"Sicherung von Kurzholz auf Straßenfahrzeugen"

Versuche

des

Gesamtverbandes der deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) Berufsgenossenschaft Fahrzeughaltungen (BG F)

2005

Stand 01.12.2005

Vorwort

Seit Mitte der 90er Jahre haben die Verkehrspolizeien der Länder dem Thema Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen auf Anregung der Transportversicherer und Der BG für Fahrzeughaltungen mehr Beachtung geschenkt und die Überprüfung der Ladungssicherung intensiver in ihre Schwerlastkontrollen einbezogen. Durch den zunehmenden Kontrolldruck konnten nach und nach alle am Straßentransport Beteiligten für die Risiken, die von mangelhaft gesicherter Ladung ausgehen können, besser sensibilisiert werden.

Als Stand der Technik wird die VDI 2700 i. d. F. von 1990 als Grundlage für Sicherungsmaßnahmen angesehen. Für die Sicherung von Kurzholz macht diese Richtlinie keine konkreten Angaben.

"Vorkommnisse" haben den Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) und die Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltungen (BGF) veranlasst, ein Forschungsprojekt zur Lösung von Fragen im Kurzholztransport zu beginnen. Ziel der Versuche war es, den Straßenverkehr sicherer zu machen und den Verkehrsdienstleistern der Holzindustrie eine Grundlage für die Sicherung ihrer Transporte zu geben. Damit sollte dann auch das Problem der Polizeikontrollen gelöst werden.

Zu diesem Zweck wurde von den Kooperationspartnern BGF und GDV, vertreten durch die Herren Michael Garz und Uwe-Peter Schieder, eine Arbeitsgruppe gebildet (AG Holz). Die AG bestand aus den Herren:

Prof. U. Podzuweit (Fachhochschule München), W. Strauch (Freier Sachverständiger), R.Dänekas (Freier Sachverständiger), U. Manter (TÜV Nord), sowie vom

M. Orthen, (KLSK Königsberger Ladungssicherungskreis),
Artur Schöpgens, (KLSK Königsberger Ladungssicherungskreis),
Martin Lang (KLSK Königsberger Ladungssicherungskreis),
Wolfgang Jaspers (KLSK Königsberger Ladungssicherungskreis).

Das Projekt wurde in technischer Hinsicht oder mit Fachleuten unterstützt von

der Bundesvereinigung des Holztransportes,

vom KLSK und der

Firma Dolezych.

Allen Beteiligten gilt unserer besonderer Dank für ihr Engagement, das zur erfolgreichen Durchführung der Versuche beigetragen hat.

Für die Ausarbeitung des Versuchsberichtes, die Durchführung von Versuchen und für die fachliche Unterstützung bedanken wir uns bei Herrn Prof. U. Podzuweit.

Aus den Versuchen wurde eine Empfehlung erarbeitet. Wir hoffen, dass dieses Forschungsprojekt zu einer größeren Sicherheit im Kurzholztransport führt.

Auch konnten einige Grundsatzfragen der Sicherungstechnik bearbeitet werden. Gerade Grundsatzfragen der Ladungssicherung sind bisher nur unzureichend geklärt. Damit stellt sich bei neuen Fragen immer wieder das Problem, zunächst einmal warten zu müssen, bis sich Unfälle ereignet haben. Sicherheitsmaßnahmen sollten aber im Vorhinein abschätzbar sein. Dazu hat der Bericht einiges beigetragen.

Zu hoffen ist auch, dass der Bericht technische Innovationen anstößt. Es hat sich des öfteren gezeigt, dass die Klärung von theoretischen Fragen zu neuen technischen Lösungen geführt hat.

