

Sichern von überbreiten Ladungen im Straßenverkehr

Normale Straßennutzfahrzeuge dürfen eine Ladefläche von maximal 2,55 m Breite haben. Der Transport von Ladungseinheiten mit einer größeren Breite ist genehmigungspflichtig. In diesem Beitrag geht es um die Grundsätze der Sicherung solcher Ladungseinheiten. Dabei wird sowohl die Niederzurrung als auch die Direktzurrung behandelt, nicht aber die verschiedenen Möglichkeiten des Blockierens, da sie weitgehend von der Bauart und Ausstattung der verwendeten Fahrzeuge abhängen.

Sichern überbreiter Ladungen durch Niederzurrung

Bestehende Regelwerke, insbesondere die Richtlinie VDI 2700, Blatt 2 von 2014 und die aktuelle Norm DIN EN 12195-1:2011, behandeln überbreite Ladungen nicht ausdrücklich. Es ist aus den Texten auch nicht erkennbar, ob Niederzurrung für ihre Sicherung befürwortet oder abgelehnt wird. Betrachtet man jedoch die im vergangenen Jahrzehnt in Europa geführte Diskussion um die Bewertung der Niederzurrung, insbesondere das Tauziehen um den k-Faktor, so dürfte klar werden, dass die bestehenden Rechenmodelle für die Niederzurrung normalbreiter Ladungen nicht auf überbreite Ladungen ausgedehnt werden dürfen. Das ist sicherlich der Grund dafür, dass in jüngster Zeit die Sicherung überbreiter Ladung im Straßenverkehr in Fachkreisen vermehrt diskutiert wird. Dabei scheint man sich ausschließlich auf die Niederzurrung zu konzentrieren und sucht den hierfür anzuwendenden k-Faktor.

In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, dass die gültige Norm DIN EN 12195-1:2011 den k-Faktor nicht mehr explizit enthält, aber Niederzurrungen mit einem Rechenmodell bewertet, welches den Faktor $(2 / f_s)$ enthält. Dieser Faktor kann mit $f_s = 1,1$ bzw. $1,25$ im Sinne des früheren k-Faktors als $k = 1,8$ für Sicherung quer zum Fahrzeug und als $k = 1,6$ für Sicherung in Fahrtrichtung interpretiert werden. Die Richtlinie VDI 2700, Blatt 2 von 2014 hat den Begriff des k-Faktors aus der früheren Norm DIN EN 12195-1:2004 übernommen, empfiehlt aber nur den einen Wert, nämlich $k = 1,8$ für alle Richtungen, wenn dem nichts entgegen steht.

Publikationen

Die im Anhang genannten Ausarbeitungen und Publikationen aus jüngster Zeit kommen für überbreite Ladungen zu folgenden Ergebnissen:

In [1] wird der k-Faktor etwas anders als bislang üblich definiert, nämlich als k_1 und k_2 getrennt für beide Seiten der Niederzurrung einer überbreiten Ladung, um auf diese Weise den Einfluss unterschiedlicher Positionen des oder der Spannmittel in der Niederzurrung exakt berücksichtigen zu können. Um die damit verbundene, komplizierte Berechnung zu umgehen, empfiehlt der Autor die Bereitstellung von geeigneten Tabellen. Dabei wird die Sicherungswirkung der Niederzurrung allein mit dem konventionellen Ansatz der Reibung aus den Vertikalkomponenten der Zurrkräfte bestimmt.

In [2] wird der gleiche Ansatz verwendet und der bisherige k-Faktor mit Bezugnahme auf Messungen in einem bestimmten Anwendungsfall (Betonfertigdecken) auf $1,25$ gesetzt mit dem Hinweis, dass in anderen Fällen andere Werte erforderlich sein können.

In [3] beschreibt der Autor die Problematik der Berücksichtigung der Reibungsverluste an den vier Ladungskanten und gibt den pragmatischen Rat, überbreite Ladungen grundsätzlich nur unter Verwendung von Anti-Rutschmatten niederzuzurren.

Der Forschungsbericht [4] bestätigt messtechnisch eindrucksvoll die Gültigkeit der Euler'schen Theorie der Kantenreibung bei der Niederzurrung einer überbreiten Ladungseinheit mitsamt den vorhersagbaren Nebeneffekten. Es wurde sowohl die Streuung der Messwerte durch nicht kontrollierbare Wechsel zwischen Haft- und Gleitreibung an den vier Umlenkanten des Ladungsmodells als auch die gelegentliche Umkehrung des Euler'schen Kräfteverhältnisses an der dem Spannmittel nächstliegenden Umlenkung verzeichnet. Der zuletzt genannte Effekt tritt infolge des praktischen Spannvorgangs mit Rücksprung auf das letzte erreichte Zahnelement der Wickelachse auf und wurde bereits in

[5] in Form des sogenannten "Ratschenfaktors" für eine Korrektur des Rechenansatzes für normale Niederzurrungen verwendet. Die Messungen in [4] wurden unter Verwendung verhältnismäßig glatter Kantenschoner mit Reibbeiwerten zum Gurtmaterial in der Größenordnung von $\mu_G = 0,15$ durchgeführt. Insgesamt wird im Bericht die Verwendung eines k-Faktors von höchstens $k = 1,5$ empfohlen. Auch hier wurde unterstellt, dass die Sicherungswirkung einer Niederzurrung ausschließlich aus der vergrößerten Reibung zur Ladefläche aus den Vertikalkomponenten der Gurtkräfte in den Endabschnitten besteht.

