

## **Veröffentlichung im PackReport 7-8/2010**

### **Das IGF-Vorhaben 15930**

der Forschungsvereinigung GVB e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und –entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert



Titel:

Entwicklung eines Kostenmodells zur wirtschaftlichen Ermittlung von  
Ladungssicherungsmaßnahmen beim Straßentransport

Institut für Distributions- und Handelslogistik (IDH) des  
Vereins zur Förderung innovativer Verfahren in der Logistik (VVL) e. V.

Verfasser: Dipl.-Logist. Benjamin Cebulla (Projektleiter)

Durch den zunehmenden Wettbewerb in allen Ebenen der Wertschöpfungskette, die fortschreitende Globalisierung sowie die EU-Osterweiterung steigt der Güterverkehr auf den Straßen – insbesondere für Deutschland als Haupttransitland in Europa – erheblich an. Die Verlagerung arbeitsintensiver Produktionsverfahren ins Ausland, die Reduzierung der Fertigungstiefen und wachsende Just-in-Time-Anlieferungen führen zu immer höheren Transportanforderungen aufgrund geringerer Bestellmengen, häufigerer Belieferungen und immer hochwertigerer, technisch komplexerer Produkte, die in kürzester Zeit transportsicher über die Straße transportiert werden müssen.

Vor diesem Hintergrund wird seitens der Produzenten bzw. der Versender allen Maßnahmen zur Sicherung der Fertigungsqualität und zum Schutz des Produktes während der Distributionsprozesse eine steigende Bedeutung zugemessen. Ein Ziel unternehmerischer Tätigkeiten ist oftmals in einer permanenten Reduzierung der für die Transportsicherung aufzuwendenden Kosten zu sehen. So steht neben der unmittelbaren Produktverpackung insbesondere die Zusammenstellung einzelner Packstücke zu palettierten Ladeeinheiten und zunehmend insbesondere deren Verladung und Sicherung als Ladung auf geeigneten Transportmitteln oft im Fokus von Kostensenkungsaktivitäten.

Die Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen als letzte Stufe der Transportsicherung ist somit von der verladenen Wirtschaft und den sie bedienenden Transportunternehmen in der Regel als eine Frage der Werterhaltung des zu befördernden Ladegutes und des transportierenden Fahrzeugs anzusehen. Verkannt wird hierbei, dass durch die Ladungssicherung jedoch vorrangig Leben und Gesundheit von Personen und erst in zweiter Linie Ladungen bzw. Sachwerte zu schützen sind. Somit hat u. a. die Sicherung von Ladungen sowie der Zusammenhalt von Ladeeinheiten während des Transports mit einem LKW entscheidende Bedeutung für die Sicherheit im Straßenverkehr und wird durch Unfälle der jüngeren Vergangenheit in ihrer Dringlichkeit eindrucksvoll unterstrichen.

Demzufolge steht die Ladungssicherung im Straßengüterverkehr im Spannungsfeld zwischen der Gesetzeskonformität und einer damit verbundenen Maximierung der Ladungssicherungsmaßnahmen und der Wirtschaftlichkeit im Zusammenhang mit der Minimierung der Kosten durch die Reduzierung der Ladungssicherung auf das Wesentliche. Nicht zuletzt durch die anhaltende Wirtschaftskrise und hieraus resultierenden Kosteneinsparungen auch bei Transportdienstleistern werden zunehmend die

anforderungsgerechte und somit auch gesetzeskonforme Ladungssicherung vernachlässigt und stattdessen Ladungssicherungsmaßnahmen angewendet, die zwar technisch leicht zu realisieren und kostengünstig sind, aber die Sicherung der Ladung in keinster Weise sicherstellen. Dabei muss eine geeignete Ladungssicherung nicht zwingend kostenintensiv sein, wie das Institut für Distributions- und Handelslogistik (IDH) des VVL e. V. in Dortmund im Rahmen des von der Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik (GVB) e. V. geförderten und finanziell durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF) unterstützen Forschungsprojektes 15930 N „Entwicklung eines Kostenmodells zur wirtschaftlichen Ermittlung von Ladungssicherungsmaßnahmen beim Straßentransport“ belegt.