Berlin, den 01. Dezember 2005

U. Schieder M.Garz (GDV) (BGF)

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Zum Problem Kurzholzsicherung	3
2.1	Einleitung	3
2.2	Unfalltypen	4
2.3	Risiko von quer verladenem Kurzholz	7
2.4	Theorie	10
3.	Recherchen	12
3.1	Einleitung	12
3.2	Englische Versuche (Research Report)	12
3.2.1	Einleitung	12
3.2.2	Berechnungen Research Report 077	12
3.2.3	Zu den Versuchen	13
3.2.4	Sicherheitsregeln englischer Sprachraum	15
3.2.5	Vergleich der Versuche	16
3.3	Unfälle und Zwischenfälle	16
4.	GDV-Versuche	17
4.1	Einführung	17
4.2	Messeinrichtungen und Sensoren	20
4.2.1	Versuchsreihe 1	20
4.2.2	Versuchsreihe 2	20
4.3	Messstellenplan	20
4.3.1	Versuchsreihe 1	20
4.3.2	Versuchsreihe 2	22
4.4	Versuchsfahrzeuge	22
4.5	Versuchsstrecken	23
4.6	Zu den Versuchen	25
5.	Kreisfahrversuche	26
5.1	Einleitung	26
5.2	Versuchsdurchführung	26
5.3	Ergebnisse Fahrversuch	26
5.4	Auswertung der Messschriebe Versuch 6	27
5.4.1	Querbeschleunigung	27
5.5	Auswertung Messschriebe Versuch 10	29
5.5.1	Einleitung	29
5.5.2	Geschwindigkeitsverlauf	29
5.5.3	Ankippverhalten von Sattelzügen	32

6.	Bremsversuche	34
6.1	Einleitung	34
6.1.1	Kavernenbildung	34
6.1.2	Linienauflage - Sattelauflage	35
6.2	Versuche zur Kavernenbildung	38
6.2.1	Einleitung	38
6.2.2	Versuchsdurchführung	38
6.2.3	Ergebnisse	38
6.3	Bremsversuch mit querverladenen Stämmen	41
6.3.1	Einleitung	41
6.3.2	Versuchsdurchführung	41
6.3.3	Ergebnisse	41
6.4	Niederzurrwirkung	43
6.4.1	Einleitung	43
6.4.2	Versuchsdurchführung	43
	<u> </u>	
7.	Ladungsbewegungen	50
7.1	Einleitung	50
7.1	Versuchsdurchführung	50
7.2	Ergebnisse	51
7.3.1	Messschriebe	51
7.3.1	Begriffe	52
7.3.2	Bewegungsauslösung	54
7.3.4	Ergebnisse	55
7.3.4	Weg-Zeit-Verlauf der Ladungsbewegung	58
7.3.5 7.3.6	Geschwindigkeitsverlauf	61
7.3.0	Beschleunigung von A nach B	62
7.3.7	Verzögerung von B nach C	65
1.3.6	verzogerung von B nach C	03
8.	Ermittlung der Reibbeiwerte μ	67
8.1	Ausgangssituation und Zielstellungen der Untersuchung	67
8.2	Ermittlung der Reibbeiwerte	68
8.2.1	Zu messende Größen	68
8.2.2	Messeinrichtung	68
8.2.3	Auswahl und Vorbereitung der Prüfstücke	69
8.2.4	Untersuchte Reibpaarungen	69
8.2.5	Messdurchführung	70
8.3	Auswertung der Messungen	71

9.	Rückschlüsse aus den Versuchsergebnissen	72
9.1	Einleitung	
9.2	Versuchsergebnisse	
9.2.1		
9.2.2	2 Stautechnik	
9.2.3	Sicherung über Reibung	
9.2.4	4 Sicherung über Niederzurrung	
9.3	Fragen und Versuchserkenntnisse	
10.	Literatur	86
Anlag	ge 1 Ermittlung der Reibungskraft bei Längsverschub	87
Anlag	ge 2 Haftreibungszahl Gurt zu Stamm	91
Anlag	ge 3 Beispiel Heckabladung	93
Anlag	ge 4 Empfehlungen für Sicherungsmaßnahmen	94

1. Einleitung

Zurecht wird in den Vorschriften für den Straßenverkehr verlangt, dass auch ein sicherer Transport der Ladung möglich sein muss (§§ 22 und 23 StVO). Vermieden werden soll nach § 22 StVO u.a. das "Herabfallen" einer Ladung von einem Fahrzeug.

"Herabfallen" von Ladungen kann bedeuten:

- 1. Das Fahrzeug kippt mit der Ladung um,
- 2. Ladung rutscht vom Fahrzeug und liegt als großflächiges Hindernis auf der Fahrbahn und
- 3. die Ladung ragt seitlich aus dem Fahrzeug weit heraus.