Erweiterte Sichtweise

Es besteht bei niedergezurrten überbreiten Ladungen gegenüber normalbreiten ein merklicher Vorteil darin, dass die beiden zusätzlichen Umlenkungen des Zurrmittels über die unteren Kanten der Ladungseinheit eine verstärkte sekundäre Sicherungswirkung entstehen lassen, welche die Primärwirkung deutlich übertrifft. Deshalb wird in der nachstehenden Abhandlung dargestellt, welche tatsächliche Sicherungswirkung gegen Rutschen und gegen Kippen quer zur Ladefläche von der Niederzurrung einer solchen überbreiten Ladungseinheit zu erwarten ist.

Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die Ladung im Falle von extremen Belastungen, wie sie die Auslegungsbeschleunigungen der Richtlinien und Normen ergeben, ein wenig bewegt. Dieses "ein wenig" bedeutet deutlich weniger, als sich eine direkt gezurrte Ladung bewegen muss, wenn die Zurrmittel im Auslegungslastfall ihre zugestandene "Lashing Capacity" LC erreichen sollen.

Das heißt aber nicht, dass hier der Niederzurrung von überbreiten Ladungen das Wort geredet werden soll, denn im Anschluss daran werden erheblich wirksamere Direktzurrungen von überbreiten Ladungen vorgestellt.

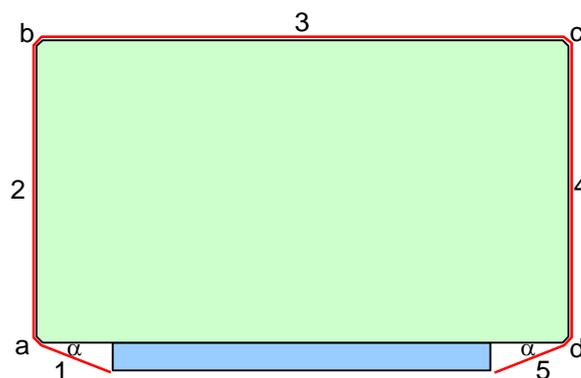


Bild 1: Niederzurrung einer überbreiten Ladungseinheit

Bild 1 zeigt die Niederzurrung einer überbreiten Ladung mit den Gurtabschnitten 1 bis 5 und den Umlenkstellen a bis d. Im Ausgangszustand, also nachdem der Gurt gespannt worden ist, herrschen in den fünf Gurtabschnitten durchaus unterschiedliche Kräfte. Die Verteilung dieser Kräfte hängt allein von der Position des oder der Spannmittels ab. Die größte Kraft wird in dem Abschnitt zu erwarten sein, in welchem das Spannmittel sitzt. Die übrigen Kräfte stufen sich nach jeder Umlenkung mit einem Faktor ab, den die bekannte Euler'sche Formel für den Reibungsverlust bei Umlenkung eines Seils oder Spanngurts liefert.

$$\text{Umlenkfaktor } c = e^{-\mu_G \cdot \phi}$$

e = Euler'sche Konstante (= 2,718281828...)

μ_G = Reibbeiwert zwischen Gurt und Ladung

ϕ = Umlenkwinkel (Richtungsänderung) des Gurts an der Ladungskante [rad]

Kleine Abweichungen von dieser Euler'schen Verteilung, wie sie in [4] durch Messungen nachgewiesen worden sind, haben erkennbare Ursachen und können erst einmal vernachlässigt werden, um die grundsätzlichen Überlegungen nicht unnötig zu erschweren.

Die anfängliche Kraftverteilung, insbesondere die Vorspannkraft in den Gurtabschnitten 1 und 5, ist in einem Auslegungslastfall **nicht** entscheidend für die Sicherungswirkung. Alle praktischen Fahrversuche zeigen kleine Verformungen und/oder Bewegungen niedergezurrter Ladung, was ja auch als Argument für die Verwendung des Gleitreibbeiwerts im vereinfachten Rechenmodell vorgetragen wird – ob zu Recht, sei dahingestellt.

Rutscht also die in Bild 1 gezeigte Ladungseinheit in einer scharfen Kurvenfahrt einige Millimeter nach links, so werden die Gurtabschnitte 1 und 2 gedehnt und die Abschnitte 4 und 5 entlastet. Der mittlere Abschnitt 3 erfährt nur eine geringe oder gar keine Längenänderung. Diese Längenänderungen führen zu Kraftänderungen in den jeweiligen Gurtabschnitten. Sie werden aber wiederum durch die Euler'sche Kantenreibung begrenzt, indem die Kräfte in benachbarten Gurtabschnitten nicht unterschiedlicher sein können, als es der Faktor erlaubt, der zur dazwischen liegenden Umlenkung gehört.

Das klingt etwas kompliziert. Es führt aber letztlich dazu, das sich im Verlauf des Rutschens der Ladung sehr schnell eine neue Kraftverteilung im Gurt einstellt, die man durch Berechnung erfassen kann, und die letztlich die Sicherungswirkung des Gurts zutreffender bestimmt als die Kräfte im Ausgangszustand. Die Gleichungen für diese Berechnung lauten:

$$F_L = \frac{F_1 \cdot L_1 + F_2 \cdot L_2 + F_3 \cdot L_3 + F_4 \cdot L_4 + F_5 \cdot L_5}{L_1 + c_a \cdot L_2 + c_a \cdot c_b \cdot L_3 + c_a \cdot c_b \cdot c_c \cdot L_4 + c_a \cdot c_b \cdot c_c \cdot c_d \cdot L_5} \quad [\text{daN}]$$

$$F_R = c_a \cdot c_b \cdot c_c \cdot c_d \cdot F_L \quad [\text{daN}]$$

$L_{1 \text{ bis } 5}$ = Längen der Gurtabschnitte 1 bis 5 [m]

$F_{1 \text{ bis } 5}$ = Anfangskräfte in den Gurtabschnitten 1 bis 5 [daN]

$c_{a \text{ bis } d}$ = Faktoren der Euler'schen Kantenreibung an den Kanten a bis d

F_L = Kraft im Gurtabschnitt 1 nach Rutschen der Ladung [daN]

F_R = Kraft im Gurtabschnitt 5 nach Rutschen der Ladung [daN]

Die **Herleitung** dieser Gleichungen erfordert keine höhere Mathematik. Für die praktische Anwendung sind sie aber doch zu aufwendig und sollten durch ein einfacheres Rechenmodell ersetzt werden. Das geschieht weiter unten. Zunächst wird die Auswirkung dieses Denkansatzes mit systematisch veränderten Positionen des oder der Spannmittel im Gurt vorgestellt. Die etwas aufwendigen Berechnungen kann man dabei getrost einer Excel-Tabelle anvertrauen.