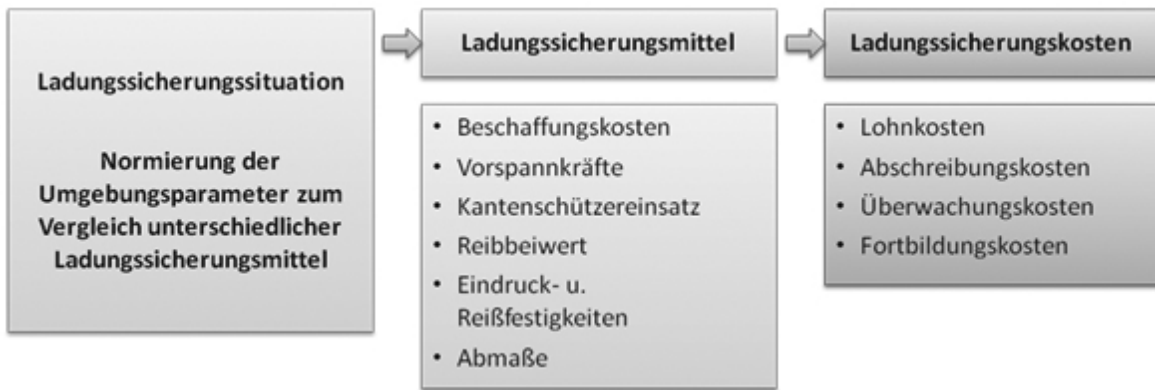
Ausgangssituation hierfür war eine deutschlandweite Unternehmensbefragung von rund 200 im Transportbereich tätigen kmU. Dabei wurden den teilnehmenden Unternehmen im Rahmen von Telefoninterviews u.a. Fragen zum bestehenden Unternehmensfuhrpark, eingesetzten Ladungssicherungsverfahren und –hilfsmitteln und dem Zeitaufwand zur Durchführung der Ladungssicherungsmaßnahmen gestellt. Hieraus wurden Rahmenbedingungen für ein zu entwickelndes Kostenmodell zur wirtschaftlichen Bewertung der Ladungssicherung abgeleitet.

Den Ergebnissen der Umfrage entsprechend wurde als zu untersuchendes Transportmittel der Curtainsider – auch Tautliner genannt – ausgewählt, da nahezu 100 % der befragten kmU Curtainsider entweder ausschließlich oder zumindest regelmäßig zum Transport einsetzen. Der Grund hierfür ist insbesondere die Flexibilität des Curtainsiders bezüglich durchzuführender Ladungssicherungsmaßnahmen, wobei hier zwischen nicht zertifizierten, Code-L- und Code-XL-Curtainsidern unterschieden werden muss. Diese Unterteilung basiert auf der Zertifizierung nach DIN EN 12642. Der wohl gravierendste Unterschied der jeweiligen Typen ist die Möglichkeit, beim Einsatz von Code-L- und Code-XL-Curtainsidern die während des Transportvorgangs auftretenden Kräfte durch die Ladung zum Teil durch Stirn- und Seitenwände des Aufbaus zu kompensieren. Demzufolge kann der Aufwand aufgrund durchzuführender Ladungssicherungsmaßnahmen i. d. R. erheblich reduziert werden, wodurch sich der Mehrpreis bspw. eines Code-XL-Curtainsiders gegenüber einem nicht

zertifizierten über die Lebensdauer und die damit verbundene Anzahl von Transporten amortisiert.