Eine Ladung von Holzstämmen auf der Fahrbahn wird nicht nur ein Hindernis sein, sondern u. U. ein großflächiges Hindernis und stellt deshalb eine deutlich höhere Gefährdung dar, als eine einteilige Ladung. Als Beispiel, Abb. 1.1, soll der Unfall am 28.12.2003 auf der A 8 bei Weyarn (Bayern) dienen.



Abb. 1.1

In den Fällen eines Ladungsverlustes können die Folgen mit einem bordeigenem Ladekran leicht beseitigt werden. Und da Unfälle und Zwischenfälle mit schweren LKWs in Deutschland nicht gemeldet und gespeichert werden, kann der Eindruck aufkommen, dass nicht viel passiert. In Strafverfahren wird daher oft behauptet, es gebe fast keine Ladungssicherungsunfälle, speziell mit Kurzholz. Kurzholz würde durch die Reibung gehalten werden, darüber hinausgehende Sicherungsmaßnahmen seinen deshalb unnötig.

Recherchen dagegen haben gezeigt, dass es gerade beim Kurzholztransport erhebliche Kenntnislücken in Praxis und Theorie der Sicherung gibt. So sind kaum Gleitreibungszahlen in Veröffentlichungen zu finden. Außerdem ist die Reibung bei geschichteter Ladung und Sattellagerung bisher nicht untersucht worden. Weitere offene Fragen sind in Kap. 4 zusammengestellt. Es ist nicht vertretbar, sich nur auf die Haftreibungssicherung zu verlassen.

Betroffen von mangelhafter Ladungssicherung sind nicht nur der Fahrer und "andere" Verkehrsteilnehmer sondern auch die Kraftfahrzeug-, Transport- Unfall- und Lebensversicherer. Richtige und vollständige Sicherung der Ladung ist eine Obliegenheit. Unsichere Ladung in den Verkehr zu bringen, gefährdet Dritte, den Fahrer und Sachwerte. Aus Sicht der versicherten Gemeinschaft ist dies unter keinen Umständen akzeptabel.

Ein weiterer Punkt sind Sachverständigengutachten zu Ladungssicherungsmaßnahmen. Häufig war in Gutachten festzustellen, dass elementare Grundlagen der technische Mechanik nicht berücksichtigt wurden.

In der Ausarbeitung werden auch Versuchsergebnisse theoretisch ausgewertet. Ladungssicherung heißt eben nicht nur die Praxis beherrschen, sondern auch die theoretischen Hintergründe kennen.

Von Seiten des "Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft" e. V. (GDV) und der BG für Fahrzeughaltungen (BGF) wurden deshalb im Jahre 2003 eine Untersuchung zur Effizienz von Sicherungsmaßnahmen für den Kurzholztransport begonnen. In einer gegründeten Arbeitsgruppe wurden Versuche konzipiert und ausgearbeitet. Die Versuche wurden am 16. und 17. März 2004 und am 6. und 7. Juli 2004 mit Kurzholz auf einer Versuchsstrecke in Papenburg durchgeführt. Es wurden Kurvenfahrversuche und Bremsversuche durchgeführt. In einer 3. Versuchsreihe wurden die Reibungszahlen von Kurzholzstämmen (auf Kurzholzstämmen) ermittelt.

Während der Versuchsvorbereitungen wurde über eine Internetabfrage bekannt, dass gerade in England Ladungssicherungsversuche mit Kurzholz durchgeführt worden waren (z. B. google.researchreport077.de). Eine Prüfung des Berichts ergab sehr schnell, dass diese Versuche eine andere Zielrichtung hatten und eine Vielzahl von eigenen Fragen zur Kurzholzsicherung offen ließen. Wegen der Bedeutung dieses Berichts wird in Kap.3 (Seite 12 ff) darauf gesondert eingegangen.

Hingewiesen sei darauf, dass es sich bei dem GDV /BGF-Projekt um Versuche und nicht um eine Untersuchung handelt. Versuche sind ergebnisoffen. Im Falle von Untersuchungen ist das Ergebnis bekannt. Bei einer Untersuchung wird geforscht, welchen Einfluss einzelne Parameter haben. Im GDV-Forschungsvorhaben wird an zahlreichen Stellen deutlich, dass Neuland betreten wurde.