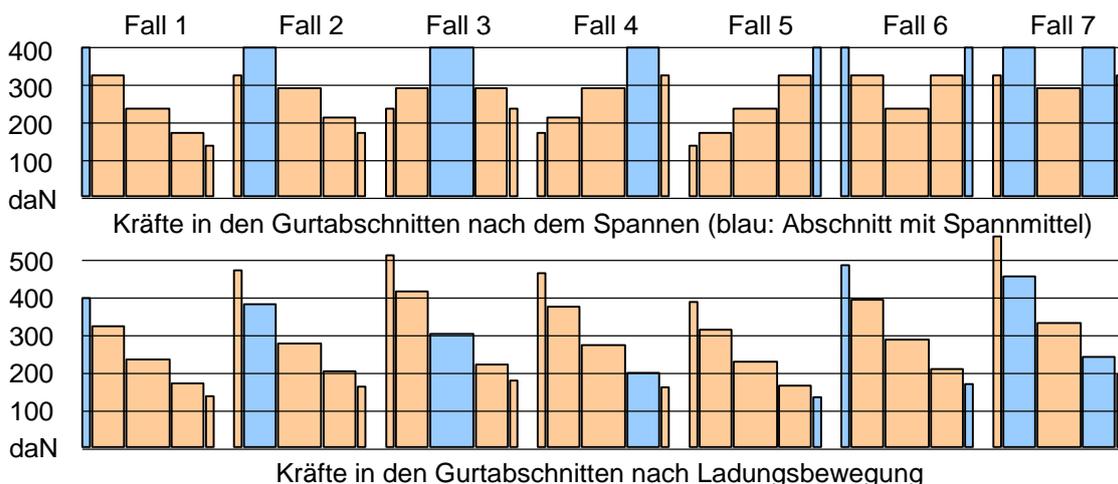


Bild 2: Änderung der Kräfte in den Gurtabschnitten nach Ladungsbewegung

In Bild 2 werden im oberen Teil die Kräfte in den fünf Gurtabschnitten einer überbreiten Ladung kurz nach dem Spannen dargestellt und zwar für sieben unterschiedliche Positionen des oder der Spannmittel. Die Säule mit dem Spannmittel ist blau dargestellt. Die Breite der gezeigten Säulen entspricht der Länge der Gurtabschnitte, so dass die Fläche in jeder Säule eine Vorstellung von der gespeicherten Energie in dem betreffenden Abschnitt vermittelt. Es

ist also erkennbar, dass die Anordnung des Spannmittels in den Fällen 1 und 5 am wenigsten Energie in der Niederrzeugung speichert, in den Fällen 2, 3 und 4 hingegen deutlich mehr. Die beiden Fälle 6 und 7 mit jeweils zwei Spannmitteln liegen noch etwas darüber.

Im unteren Teil des Bildes 2 werden die Kräfteverteilungen gezeigt, die sich rechnerisch ergeben, wenn die Ladung "ein wenig" nach links gerutscht ist und die Kräfte sich der Euler'schen Kantenreibung entsprechend neu verteilt haben. Dazu muss der Gurt auf der Ladung etwas rutschen, meist nur im Millimeterbereich. In den Fällen 1 und 5 ändert sich dadurch für die Endabschnitte nichts. Aber in allen übrigen Fällen steigt die "Ausbeute" an Zurrkraft deutlich an, weil sich die in den längeren Gurtabschnitten gespeicherte Energie in den Endabschnitten als Kraftzuwachs auswirkt.

Die Kräfte in den Endabschnitten, die sich grundsätzlich nicht mehr verändern, werden nun wie die Kräfte einer direkt wirkenden Zurrung ausgewertet. Das bedeutet, ihre Vertikalkomponenten wirken reibungserhöhend und ihre Horizontalkomponenten wirken direkt sichernd. Allerdings zeigen letztere in unterschiedliche Richtungen, so dass nur die Differenz sichernd wirkt. Aber die ist wegen der vorangegangenen Ladungsbewegung immer positiv, also sichernd.

Damit lautet die erweiterte Sicherungswirkung SW aus den beiden Endkräften F_L und F_R :

$$SW = (F_L + F_R) \cdot \mu \cdot \sin \alpha + (F_L - F_R) \cdot \cos \alpha \text{ [daN]}$$

Zum Vergleich dazu wird nach dem konventionellen Rechenmodell mit folgender Formel gerechnet:

$$SW_{konv.} = (F_1 + F_2) \cdot \mu \cdot \sin \alpha \text{ [daN]}$$

Beispiele

Um die Unterschiede dieser Rechenansätze deutlich zu machen, werden zwei typische Beispiele für eine Ladeflächenbreite von 2,55 m gerechnet. Für das erste Beispiel sind folgende Eingangsgrößen gewählt worden:

Vorspannkraft S_{TF} =	400 daN	Reibbeiwert am Gurt μ_G =	0,20
Ladungsbreite B =	4,000 m	Reibbeiwert zur Ladefläche μ =	0,40
Ladungshöhe H =	3,000 m	Ratschenlänge R =	0,300 m
Chassishöhe C =	0,420 m	Normierte Federkonstante D_N =	62500 daN

Daraus werden die weiteren Hilfsgrößen berechnet:

Zurrwinkel α =	0,525 rad	Gurtabschnitt L_1 =	0,838 m
Eulerfaktor c_a =	0,811	Gurtabschnitt L_2 =	3,000 m
Eulerfaktor c_b =	0,730	Gurtabschnitt L_3 =	4,000 m
Eulerfaktor c_c =	0,730	Gurtabschnitt L_4 =	3,000 m
Eulerfaktor c_d =	0,811	Gurtabschnitt L_5 =	0,838 m

Bei den Gurtabschnittlängen handelt es sich um die rohen Längen. Von denjenigen Längen, in denen ein Spannmittel (Ratsche) eingefügt ist, wird in den Berechnungen ein Betrag R für Ratsche und Gurtverdoppelung abgezogen, weil beide im Vergleich zum normalen Gurtmaterial eine wesentlich größere Federkonstante aufweisen und daher vereinfachend als ideal "steif" angesehen werden können.

Kräfte [daN]	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_L	F_R	SW_1	SW_2	ΔY
Ratsche in Abschn.1	400	325	237	173	140	400	140	108	333	0,0
Ratsche in Abschn.2	325	400	292	213	173	473	166	100	394	1,5
Ratsche in Abschn.3	237	292	400	292	237	514	181	95	428	11,2
Ratsche in Abschn.4	173	213	292	400	325	465	163	100	387	13,6
Ratsche in Abschn.5	140	173	237	325	400	389	137	108	324	11,8
Ratschen in 1 und 5	400	325	237	325	400	487	171	160	405	4,8
Ratschen in 2 und 4	325	400	292	400	325	568	198	130	470	6,6

Die Tabelle liefert für unterschiedliche Ratschenpositionen die Anfangskräfte F_1 bis F_5 und die Endkräfte F_L und F_R in daN. Hier zeigt sich bereits der Vorteil einer Positionierung der Ratsche in den Abschnitten 2 bis 4, weil hier die von der Ratsche erzeugte Vorspannkraft in längeren Gurtabschnitten untergebracht ist und damit eine insgesamt höhere Vorspannungsenergie im Gurt erreicht wird. Die Verwendung von zwei Ratschen bringt nochmals eine relative Steigerung.

Im Ergebniskasten rechts wird die Sicherungswirkung SW_1 nach konventioneller Rechnung gezeigt. Daneben stehen die Sicherungswirkung SW_2 unter Berücksichtigung der Querkomponenten. Die zu ihrer Entstehung notwendige Ladungsbewegung ΔY in Millimetern steht in der äußeren rechten Spalte.

Die kleinen Asymmetrien in den Ergebnissen von SW_2 entstehen durch den Abzug der Länge R in den betreffenden Abschnitten. Das Einsetzen von zwei Ratschen in den mittleren Abschnitt 3 bringt kräftemäßig keine Vorteile gegenüber nur einer Ratsche in diesem Abschnitt. Es kann sich trotzdem als günstig erweisen, um die Anzahl der Lagen auf den Wickelachsen nicht zu groß werden zu lassen.

Zur Veranschaulichung dieser Ergebnisse werden in Bild 3 in einem Säulendiagramm die Sicherungswirkungen nach konventioneller Bewertung (blau) und nach erweiterter Bewertung (rot) dargestellt. Das Ergebnis zeigt den gravierenden Einfluss der Horizontalkomponenten, vor allem bei Ladungen, die erheblich breiter sind als die Ladefläche und folglich kleine Winkel α ergeben.

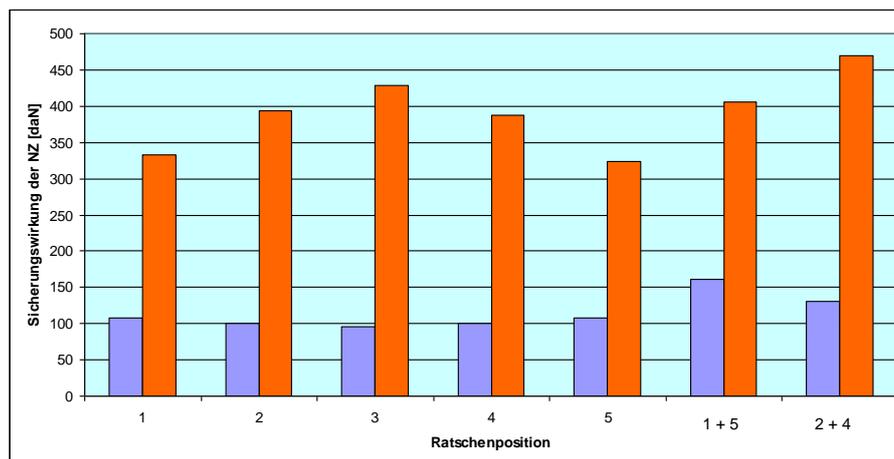


Bild 3: Sicherungswirkungen konventionell (blau) und erweitert (rot) für $B = 4,0$ m

Ist die Ladung nur wenig breiter als die Ladefläche, ergeben sich große Zurrwinkel und die Querkomponenten werden klein. Dann liegen die Ergebnisse der beiden Rechenmodelle erwartungsgemäß näher beieinander. Das wird an einem zweiten **Beispiel** demonstriert, welches sich von dem ersten Beispiel nur dadurch unterscheidet, dass die Ladung nicht 4,0 m breit ist, sondern nur 2,75 m, also nur 10 cm auf jeder Seite übersteht. Der Zurrwinkel α beträgt hier knapp 77° und die zum Erreichen der erweiterten Sicherungswirkung notwendige Ladungsverschiebung liegt im Höchstfall bei ca. 4 cm. Bild 4 zeigt die Sicherungswirkungen.