Als innerhalb des Kostenmodells heranzuziehende Ladungssicherungsmaßnahmen wurden das Diagonalzurren, die Kopfschlinge, das Niederzurren, das formschlüssige Stauen, das Festlegen der Güter und mögliche Kombinationen der genannten Ladungssicherungsmaßnahmen identifiziert. Darüber hinaus wurden die Ladungssicherungshilfsmittel Zurrgurte, Kantenschützer, Antirutschmatten, Sperrbalken und -stangen sowie Spannhölzer und -keile zur Berechnung der wirtschaftlich optimalen Ladungssicherung herangezogen. An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass innerhalb des Forschungsprojektes nur die aus der Umfrage abzuleitenden, am häufigsten eingesetzten Ladungssicherungsmaßnahmen und -hilfsmittel betrachtet wurden. Eine Einbeziehung weiterer Maßnahmen und Hilfsmittel ist ohne großen Aufwand möglich.

Um die Wirtschaftlichkeit der Ladungssicherung zu bewerten, mussten zunächst die wesentlichen Kostentreiber, welche die Gesamtkosten der Ladungssicherung beeinflussen, identifiziert werden. Diese sind zunächst in Kosten für Ladungssicherungsmittel und allgemeine Ladungssicherungskosten zu differenzieren. Zu den Ladungssicherungsmittelkosten zählen bspw. Beschaffungskosten, aber auch Eigenschaften der jeweiligen Ladungssicherungsmittel, welche die Gesamtkosten beeinflussen, wie z. B. die Vorspannkraft eines Zurrmittels, der Reibbeiwert einer Antirutschmatte (ARM) oder deren Eindruck- und Reißfestigkeit. Die allgemeinen Ladungssicherungskosten hingegen lassen sich u. a. in Lohnkosten – welche über die für die Ladungssicherung aufzubringenden Prozesszeiten in die Gesamtkosten einfließen – Abschreibungskosten, Überwachungskosten – insbesondere bei der Verwendung von Zurrmitteln – sowie Fortbildungskosten unterteilen. In Abbildung 1 sind die zuvor genannten Kostentreiber der Ladungssicherung zusammenfassend dargestellt.



**Abbildung 1: Auswahl von Kostentreibern der Ladungssicherung im Straßengüterverkehr**

Anhand der zuvor vorgestellten Kostenarten, die sich zum Teil wechselseitig beeinflussen, kann schließlich die Bewertung einer vorzunehmenden Ladungssicherung im Vorfeld bzw. einer bereits vorgenommenen Ladungssicherung im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit erfolgen. Je nach Anwendungsfall einer vorgenommenen Ladungssicherung kann die Summe aller entstehenden Kosten im Vorfeld zwischen verschiedenen Szenarien verglichen werden. Hierbei sind die Anforderungen an die Ladungssicherung stark von dem zu transportierenden Gut abhängig, und demzufolge können die hierdurch entstehenden Kosten über die zu wählenden Maßnahmen nicht gänzlich frei beeinflusst werden. Dennoch existiert i. d. R. die Möglichkeit, bei einer Ladungssicherungsmaßnahme zwischen mindestens 2 unterschiedlichen Varianten bzw. verschiedenen Kombinationen zu wählen und diese miteinander zu vergleichen. So können die Kosten, bspw. beim Niederzurren, über die Wahl des Zurrmittels beeinflusst werden, denn sofern hierdurch höhere Vorspannkräfte realisiert werden können, desto weniger Zurrmittel müssen eingesetzt werden. Die Kostenersparnis liegt bei diesem Beispiel also in einer Einsparung von Materialkosten aufgrund der weniger verwendeten Zurrmittel und darüber hinaus in einer Prozessverkürzung durch den Wegfall weiterführender Ladungssicherungsmaßnahmen durch weitere Zurrmittel.

Die kostengünstigste Variante der Ladungssicherung ist i. d. R. der Formschluss. Hierbei kann entweder – je nach Typ des verwendeten Aufbaus – die Möglichkeit der Aufnahme der während des Transportvorgangs auftretenden Kräfte über die Außenwände des Aufbaus oder durch die Heranziehung von Ladungssicherungshilfsmitteln (wie z. B. Keilen,