Die GDV / BGF-Versuche sollten dazu beitragen, Fragen zu klären. In einigen Abschnitten werden zu bestimmten Themen Interpretationen und Rückschlüsse gezogen. Diese Feststellungen sind zunächst nur als eine Einzelmeinung anzusehen, da teilweise erheblich umfangreichere Versuche gemacht werden müssten, um einzelne Erkenntnisse auf eine sichere Datenbasis zu stellen. Trotzdem sind die durchgeführten Versuche wichtig, weil die Ergebnisse in eine Richtung weisen und damit die Argumentationsbasis deutlich erweitern. So ist z. B. das Kippen von Sattelkraftfahrzeugen oder ein Ladungsverlust bei Kurvenfahrt ein komplizierter Vorgang. Es kann durchaus sein, dass bei weiteren Versuchen oder Untersuchungen mit LKW-Zügen verschiedenster Hersteller (mit anderen Federn oder anderen Achsanlenkungen) sich zusätzliche, aber nicht wesentlich andere Erkenntnisse ergeben.

2. Zum Problem Kurzholzsicherung

2.1 Einleitung

Im Betrieb von Nutzfahrzeugen können verschiedenste Kräfte auf das Fahrzeug, bzw. die Ladung wirken. Wird, wie Abb. 2.1 zeigt, ein Koordinatenkreuz (fahrzeugfest, horizontorientiert) festgelegt, dann sollen im Folgenden nur die Kräfte in x- (Längskräfte) und y-Richtung (Seitenkräfte) betrachtet werden. Berücksichtigt werden muss, dass stets auch immer die Gewichtskraft (entgegen z-Richtung) wirkt. Die Versuche erfassen zusätzliche Kräfte in z-Richtung nicht.

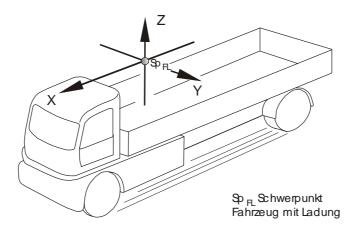
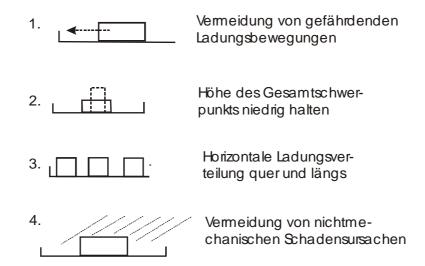


Abb. 2.1

Kräfte können Ladungsbewegungen in Bezug zum Fahrzeug verursachen oder Auswirkungen auf das beladene Fahrzeug haben. Von den möglichen Ladungsbewegungen, wie Gleiten, Rollen, Kippen oder Mischformen soll in den Versuchen nur die Gleitbewegungen und das Rollen in Bezug zum Fahrzeug betrachtet werden.

Für einen sicheren Ladungstransport müssen fahrzeugseitige und ladungsseitige Sicherungsmaßnahmen [1] vorgenommen werden. In Übersicht 1 sind die ladungsseitigen Einflussgrößen zusammengefasst.

Übersicht 1



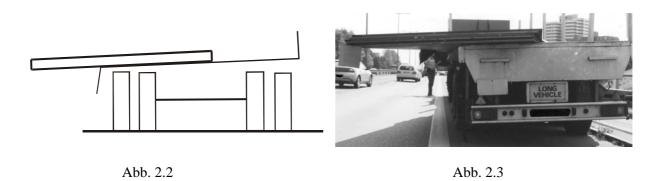
Die größte Gefährdung stellen Ladungsbewegungen dar, wie Unfallauswertungen gezeigt haben. Daneben muß die Schwerpunktshöhe der Ladung niedrig gehalten werden und die Ladungsverteilung in Längs- und Querrichtung berücksichtigt werden.