Die gepunktete Linie zeigt zur Orientierung die Sicherungswirkung quer zum Fahrzeug gemäß DIN EN 12195-1 für eine Ladung von exakt 2,55 m Breite und ansonsten gleichen Werten wie im zweiten Beispiel:

$$SW_{DINEN} = S_{TF} \cdot 2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha / f_s = 400 \cdot 2 \cdot 0,4 \cdot 1,0 / 1,1 = 291 \text{ daN}$$

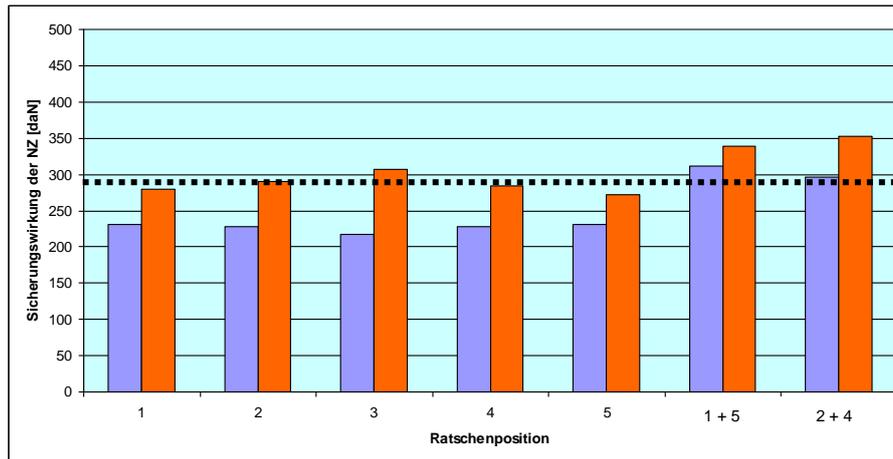


Bild 4: Sicherungswirkungen konventionell (blau) und erweitert (rot) für B = 2,75 m

Praktische Umsetzung

Von den Möglichkeiten der Positionierung des oder der Spannmittel werden die zwei Fälle herausgegriffen, welche nach erweiterter Berechnung die kleinsten Sicherungswirkungen erzielen. Dann befindet man sich mit den anderen Möglichkeiten immer auf der sicheren Seite. Die Ladungseinheit wird hier durch eine große Holzkiste dargestellt.

Die **Möglichkeit A** verwendet einen üblichen zweiteiligen Zurrgurt. Die Spannratsche sitzt in Abschnitt 1 oder 5 an einer der Unterseiten der Kiste. Bei der **Möglichkeit B** werden zwei lange Gurtabschnitte miteinander verbunden und die Enden in zwei Spannratschen eingeführt, die in den Abschnitten 1 und 5 sitzen.

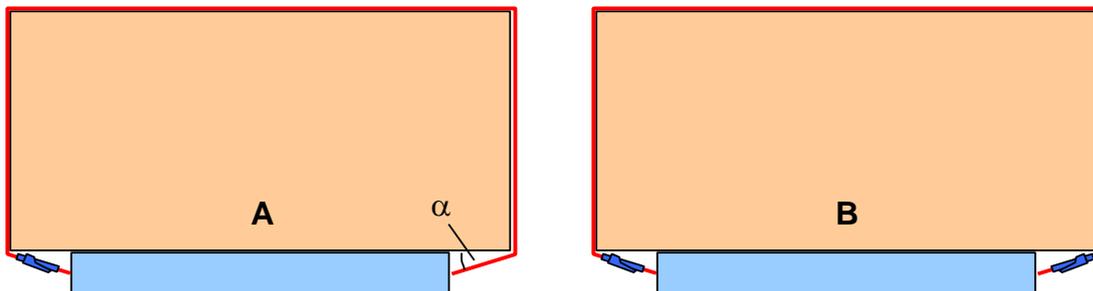


Bild 5: Varianten A und B der Niederzurrung überbreiter Ladung

Die Gurtspannungen in den Ausgangssituationen sind bereits etwas unsicher. Wegen der Kürze der Abschnitte mit der Ratsche ist nicht zu erwarten, dass sich dort nach dem Loslassen des Hebels die auf dem Etikett des Gurts angegebene Vorspannkraft S_{TF} einstellen wird, sondern ein kleinerer Wert. Das spielt aber für das Spannungsniveau im gesamten Gurtverlauf eben wegen der Kürze der Spanabschnitte keine große Rolle, weil statistisch vor dem Loslassen des Hebels in den benachbarten langen Abschnitten größere Spannungen erreicht worden sind, als mit S_{TF} am Spannmittel zu erwarten gewesen wären.

