

Einfluss von Vorspannkraft und Reibung bei der Direktsicherung

Autoren:

Dänekas, Rolf [ö.b.u.v. Sachverständiger für Ladungssicherung und Anschlagtechnik im Landverkehr](#)
Sachverständigenbüro Dänekas

Langen, Andreas [Dipl.-Ing.](#)

SE-LG Projekte, thyssenkrupp Steel Europe; Business Unit Logistics

Panhorst, Björn [Master of Science](#)

Mess- und Versuchsingenieur, Forschungs- und Technologiezentrum Ladungssicherung Selm gGmbH,

Schöbel, Uwe [Dipl.-Ing. \(FH\) Maschinenbau, Fertigungstechnik](#)

Leiter Technik, Dolezych GmbH & Co. KG

Weiss, Marc [Bachelor of Engineering](#)

Mess- und Versuchsingenieur, Forschungs- und Technologiezentrum Ladungssicherung Selm gGmbH,

Inhaltsverzeichnis

Vorspannkraft bei der Direktsicherung	2
Einleitung.....	2
Versuchsbeschreibung	2
Messergebnis: Kräfte in den Zurrmitteln, reibungsfreier Zustand	4
Messergebnis: Kräfte in den Zurrmitteln, mit RHM	4
Messergebnis: Kräfte in den Zurrmitteln vor, während und nach dem Versuch.....	6
Messergebnis: Kräfte in den Zurrmitteln, Gegenüberstellung.....	7
Resümee und Ausblick.....	8

Einfluss von Vorspannkraft und Reibung bei der Direktsicherung

Einfluss von Vorspannkraft und Reibung bei der Direktsicherung

Einleitung

Ladungssicherung muss berechenbar sein, denn Ladungssicherung ist keine Gefühlssache. Verschiedenartige Güter bedürfen nun einmal unterschiedlicher Sicherungen, um ein Verrutschen, Kippen oder Herabfallen der Ladung zu verhindern. Mittlerweile ist es hinlänglich bekannt, dass während des Transportes naturgemäß unvermeidliche Belastungen auf Transportfahrzeug und Ladung einwirken, mit deren Auswirkungen stets zu rechnen ist. Damit man dem notwendigen Schutz des Fahrpersonals, der Verkehrsteilnehmer sowie der Ladung gerecht wird, sind geeignete Maßnahmen zur Ladungssicherung unerlässlich.

Eine weit verbreitete Ladungssicherungsmethode ist die Direktzurrung, auch in den Varianten als Diagonalzurrung oder Schrägzurrung bekannt. Die heute angewandten Formeln zur Berechnung einer Direktzurrung haben ihren Ursprung zu einer Zeit, in der Fahrzeuge noch mit Blattfedern ausgestattet waren und die verwendeten Zurrmittel technologisch noch nicht so weit entwickelt waren wie sie es heute sind. Transportgüter wiesen noch durchaus überschaubare Geometrien und Massen auf. Durch Fortschritt und Entwicklung in der Fahrzeug- und Zurrmitteltechnologie sowie Veränderungen der Ladung, können die Formeln zur Berechnung von Direktzurrungen u. U. an ihre Grenzen stoßen. Oftmals werden heute aufgrund der Gegebenheiten mehr als 4 Zurrmittel an einer Ladung zum Direktzurren eingesetzt. Nach aktuellen Erkenntnissen muss aber davon ausgegangen werden, dass derartig gesicherte Ladungen nicht mehr mit Hilfe der bisher in den Normen und Richtlinien dargestellten Formeln verlässlich berechnet werden kann.

Wenn z. B. mehrere Zurrmittel unter unterschiedlichen Zurrwinkeln, Längen und Dehnungen eingesetzt werden, ist eine gleichmäßige Belastung der Zurrmittel nicht mehr gegeben. In diesem Zusammenhang wird auch von einer statisch unbestimmten Sicherung gesprochen. Derartig eingesetzte Zurrmittel (Zurr- oder Befestigungspunkte) können vorzeitig die Belastungsgrenze erreichen mit der Folge, dass die Ladung somit nicht mehr ausreichend gesichert ist bis hin zum Verlust der Ladung.

So konnte u.a. im praktischen Versuch gezeigt werden, dass die Vorspannkraften in den Zurrmitteln einer Direktsicherung unter bestimmten Voraussetzungen ebenfalls zu ungleichmäßiger Belastungsverteilung mit für die Ladungssicherung o. g. schädlichen Folgen führen können.