2.2 Unfalltypen

Unfallauswertungen haben gezeigt, dass es aus Kräften (in x- und y-Richtung) im Ladungstransport zu Unfällen aus Ladungsbewegungen zum Fahrzeug kommen kann. Diese Ereignisse können typologisiert werden, wie im folgenden dargestellt wird. Dabei sollen im wesentlichen Fälle aufgelistet werden, die auch beim Kurzholztransport auftreten können. Auch in x-Richtung kann es zum Herabfallen von längs verladenen Kurzholzladungen kommen, wenn aus einer Kaverne ein lose liegender Stamm nach vorn oder hinten nicht durch eine Stirnwand oder einen Stapel gehindert wird. Eine weitere Unfallursache kann das Verrollen der Ladung und ggf. das Überrollen des Führerhauses sein.

1. Ladung verrutscht, bleibt aber auf der Ladefläche

Ein unterschätztes Phänomen ist das Herausrutschen einer Ladung ohne vom Fahrzeug zu fallen. Nachfolgender Verkehr kann in die herausstehende Ladung fahren, Abb. 2.2 und 2.3.



2. Geschichtete Ladung verrutscht und fällt teilweise vom Fahrzeug

Eine Ladung von querverladenem Holz auf einem Sattelkraftfahrzeug kann im Mittelteil oder im Heckteil jeweils oben teilweise herausrutschen. Sie kann aber auch komplett von der Ladefläche gleiten, Abb. 2.4 und 2.5. Besonders kritisch sind stets die oben liegenden Stämme (oder Ladungen, z. B. Platten).

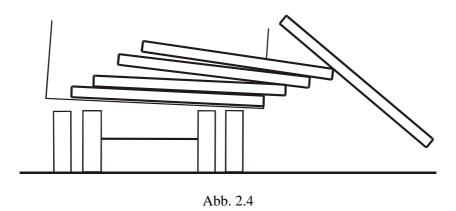




Abb. 2.5 (Research Report 077)

Stämme werden zu jeder Jahreszeit transportiert. Damit ergeben sich bei verschneiten und vereisten Stämmen zusätzliche Gefährdungen aus niedrigen Haft- und Gleitreibungswerten.

3. Ladung verrutscht und fällt vollständig vom Fahrzeug

Nachfolgender Verkehr fährt in die auf der Fahrbahn liegende Ladung, Abb. 2.6 und 2.7. Bei Stämmen und besonders bei Kurzholz wird sich in der Regel ein große Streufläche auf der Fahrbahn ergeben!

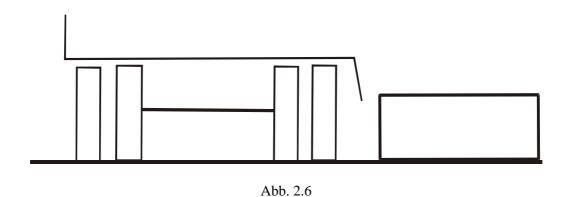




Abb. 2.7 (A8, Weyarn, 28.12.2003)

4. Verrutschende Ladung kippt Fahrzeug

Ladung verrutscht, bleibt aber auf dem Fahrzeug. Das Fahrzeug kippt, Abb. 2.8 und 2.9. Dieser Verrutschvorgang und die dann einseitig liegende Ladung kann einen Umsturzunfall des Fahrzeugs auslösen, der durch die Schwerpunktsverlagerung ausgelöst wird.

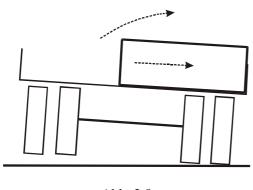






Abb. 2.9

5. Kurvenfliehkraft zu hoch

Das Fahrzeug stürzt um, weil der Gesamtschwerpunkt und/oder die Kurvengeschwindigkeit für einen bestimmten Kurvenradius zu hoch war. Die Ladung wird u. U. von der Sicherung gehalten, Abb. 2.10 und 2.11.





Abb. 2.10 Abb. 2.11

Während in Abb. 2.10 der gesamte Zug umgestürzt ist, steht die Sattelzugmaschine in Abb. 2.11 noch aufrecht!

6. Sonstige Unfalltypen

Neben diesen Szenarien gibt es eine Reihe weiterer Möglichkeiten als Umsturzursache aus der Ladung oder der Beladung des Fahrzeugs heraus, so z. B. durch eine zu ungünstige Ladungslängsverteilung.