Für die **Zurmöglichkeit A** ist es deshalb berechtigt, – gegebenenfalls nach geringem Rutschen der Ladungseinheit – anzunehmen, dass sich folgende Kräfte in den beiden Endabschnitten einstellen:

Belastungsseite:	S_{TF}	[daN]
Gegenseite:	$S_{TF} \cdot e^{-\mu_G \cdot 2 \cdot (\pi - \alpha)}$	[daN]

Die Sicherungswirkung des Gurts gegen weiteres Rutschen ist damit:

$$SW = S_{TF} \cdot \mu \cdot (1 + e^{-\mu_G \cdot 2 \cdot (\pi - \alpha)}) \cdot \sin \alpha + S_{TF} \cdot (1 - e^{-\mu_G \cdot 2 \cdot (\pi - \alpha)}) \cdot \cos \alpha \quad [\text{daN}]$$

Bei der **Zurmöglichkeit B** besteht wegen der beidseitigen Vorspannung von vornherein ein höheres Spannungsniveau im gesamten Gurtverlauf. Wegen der Kürze der Gurtabschnitte 1

und 5 gegenüber den längeren Abschnitten 2, 3 und 4 beträgt die Steigerung aber nur etwa 20%. So ergeben sich – gegebenenfalls nach geringem Rutschen der Ladungseinheit – vereinfacht folgende Kräfte in den beiden Endabschnitten:

$$\text{Belastungsseite: } 1,2 \cdot S_{TF} \quad [\text{daN}]$$

$$\text{Gegenseite: } 1,2 \cdot S_{TF} \cdot e^{-\mu_G \cdot 2 \cdot (\pi - \alpha)} \quad [\text{daN}]$$

Die Sicherungswirkung des Gurts gegen weiteres Rutschen ist damit:

$$SW = 1,2 \cdot S_{TF} \cdot \left((1 + e^{-\mu_G \cdot 2 \cdot (\pi - \alpha)}) \cdot \mu \cdot \sin \alpha + (1 - e^{-\mu_G \cdot 2 \cdot (\pi - \alpha)}) \cdot \cos \alpha \right) [\text{daN}]$$

Zur einfacheren Anwendung dieser Formeln wird nachstehend eine Tabelle geliefert, aus der die Werte für $c = e^{-\mu_G \cdot 2 \cdot (\pi - \alpha)}$ entnommen werden können. Dabei ist der Zurrwinkel α stets der Winkel zwischen dem Endabschnitt des Gurts und der Horizontalen, wie in Bild 5 gezeigt. Das gilt auch für zylinderförmige überbreite Ladungen. Die Formeln für die Sicherungswirkungen lauten dann:

$$\text{Ein Spannmittel: } SW = S_{TF} \cdot \left((1 + c) \cdot \mu \cdot \sin \alpha + (1 - c) \cdot \cos \alpha \right) [\text{daN}]$$

$$\text{Zwei Spannmittel: } SW = 1,2 \cdot S_{TF} \cdot \left((1 + c) \cdot \mu \cdot \sin \alpha + (1 - c) \cdot \cos \alpha \right) [\text{daN}]$$

$\mu_G \setminus \alpha$	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
0,10	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,66	0,68	0,71
0,15	0,39	0,41	0,43	0,46	0,48	0,51	0,53	0,56	0,59
0,20	0,28	0,31	0,33	0,35	0,38	0,40	0,43	0,46	0,50
0,25	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,32	0,35	0,38	0,42
0,30	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,26	0,28	0,32	0,35
0,35	0,11	0,13	0,14	0,16	0,18	0,20	0,23	0,26	0,29
0,40	0,08	0,09	0,11	0,12	0,14	0,16	0,19	0,22	0,25

Tabelle der c-Werte mit den Eingangswerten μ_G und Zurrwinkel α

Für die Einschätzung der Sicherungswirkung der Niederzurrung in Fahrtrichtung sollte das Ergebnis noch mit 0,9 multipliziert werden, um in Übereinstimmung mit der Norm DIN EN 12195-1:2011 zu bleiben. Ist der Zurrwinkel größer als 80°, sollte die Berechnung nach den Formeln für normalbreite Ladungen durchgeführt werden.

Die Anwendung der gezeigten Formeln wird an zwei **Beispielen** demonstriert.

Ein Spannmittel im Gurtabschnitt 1 oder 5:

$$S_{TF} = 400 \text{ daN}$$

$$\mu = 0,4 \text{ (Reibbeiwert zur Ladefläche)}$$

$$\mu_G = 0,2 \text{ (Reibbeiwert zwischen Gurt und Ladung)}$$

$$\alpha = 30^\circ = 0,525 \text{ rad}$$

$$SW = 400 \cdot (0,4 \cdot (1 + 0,35) \cdot \sin 30^\circ + (1 - 0,35) \cdot \cos 30^\circ) \text{ daN}$$

$$SW = 108 + 225 = 333 \text{ daN}$$

Wie zu erwarten war, dominiert der Anteil der direkt wirkenden Horizontalkräfte mit 225 daN gegenüber der Reibungserhöhung von nur 108 daN.

Zwei Spannmittel in den Gurtabschnitten 1 und 5:

$$SW = 1,2 \cdot 400 \cdot (0,4 \cdot (1 + 0,35) \cdot \sin 30^\circ + (1 - 0,35) \cdot \cos 30^\circ) \text{ daN}$$

$$SW = 130 + 270 = 400 \text{ daN}$$

Wie zuvor dominiert der Anteil der direkt wirkenden Horizontalkräfte mit 270 daN gegenüber der Reibungserhöhung von nur 130 daN.

Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass die erweiterte Sicherungswirkung bei kleinen Winkeln α deutlich ansteigt, wenn ein größerer Reibbeiwert μ_G zwischen Zurrurt und Ladung wirkt. Man nähert sich mit einem großen Reibbeiwert einer Direktsicherung.

Niederzurrung gegen Kippen

Die Niederzurrung einer überbreiten Ladungseinheit als Sicherung gegen Kippen ist ein unsicheres Unterfangen, weil beim Rutschen und beim Kippen unterschiedliche Seiten der Niederzurrung belastet werden. Um diesen ungewöhnlichen Sachverhalt deutlich zu machen, wird auf Bild 6 Bezug genommen.