Um zukünftig diesen komplexen physikalischen Vorgang in praxistaugliche Formeln überführen zu können, war es notwendig, über die althergebrachte Verfahrensweise unter Berücksichtigung von Sicherheiten und Erfahrungswerte sowie rein statischer Betrachtungen hinauszugehen. Dynamische Einflussgrößen sollten betrachtet und berücksichtigt werden.

Versuchsbeschreibung

Mit Hilfe von Fahrversuchen und modernster Messtechnik sollten die dynamischen Einflussgrößen erfasst werden, die sich durch die Fahrbewegung, das Fahrzeug, die Ladung selbst oder selbst durch die ins Zurrmittel eingeleitete Vorspannkraft ergeben. Es galt nachzuweisen, welche Auswirkungen der Lastfall auf ein Zurrmittel hat.

Einfluss von Vorspannkraft und Reibung bei der Direktsicherung

Das von den Autoren gezogene Resümee beruht auf mehr als 30 ausgewerteten Messfahrten. Diese wurden mit zwei Versuchsobjekten der Masse 1300 kg und 6000 kg unter beschreibbaren Randbedingungen – wie z.B. vorhandener Reibkräfte - durchgeführt. Die Versuchsobjekte (siehe Abbildung 1 und 2) wurden durch Direktzurren mit zwei Zurrmittelpaaren gesichert. Die Ladung wurde so auf dem Fahrzeug positioniert, dass gleiche Zurrwinkel und Zurrmittellängen vorhanden waren. Die Zurrmittel wurden in den entsprechenden Versuchsreihen nahezu gleichmäßig mit Vorspannkraften von 250 daN, 500 daN, und 1000 daN vorgespannt. In einem ersten Schritt wurde untersucht, wie sich die Vorspannkraft im Zurrmittel auf die zu erwartende Sicherungskraft auswirkt.

Darüber hinaus sollte in den Fahrversuchen ebenfalls der Einfluss der Reibung berücksichtigt werden. Hierfür wurde die Ladung auf einen nahezu reibungsfreien Rollwagen positioniert. In weiteren Versuchsreihen wurde die Ladung zum einen ohne Rollwagen und ohne rutschhemmende Unterlagen ($\mu = 0,33$) auf der Ladefläche verladen. Zum anderen wurde die Reibung durch zusätzliche handelsübliche rutschhemmenden Materialien (RhM) mit einem Reibbeiwert von $\mu = 0,6$ erhöht.

Als erste Probeladung diente eine für Fahrversuche konstruierte Ladung aus Stahl auf einen nahezu reibungsfreien Rollwagen. Das rechteckige Objekt hatte eine Masse von $m = 1.300$ kg. Die Schwerpunktlage befand sich im Mittelpunkt des Körpers.

Die Versuchsfahrzeuge – jeweils Sattelaufleger mit Zugmaschine – wurden aus einer Geschwindigkeit von 40 km/h auf 0 km/h durch vollziehen einer Vollbremsung zum Stillstand gebracht. Betrachtet wurde hierbei ausschließlich die Geradeausfahrt.



Abbildung 1 PROBELADUNG UND VERSUCHSAUFBAU | REIBUNGSFREIER ZUSTAND, F&T Selm

Bei der Auswertung der Messergebnisse war festzustellen, dass bei dem Objekt mit einer Masse von 1300 kg, bei einer Reibung μ nahezu Null, keine Einflüsse der Vorspannkraft festgestellt werden konnten. Dieser reibungsfreie Zustand konnte durch einen speziellen Versuchsaufbau, ein sogenannter Rollwagen, realisiert werden.

Einfluss von Vorspannkraft und Reibung bei der Direktsicherung

Als zweite Probeladung diente die gleiche, für Fahrversuche konstruierte Ladung aus Stahl. Das rechteckige Objekt hatte eine Masse von $m = 1.300 \text{ kg}$. Die Schwerpunktlage befand sich im Mittelpunkt des Körpers. Diesmal stand die Ladung nicht auf dem Rollwagen, sondern auf dem Siebdruckboden und RhM entsprechend der Richtlinie VDI 2700 Blatt 14.