2.3 Risiko von quer verladenem Kurzholz

Im Kurzholztransport ergeben sich für Quer- und Längsstauung ein Reihe von Besonderheiten und Ergänzungen. Die Ladung wird sich nicht wie ein Block verhalten. Im Einzelnen sind folgende Unterschiede erkennbar;

1. Stauung

Die Stämme werden chaotisch, aber in Stammlängsrichtung gestaut.

- 1.1 Stirnflächen sind nicht bündig.
- 1.2 Es können sich Kavernen (Brücken- oder Tunnel) bilden, Abb.2.12.

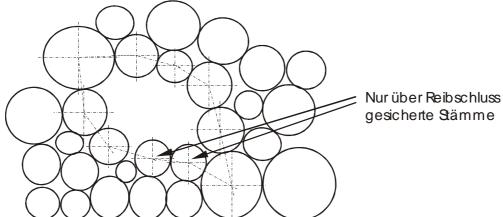
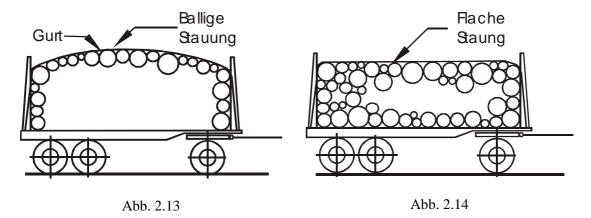


Abb. 2.12

Kavernenbildung zeigt auf, dass der Kraftfluss aus der Niederzurrkraft und dem Gewicht beidseitig um einen Hohlraum "herumfließt" und damit die Niederzurrwirkung unsicher wird.

1.3 Die Ladung liegt ballig (bauchig) oder flach, Abb. 2.13 und 2.14.



(Mit einer flachen Stauung ist keine ausreichend sichere Niederzurrung möglich.)

2. Reibungszahlen

Oft sind die Reibungszahlen unsicher. Das gilt für:

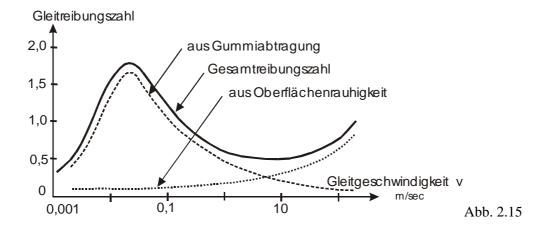
- 2.1 Stamm/Stamm
- 2.2 Stamm/Ladefläche
- 2.3 Stamm/Gurt
- 2.4 Stamm/Runge

3. Nur Haftreibungszahl

Oft sind nur Haftreibungszahlen bekannt.

4. Reibung

U. U. liegt keine Coulombsche sondern eine visko-elastische Reibung vor. Stämme können vereist, geschält, nass oder trocken sein. Bei visko-elastischen Stoffen, wie z. B. bei Gummi, gilt die Coulombsche Reibungstheorie nicht. Haften und Trennen und der Reibungswiderstand sind eine Funktion der Gleitgeschwindigkeit. Die Gleitreibungszahl μ_G kann auch größer 1 sein, Abb. 2.15.



Das Maximum der Kurve kann beeinflusst werden. Je glatter die reibenden Flächen, z. B. eines Reifens und einer Fahrbahn sind, desto höher liegt die Reibungszahl [2]. Deswegen werden an Rennfahrzeugen bei trockener Witterung profillose Reifen eingesetzt.

5. Stammlage

- 5.1 Einlinige Lage (A)
- 5.2 Gesattelt (offen (C) geschossene Lage (B)), Abb.2.16.

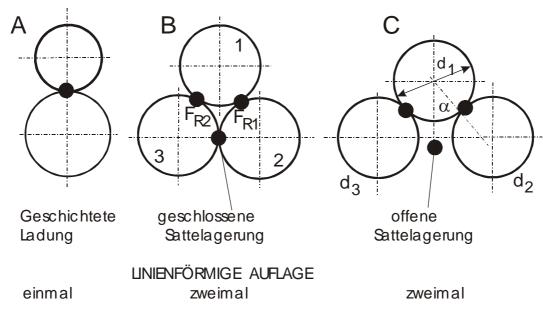


Abb. 2.16

Sattellage heißt, dass der obenliegende Stamm mit 2 "Linien" aufliegt. Daraus entsteht ein Klemmeffekt (Klemmschluss), der umso größer sein wird, je weiter die Stämme unten auseinander liegen.