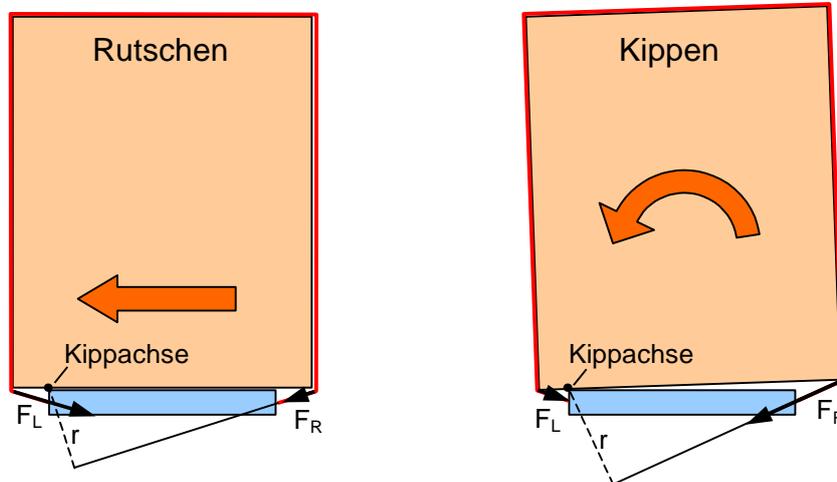


Bild 6: Zurrkräfte beim Rutschen und beim Kippen

Im **linken Bild** rutscht die Ladung mit ansteigender Trägheitskraft zunächst geringfügig nach links und baut auf der linken Seite die Zurrkraft F_L auf, während rechts die kleine Restkraft F_R verbleibt, die sich aus der Kantenreibung nach Euler ergibt. Diese Restkraft liefert nur ein kleines Moment gegen das Kippen nach links. Die Ladungseinheit wird zügig ankippen.

Im **rechten Bild** rutscht die Ladung wegen möglicherweise etwas größerer Reibung zunächst nicht und kippt stattdessen leicht an. Durch die auftretende Verlängerung des unteren rechten Gurtabschnitts baut sich rechts die Zurrkraft F_R auf, während links die kleine Restkraft F_L erscheint. Welches Gleichgewicht sich sodann einstellt, ist fraglich, weil diese Kräftekonstellation ihrerseits das Rutschen begünstigt.

Diese Unbestimmtheit des Ladungsverhaltens und der insgesamt kleine Hebel r des kipsichernden Moments machen die Niederzurrung zur Kippsicherung unberechenbar und damit untauglich.

Sichern überbreiter Ladungen durch Direktzurrung

Alternative Methoden zur Sicherung überbreiter Ladungen beruhen vorzugsweise auf dem Prinzip der Direktzurrung. Bild 7 zeigt Buchtflaschings und an Kopfschlaufen eingehängte Direktzurrungen, die zur Sicherung gegen Rutschen und gegen Kippen quer zum Fahrzeug dienen. Die Sicherung in Längsrichtung ist auf ähnliche Weise möglich, wird aber oft leichter durch Blockieren erreicht.

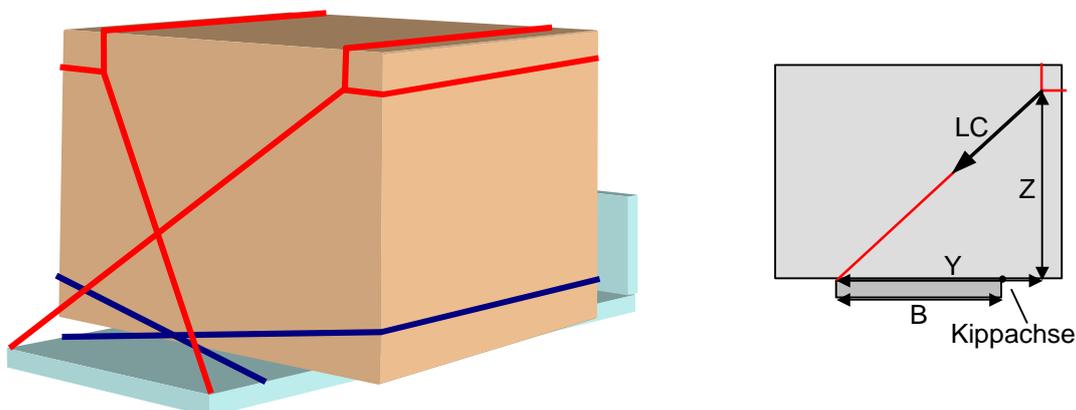


Bild 7: Sichern mit Buchtflaschings und Kopfschlaufen

Die Sicherungswirkung der Direktzurrungen wird an dieser Stelle exemplarisch berechnet zum Vergleich mit der sehr dürftigen Wirkung der oben behandelten Niederzurrungen.

Beispiel: Die Buchtflaschings haben die Komponenten $X = 0,4$ m, $Y = 3,2$ m, $Z = 0,6$ m. Der Reibbeiwert zur Ladefläche ist $\mu = 0,3$ und die zulässigen Belastung ist $LC = 1500$ daN. Die Sicherungswirkung eines Buchtflaschings gegen Rutschen quer zum Fahrzeug ist:

$$SW = 2 \cdot LC \cdot \left(\frac{Y + \mu \cdot Z}{L} \right) = 2 \cdot 1500 \cdot \left(\frac{3,2 + 0,3 \cdot 0,6}{3,280} \right) = 3091 \text{ daN}$$