Messergebnis: Kräfte in den Zurrmitteln, reibungsfreier Zustand

Zurrurt aus hochfesten Fasern						
Vorspannkraft 10 % LC HD1				Vorspannkraft 50 % LC HD1		
Bremmung	F_{STF} [daN]	F_{max} [daN]	ΔF [daN]	F_{STF} [daN]	F_{max} [daN]	ΔF [daN]
1	208	1.555	1.347	994	1.590	596
2	233	1.558	1.325	944	1.596	652
3	206	1.600	1.394	931	1.545	614
4	199	1.410	1.212	921	1.557	637
5	309	1.455	1.146	898	1.547	650
Mittelwert	231	1.516	1.285	938	1.567	629

Tabelle 1 ERFASTE UND BERECHNETE WERTE VON F_{STF} , F_{MAX} UND ΔF | REIBUNGSFREIER ZUSTAND

Es ist evident, dass die maximal wirkenden Kräfte trotz differierender Vorspannkraft nur minimal voneinander abweichen. Die Differenz der beiden Kraftmaxima beträgt $\Delta F_{max} = 51 \text{ daN}$.

Messergebnis: Kräfte in den Zurrmitteln, mit RHM

Zurrurt aus hochfesten Fasern mit RhM						
Vorspannkraft 10 % LC HD1				Vorspannkraft 50 % LC HD1		
Bremmung	F_{STF} [daN]	F_{max} [daN]	ΔF [daN]	F_{STF} [daN]	F_{max} [daN]	ΔF [daN]
1	280	440	160	1.111	1.250	139
2	342	520	178	1.097	1.250	153
3	361	500	139	1.096	1.245	149
4	362	525	163	1.087	1.240	153
5	386	505	119	1.082	1.230	148
Mittelwert	346	498	152	1.095	1.243	148

Tabelle 2 ERFASTE UND BERECHNETE WERTE VON F_{STF} , F_{MAX} UND ΔF | MIT RhM

Anhand der aufgezeichneten Messdaten ist die maximal wirkende Kraft F_{max} abhängig von der Vorspannkraft F_{STF} . Als zusätzlicher Faktor hat sich während der durchgeführten Messreihen auch die Reibung herausgestellt. Mit Zunahme der Reibung zwischen Fahrzeugboden und Ladung konnten durch die Messungen höhere wirksame Kräfte im Zurrstrang nachgewiesen werden.

Einfluss von Vorspannkraft und Reibung bei der Direktsicherung

Als dritte Probeladung diente eine Stahlladung. Das rechteckige Objekt hatte eine Masse von $m = 6000 \text{ kg}$. Die Schwerpunktlage befand sich im Mittelpunkt des Körpers.



Abbildung 2 SICHERUNG DER LADUNG, MASSE 6000 KG, thyssenkrupp Steel Europe

Die Probeladung wurde auf rutschhemmendem Material abgestellt und mit vier Zurrmitteln mittels Diagonalzurren gesichert. In die einzelnen Zurrstränge wurden Kraftaufnehmer eingebracht, mit denen eine mögliche Auswirkung der Vorspannkraft F_{STF} im Zusammenspiel mit der Trägheitskraft festgestellt werden sollte. Die eingebrachten Vorspannkraften sind in Tabelle 3 aufgeführt. Nach den Versuchen wurden die Vorspannkraften abermals gemessen, um so einen möglichen Trend erkennen zu können.

Einfluss von Vorspannkraft und Reibung bei der Direktsicherung

Messergebnis: Kräfte in den Zurrmitteln vor, während und nach dem Versuch

Versuch	F_{STF}	F_{max}	$F_{Ende\ Vers.}$	Δ_F	F_{Norm}
1	200	580	210	380	510
	250	880	300	630	510
2	290	490	130	200	510
	190	975	350	785	510
3	245	560	135	315	510
	185	930	275	745	510
4	530	780	335	250	510
	570	1210	690	640	510
5	460	1020	355	560	510
	520	1305	625	785	510
6	430	915	265	485	510
	269	1120	605	851	510
7	1175	1580	925	405	510
	1070	2000	1405	930	510
8	940	1620	895	680	510
	1060	1910	1345	850	510
9	1085	1300	800	215	510
	880	1930	1370	1050	510

Tabelle 3 GEMESSENE KRÄFTE IN DEN ZURRMITTELN VOR, WÄHREND UND NACH DEM VERSUCH

Es konnte festgestellt werden, dass die Spannkraften im einzelnen Zurrstrang vor und nach dem Versuch unterschiedlich waren. Das kann mit einem Setzen der Zurrmittel bzw. mit einem geringen Ladungsverschiebung erklärt werden.