Sperrstangen) realisiert werden. Allerdings muss der Aufbau hierzu über geeignete Einrichtungen (Lochschiene, nagelfähiger Boden etc.) zur Anbringung der Hilfsmittel verfügen. Ist dies nicht der Fall oder existieren andere Gründe, die keinen Formschluss zulassen, so sind kraftschlüssige Ladungssicherungsmaßnahmen – möglicherweise auch in Ergänzung zum Formschluss – zu wählen. Hier ist, im Hinblick auf eine möglichst hohe Wirtschaftlichkeit der Ladungssicherung, die Verwendung von Antirutschmatten (ARM) zu prüfen. Durch die Heranziehung von ARM können aufgrund der Zusammenhänge zwischen Sicherungs- und Normalkraft zusätzlich einzusetzende Zurrmittel eingespart und somit Kosten minimiert werden. Dabei ist der wohl wichtigste Indikator für die Leistungsfähigkeit der ARM der Reibbeiwert  $\mu$ , welcher nicht konstant, sondern von unterschiedlichen Faktoren (u. a. Materialpaarungen) abhängig ist. Der Reibbeiwert wird nach der VDI-Richtlinie 2700 Blatt 14 zertifiziert und ist somit zwischen verschiedenen ARM-Typen objektiv vergleichbar. [1]

Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass je nach Kippgefährdung der Ladegüter Zurrmittel einzusetzen sind, obwohl die erforderlichen Sicherungs- bzw. Reibungskräfte bereits durch die Verwendung einer ARM erreicht wurden. Da neben dem Einkaufspreis die Fläche der verwendeten ARM der wesentliche Kostentreiber ist, muss zwischen dem Einsatz streifenförmiger, ganzflächiger oder nur punktuell aufgebrachtener ARM abgewogen werden. Ebenso müssen unterschiedliche Eigenschaften von ARM, wie z. B. die Biegefestigkeit, die Wiederverwendbarkeit etc. mit in die Betrachtungen einbezogen werden. [2]

Allgemein können die Materialkosten für Ladungssicherungsmittel und –hilfsmittel, welche mehrfach zu verwenden sind, nur über die periodischen Abschreibungen mit in die Gesamtkosten der Ladungssicherung eingehen. So werden die Materialkosten bspw. eines Zurrmittels für jede Verwendung innerhalb eines definierten Zeitraums mit den abschreibungsfähigen Kosten je Verwendung beziffert. Hierbei sind allerdings Erfahrungswerte bezüglich der Lebensdauer eines Zurrmittels – eventuell über Herstellerangaben – und deren Einsatzhäufigkeit – über Einbeziehung vergangenheitsbasierter Daten und darauf basierender Ableitung zukünftiger Anforderungen – notwendig.

Zur mittelfristigen Optimierung der Ladungssicherungskosten muss zunächst eine umfangreiche Datenbasis vorgehalten werden. Hierin sind Beschaffungspreise, Prozesszeiten

aber auch weiterführende Kosten, wie Überwachungs- oder Fortbildungskosten zu hinterlegen. Im Rahmen dieser Datenhaltung können mit Hilfe des vorgestellten Kostenmodells ermittelte, optimale Kombinationen von Ladungssicherungsmaßnahmen unterschiedlichen Ladungssicherungssituationen zugeordnet werden, so dass für jeden häufiger stattfindenden Anwendungsfall Best-practice Lösungen entstehen.

Die erwähnten Einsparpotenziale werden nachfolgend anhand eines Beispiels aus der Praxis mit dem vom IDH auf Basis des vorgestellten Kostenmodells entwickelten Softwaretools aufgezeigt. Hierzu werden zunächst die fahrzeugspezifischen Daten definiert:

- Nutzlast: 10.000 kg
- Zurrpunktfestigkeit: 2.500 daN
- Reibbeiwert: 0,3  $\mu$
- Aufbau zertifiziert nach DIN EN 12642 – L

Die zu betrachtende palettierte Ladeinheit wird wie folgt definiert:

- Gewicht: 4500 kg
- Max. Höhe: 1150 mm
- Anzahl Pal.: 3 Stk.