6. Unregelmäßige Stammkontur (Äste, Drehwuchs, ...)

Kurzholz hat in der "Form" eine unregelmäßige Ausbildung durch Äste, Drehwuchs, nicht zylindrisch sondern oval, oder im Wurzelbereich im unregelmäßigem Wuchs.

Die spezifischen Abweichungen der Kurzholzladung von blockartiger Ladung waren vor dem englischen und den GDV/BGF-Versuchen mehr oder weniger bekannt. Die Kenntnis der Kavernenbildung lässt sich allerdings aus den englischen Versuchen nicht erkennen. Der Einfluss einer unregelmäßigen Stirnfläche der geladenen Stämme war dagegen in Deutschland nicht bekannt.

2.4 Theorie

Wird eine reibschlussgesicherte Ladung beschleunigt, kann beim Überschreiten eines bestimmten Grenzwertes die Ladung in eine zum Fahrzeug eigenständige Bewegung in Bezug zum Fahrzeug übergehen. Für die Zeit bis zum Lösen der Ladung gilt, Abb. 2.17:

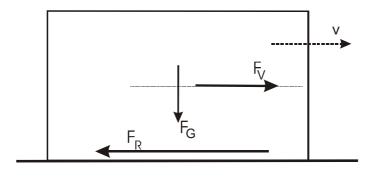


Abb. 2.17

Reibkraft F_R größer als Verzögerungskraft F_{V Fahrzeug}

Bemerkungen:

Diese Zusammenhänge gelten nur für Coulombsche Reibung. Für Coulombsche Reibung gilt:

- 1. Die Ungleichung (1) ist nicht masseunabhängig!
- 2. μ_H ist proportional einer Verzögerung. μ_H mal g \rightarrow sog. "Haftreibungsverzögerung" a_{VH}
- 3. Verhalten bei Einfederung: Reibschlussschwankungen bis zu Reibschlussunterbrechungen
- 4. Es entwickeln sich keine hohen Temperaturen durch die Reibung, es liegen keine hohen Flächenpressungen vor und die Geschwindigkeit der reibenden Flächen ist "gering".

Da g mit dem Wert von 9,81 m/sec 2 für Europa eine Konstante ist, ist μ_H proportional der Verzögerung. Damit ist μ_H proportional dem G-Wert der VDI-Richtlinien. Wenn also in Querrichtung des Fahrzeugs ein g-Wert von 0,5 in Deutschland vorgegeben ist und die Reibungszahl größer als 0,5 wäre, würde allein mit der Haftreibung ausreichend gesichert werden können. Zusätzliche Sicherungsmaßnahmen wären damit nicht notwendig.

Straßenfahrzeuge sind aber im Betrieb einer Vielzahl von "Störgrößen" ausgesetzt. So werden u. a. beidseitige und einseitige Hindernisse auf Fahrbahnen überrollt. Die Folgen sind vertikale Bewegungen der Ladefläche und Drehbewegungen des Aufbaus. Damit wird aber die Normalkraft, mit der die Reibungskraft ermittelt wird, eine zeitabhängige Größe. Um diesen Einfluss zu berücksichtigen, wurde in den 70er Jahren in der VDI 2700 vorgeschrieben, dass statt der Haftreibungszahl die im Regelfall niedriger liegende Gleitreibungszahl aus Sicherheitsgründen verwendet werden soll [3].

Die Haft- und die Gleitreibungszahlen von Holz sind teilweise nicht oder nicht genau genug bekannt. Hinzu kommt, dass bei zylindrischen Körpern, wie Holzstämmen, ein sog. Klemmschluss auftreten kann. Dieser Klemmschluss führt zu scheinbar sehr hohen Reibungszahlen und ist im Ladungssicherungsbereich bisher nicht untersucht worden.