Die Direktzurrungen an den Kopfschlaufen haben die Komponenten $X = 0,9$ m, $Y = 2,9$ m, $Z = 2,6$ m. Der Reibbeiwert zur Ladefläche ist ebenfalls $\mu = 0,3$ und die zulässigen Belastung ist $LC = 1500$ daN. Die Sicherungswirkung eines Paares der Direktflaschings gegen Rutschen quer zum Fahrzeug ist:

$$SW = 2 \cdot LC \cdot \left(\frac{Y + \mu \cdot Z}{L} \right) = 2 \cdot 1500 \cdot \left(\frac{2,9 + 0,3 \cdot 2,6}{3,997} \right) = 2762 \text{ daN}$$

Als Kippsicherungen wirken nur die an den Kopfschlaufen eingehängten Direktzurrungen. Dabei ist zu beachten, dass die Vertikalkomponente der Zurrkraft mit dem Hebel ($Y - B$) das Kippen unterstützt, also negativ in die Sicherungswirkung eingeht. Hierbei ist $B = 2,5$ m die Breite der Ladefläche. Die Sicherungswirkung gegen Kippen quer zum Fahrzeug ist:

$$SW = 2 \cdot LC \cdot \left(\frac{Y \cdot Z - Z \cdot (Y - B)}{L} \right) = 2 \cdot LC \cdot \left(\frac{B \cdot Z}{L} \right) = 2 \cdot 1500 \cdot \left(\frac{2,5 \cdot 2,6}{3,997} \right) = 4879 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

Die Beispiele zeigen, dass die Direktsicherung überbreiter Ladungen, von den Standpunkten Sicherheit und Wirtschaftlichkeit her betrachtet, der Niederzurrung um etwa den Faktor 10 überlegen ist.

Um den Vergleich mit der Niederzurrung zu vervollständigen, wird die Rutschstrecke der Ladung berechnet, die notwendig ist, um den Buchtflasching aus dem vorherigen Beispiel von einer Vorspannkraft $F_0 = 400$ daN auf $LC = 1500$ daN zu bringen. Der Buchtflasching ist an beiden Enden mit einer Ratsche versehen, deren "steife" Länge einschließlich des doppelt vernähten Gurtstücks mit $0,3$ m angenommen wird. Die Kraft im längslaufenden Mittelabschnitt des Gurts wird unter Berücksichtigung der Euler'schen Kantenreibung mit einem Reibbeiwert $\mu_G = 0.2$ berechnet:

$$e^{-0,2 \cdot \pi / 2} = 0,73$$

Zur Umrechnung von Kraftänderung in Längenänderung wird eine 4%ige elastische Dehnung des Gurts bei Erreichen von LC angenommen. Das ergibt eine normierte Federkonstante von $D_N = 1500/0,04 = 37500$ daN.

Die Berechnung wird tabellarisch dargestellt:

	Querabschnitt vorn	Längsabschnitt	Querabschnitt hinten
rohe Länge L'	3,2 m	4,0 m	3,2 m
elastische Länge L	2,9 m	4,0 m	2,9 m
Federkonstante $D = D_N/L$	12931 daN/m	9375 daN/m	12931 daN/m
Vorspannkraft F_0	400 daN	292 daN	400 daN
volle Belastung LC	1500 daN	1095 daN	1500 daN
Kraftänderung ΔF	1100 daN	803 daN	1100 daN
Längenänderung $\Delta F/D$	0.085 m	0.086 m	0.085 m

Die gesamte Längenänderung beträgt $0,256$ m. Sie teilt sich auf die beiden Querstrecken auf, so dass die Ladungseinheit um den Betrag von $0,128$ m zur Seite rutschen muss, um die volle Belastung des Gurts von $LC = 1500$ daN zu bewirken. Diese Ladungsbewegung reicht ferner aus, um den gegenläufigen Buchtflasching völlig zu entlasten, eine wichtige Voraussetzung für das übliche Rechenmodell einer Direktzurrung. Damit wird deutlich, dass

die notwendige Ladungsbewegung zur Rechtfertigung des erweiterten Rechenmodells einer Niederzurrung deutlich kleiner ist, als die stillschweigend akzeptierte Ladungsbewegung, die dem Rechenmodell der Direktzurrung zugrunde liegt.

Weitere Sicherungsalternativen setzen die Verwendung besonderer Hilfsmittel voraus. Mit speziellen Eckbeschlägen kann eine sehr wirksame Sicherung überbreiter Kisten gleichzeitig in Längs- und Querrichtung erreicht werden. In Bild 8 wird eine derartige Anordnung auf einem Flatrack für den Seetransport gezeigt. Das System ist ohne weiteres auch auf einem Tieflader für den Straßenverkehr anzuwenden, wenn dieser geeignete Zurrpunkte hat.



Bild 8: Sichern mit Buchtlaschings und Direktlaschings (Quelle: Cordstrap)

Die in diesem Aufsatz dargestellten Überlegungen und Schlussfolgerungen werden, mit der gebotenen Vorsicht, auch in die demnächst erscheinende Neuauflage des Ladungssicherungshandbuchs des GDV einfließen.

Literatur:

- [1] Podzuweit, Ulrich; "Studie zu den mechanischen Grundlagen der Niederzurrtechnik unter besonderer Berücksichtigung des k-Faktors", 2014 (bislang unveröffentlicht)
- [2] DEKRA; Praxisratgeber Nr. 2 Ladungssicherung, 3. Auflage, September 2014
- [3] Lampen, Alfred; "Sichern überbreiter Ladungen"; Berufskraftfahrer-Zeitung 9/14
- [4] Dorn, Carsten, Dr.-Ing.; Forschungsbericht "Untersuchungen zur Thematik der überbreiten niedergezurrten Ladung auf Nutzfahrzeugen"; Forschungs- und Technologiezentrum Ladungssicherung Selm gGmbH, Oktober 2014
- [5] Kaps, Hermann; "Ladungssicherung im Straßenverkehr – die Fakten"; www.tis-gdv.de