779	112,40	114,65	5585	5402	60,10	62,49	-49
-6096	112,40	114,50	4955	4752	60,84	63,49	-26
-6247	112,50	114,30	5035	4845	61,59	63,36	-18

### 8.40 Summe der Kräfte in Y-Richtung - Spannelementposition 3 KG 3

Summe der Kräfte in Y							
Ratschenposition 3							
Kantengleiter 3 (Schwarz)							
Variante I	Variante II						
$\Sigma F_y$	$\delta_1$	$\delta_4$	$F_1$	$F_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\Sigma F_y$
in N	in Grad	in Grad	in N	in N	in Grad	in Grad	in N
-8597	112,45	114,40	6901	6787	62,36	61,90	-38
-7352	112,70	114,50	5870	5801	62,95	61,80	-44
-6874	112,75	114,55	5549	5404	62,50	61,81	-54
-6994	112,65	112,80	5650	5480	62,80	61,51	76
-7967	112,70	114,70	6560	6150	62,71	61,54	-62
-7102	112,40	112,90	5820	5693	62,14	60,53	94
-7553	112,50	114,75	6255	5822	62,24	61,36	-82
-6797	112,40	112,75	5569	5416	62,52	60,44	103
-7244	112,40	112,90	6031	5821	61,65	60,55	127
-8024	112,50	114,60	6628	6288	62,54	61,54	20