Die Berechnung der dem Straßentransport zu Grunde liegenden Beschleunigungskräfte erfolgt über die in der Literatur vorzufindenden Beschleunigungskräfte – nach vorne 0,8 g; nach hinten 0,5 g; zur Seite 0,5 g; vertikal 1 g. Die hierdurch wirkenden Kräfte auf das Ladegut gilt es im Weiteren durch eine anforderungsgerechte Ladungssicherung zu kompensieren und diese anschließend im Hinblick auf deren Wirtschaftlichkeit auszuwählen.

Im ersten Szenario wird die Ladung mit Hilfe von insgesamt 9 Zurrgurten durch Niederzurren gesichert. Hierdurch ergibt sich die in Abbildung 2 dargestellte Ladungssicherungssituation.

Berechnung der Ladungssicherung			
	nach vorn	nach hinten	zur Seite
Beschleunigungskräfte [daN]	3531,6	2207,25	2207,25
Reibkraft [daN]	1324,35	1324,35	1324,35
Sicherungskraft [daN]	2207,25	882,9	882,9
Erreichte Reibkraft durch Zurrmittel [daN]	2291	2291	2291
Erreichte Sicherungskraft der Zurrmittel [daN]			
Sicherungskraft durch Formschluss [daN]	0	0	0
Sicherungskraft durch Kopfschlinge [daN]	0	0	
Ohne Formschluss nach allen Seiten, sollten sicherheitshalber min. 2 Zurrmittel eingesetzt werden.			
Summe aller Kräfte [daN]	-83,75	-1408,1	-1408,1

Abbildung 2: Berechnung der Ladungssicherungssituation des Szenarios A

Die diesbezüglichen Kosten ergeben sich aufgrund der zuvor geschilderten Kostentreiber, einem zu Grunde gelegten Beschaffungspreis der Zurrgurte von 20 € und der Heranziehung der hierfür relevanten Prozesszeiten wie in Abbildung 3 dargestellt.

Gesamtkosten der Ladungssicherung	
Prozesskosten	20,77 €
Aufwendungen für Zurrmittel	2,25 €
Aufwendungen für Hilfsmittel	0 €
Summe	23,02 €

Abbildung 3: Gesamtkosten der Ladungssicherung des Szenarios A

Aufgrund der bereits erwähnten Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit der Ladungssicherung erscheint die vorangegangene Ladungssicherungssituation als nicht optimal.

Eine alternative Kombination von Ladungssicherungsmaßnahmen wird daher im Folgenden beschrieben. Zunächst wird auf das Niederzurren gänzlich verzichtet und stattdessen eine ARM in Streifen zwischen Paletten und Ladefläche aufgelegt. Dieser ARM wird ein Reibbeiwert von 0,6  $\mu$  zugeordnet, welcher einer durchschnittlichen ARM auf dem Markt



entspricht. Diese Maßnahmen führen zu der in Abbildung 4 aufgezeigten Ladungssicherungssituation.

Berechnung der Ladungssicherung			
	nach vorn	nach hinten	zur Seite
Beschleunigungskräfte [daN]	3531,6	2207,25	2207,25
Reibkraft [daN]	2648,7	2648,7	2648,7
Sicherungskraft [daN]	882,9	-441,45	-441,45
Erreichte Reibkraft durch Zurrmittel [daN]	0	0	0
Erreichte Sicherungskraft der Zurrmittel [daN]			
Sicherungskraft durch Formschluss [daN]	4000	0	0
Sicherungskraft durch Kopfschlinge [daN]	0	0	0
<b>Ohne Formschluss nach allen Seiten, sollten sicherheitshalber min. 2 Zurrmittel eingesetzt werden.</b>			
Summe aller Kräfte [daN]	-3117,1	-441,45	-441,45