Einfluss von Vorspannkraft und Reibung bei der Direktsicherung

Messergebnis: Kräfte in den Zurrmitteln, Gegenüberstellung

Versuch	F_{Norm}	F_{max}	F_{STF}	$F_{\text{max}} - F_{\text{STF}}$
1	1020	1460	450	1010
2	1020	1465	480	985
3	1020	1490	430	1060
4	1020	1990	1100	890
5	1020	2325	980	1345
6	1020	2035	699	1336
7	1020	3580	2245	1335
8	1020	3530	2000	1530
9	1020	3230	1965	1265

Tabelle 4 GEGENÜBERSTELLUNG DER THEORETISCHEN WERTE ZU DEN MESSERGEBNISSEN BEI ZWEI ZURRMITTELN IN EINER WIRKRICHTUNG

Bei dem Versuchsobjekt mit einer höheren Masse konnte schon von Beginn an über die Versuchsreihen mit den unterschiedlichen Vorspannkraften festgestellt werden, dass in den belasteten Zurrmitteln nicht nur die von der Ladung ausgehende wirksame Trägheitskraft, sondern auch zusätzliche Kraftanteile, bis hin zur vollständigen Vorspannkraft gemessen wurden.

Auswertung der Ergebnisse

Die Auswertung der Versuche ergab zwei Ergebnisse.

1. Solange die in Wirkrichtung der Reibungskraft eingeleitete Komponente der Vorspannkraft größer ist als die Reibungskraft, wirkt sich die mit den Spannelementen eingeleitete Vorspannkraft nicht zu 100 % auf die Sicherung aus. Die Vorspannkraft addiert sich nicht oder nicht vollständig.
2. Wird die Reibungskraft zwischen Ladegut und Fahrzeugboden größer als die in gleicher Richtung wirkende Komponente der Vorspannkraft, ist festzustellen, dass eine Addition der Kräfte beginnt. Zur Trägheitskraft addiert sich die zuvor eingeleitete Vorspannkraft bis zu 100 %.

Eine scharfe Abgrenzung, ab wann die Vorspannkraft sich zur Trägheitskraft addiert und in der Folge Einfluss auf die Sicherungskraft nimmt, konnte mit den bisher durchgeführten Versuchen noch nicht eindeutig festgestellt werden.

Einfluss von Vorspannkraft und Reibung bei der Direktsicherung

Resümee und Ausblick

In der Kenntnis, dass bei der Sicherung hoher Ladungsgewichte das Direktzurrverfahren angewandt wird, sollten die Formeln der aktuell anzuwendenden Berechnungsgrundlagen um die auch beim Niederzurren berücksichtigte Vorspannkraft STF ergänzt werden.

Die Berücksichtigung hat in der Form zu erfolgen, dass die mit dem Spannmittel aufgebrauchte Vorspannkraft von der jeweiligen max. zulässigen Zugkraft (LC) des Zurrmittels in Abzug zu bringen ist.

Ist die LC des Zurrmittels größer als die zulässige Belastung des Zurrpunktes bzw. des Befestigungspunktes an der Ladung, ist die Vorspannkraft vom schwächsten Glied in Abzug zu bringen. Der so ermittelte Differenzbetrag stellt die noch zur Verfügung stehende Sicherungskraft, die bei der Berechnung zugrunde gelegt werden muss, dar.

Als weitere Erkenntnis kann festgehalten werden, dass die gelebte Praxis Zurrmittel im Direktzurrverfahren nur „Handfest“ – also mit einer Vorspannkraft von nicht mehr als 10% LC – sich als gute und richtige Praxis etabliert hat und diese auch weiterhin beachtet und gelebt werden sollte.

Die Autoren, welche aus dem Kreise der Forschung, der Industrie, des Sachverständigenwesens und der Sicherungsmittelhersteller kommen, streben weitere Untersuchungen an. Sie sollen zusätzlichen Aufschluss zu dieser Thematik geben.

Mit ihrer Arbeit wollen sie auch dazu beitragen, den Stand der Technik auf dem Gebiet der Berechnung an die Veränderungen in der Transport-, Fahrzeug- und Zurrmitteltechnologie sowie den Veränderungen der Ladung anzupassen.