Abbildung 4: Berechnung der Ladungssicherungssituation des Szenarios B

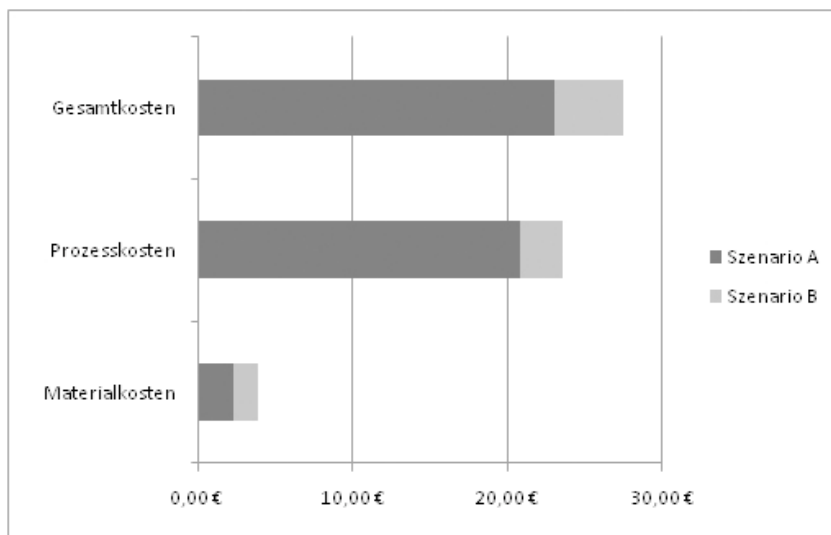
Demnach gilt die Ladungssicherung, die durch Formschluss mit dem Aufbau in Fahrtrichtung und der Verwendung einer ARM besteht, als ausreichend. Allerdings müssen – zur Minimierung der Kippgefahr – 3 Zurrgurte, also je ein Zurrgurt pro Ladeinheit, eingesetzt werden. Somit werden als Ladungssicherungsmittel insgesamt 3 Zurrgurte und 6 Streifen einer ARM, welche jeweils unter den drei Kufen einer Palette aufgelegt werden, herangezogen.

Der Beschaffungspreis der Zurrgurte wird analog zu Szenario A mit 20 €/Stück beziffert. Die ARM wird zunächst für 15 €/m<sup>2</sup> beschafft und streifenförmig unter die jeweils drei Kufen der Paletten gelegt, somit ergibt sich eine Gesamtfläche von ca. 1,5 m<sup>2</sup>. Nachdem die Prozesszeiten um die Aspekte des Zuschneidens und Auflegens der ARM ergänzt wurden, ergeben sich insgesamt die in der Abbildung 5 dargestellten Kosten.

Gesamtkosten der Ladungssicherung	
Prozesskosten	2,76 €
Aufwendungen für Zurrmittel	0,75 €
Aufwendungen für Hilfsmittel	0,9 €
<b>Summe</b>	<b>4,41 €</b>

**Abbildung 5: Gesamtkosten der Ladungssicherung des Szenarios B**

Anhand der zuvor vorgenommenen Variation der Ladungssicherungsmaßnahmen wird deutlich, in welchem Maße sich die Gesamtkosten für die Ladungssicherung durch die Kombination wirtschaftlicher Ladungssicherungsmaßnahmen minimieren lassen. Der große Unterschied der Kosten innerhalb der Szenarien A und B resultiert im Wesentlichen aus den höheren Kosten bezüglich der Prozesszeiten, welche durch das Festzurren der Zurrgurte entstehen. Eine abschließende Gegenüberstellung der Kosten beider Szenarien ist in Abbildung 6 visualisiert.



**Abbildung 6: Gegenüberstellung der Kosten der Szenarien A und B**

Die hier angegebenen Werte können in der Praxis durchaus variieren, dennoch zeigt sich, dass die Ladungssicherung erhebliche Potenziale zur Kostensenkung bietet.

- [1] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): *VDI 2700 Blatt 14 – Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen – Ermittlung von Gleit-Reibbeiwerten*; Düsseldorf; VDI-Verlag; 2009
  
- [2] Cebulla, B.: *„Entwicklung eines Kostenmodells zur wirtschaftlichen Ermittlung von Ladungssicherungsmaßnahmen beim Straßentransport“*; Abschlussprojekt des AiF-Forschungsprojektes 15930 N 1; Dortmund; 2010