In [4] wird ausgeführt, dass für Kurzholz Reibungszahlen (Haft-/Gleitreibung) von "0,53 bis 0,88, in Einzelfällen von bis zu 1,5", vorliegen. Diese Aussage und andere Versuche haben dazu geführt, dass Transporteure Sicherheitsmaßnahmen für Kurzholztransporte unterlassen, denn die hohe Reibungszahl von 0,88 würde zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen nicht mehr erforderlich machen. Ladungsverluste, wie der Unfall auf der A8 bei Weyarn am 29. Dez. 2003, Abb. 2.18, zeigen aber immer wieder auf, dass zusätzliche Sicherungsmaßnahmen nach wie vor erforderlich sind.



Abb. 2.18

3. Recherchen

3.1 Einleitung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden aus Zeit- und Kostengründen keine umfangreichen Recherchen zur Ladungssicherung von Kurzholz gemacht (Literaturrecherche zu [5]). Es wurde aber veröffentlichtes Material zum Thema (z. B. Fotomaterial) gesichtet, um evtl. Hinweise zum Bewegungsverhalten von Kurzholz zu bekommen. In Kap. 3.2 wird auf die englischen Versuche eingegangen, in Kap. 3.3 auf 2 wesentliche Vorkommnisse im Kurzholztransport.

3.2 Englische Versuche (Research Report 077)

3.2.1 Einleitung

Im Jahre 2003 wurden von dem englischen Verkehrs- und dem Gesundheitsministerium Versuche zur Sicherungsmöglichkeit von Kurzholzladungen durchgeführt [6]. Der Versuchsbericht mit der Bezeichnung "Research Report 077" ist auch über des Internet (z. B. www.google.research-report077.de) abrufbar.

Der Research Report lag in der Konzeptphase der GDV / BGF-Versuche vor. Schon früh war erkennbar, dass die englischen Versuche, was die Fragestellungen, die Versuchsdurchführung oder die Versuchsstrecke anbelangt, um nur einige Punkt zu nennen, anders angelegt waren als die geplanten GDV / BGF-Versuche. Es erschien deshalb sinnvoll, eigene Versuche durchzuführen, zumal weitere Fragen zu klären waren.

3.2.2 Berechnungen Research Report 077

Der Bericht enthält ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Umsturzpunktes eines Sattelzuges bei Kurvenfahrt. Eine Durcharbeitung hat ergeben, dass die Allgemeingültigkeit des Ansatzes oder wesentliche Annahmen des Berechnungsverfahrens nicht akzeptiert werden können.

In Untersuchungen ab den 60er Jahren in Deutschland zum Umsturzverhalten von Nutzfahrzeugen wird in deutscher Fachliteratur die Kipplinie eines Fahrzeugs oder Sattelzuges durch die Aufstandspunkte an den Reifen gelegt [Isermann u. a.], Abb. 3.1 und 3.2.

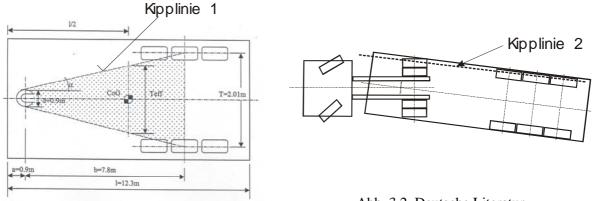


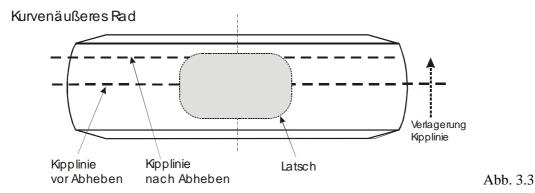
Abb. 3.1. Research Report 077

Abb. 3.2. Deutsche Literatur

In dem englischen Berechnungsgang wird die Kipplinie vom Aufstands"punkt" der 2. Aufliegerachse zur Sattelkupplung gelegt. Bei den Versuchen konnte ein Umsturzunfall des Sattelkraftfahrzeugs aufgezeichnet werden. Die Bildfolge im Anhang des Berichts gibt einen Umsturzvorgang wieder, der

dieser Kipplinie entsprach. Der Berechnungsansatz zu diesem Punkt folgt dem tatsächlichen Geschehen. Das Kippverhalten des in England verwendeten Aufliegers zeigt das Verhalten eines Fahrzeugs mit torsionselastischem Rahmen. Torsionselastische Rahmen sind die Folge extremen Leichtbaus, um das Leergewicht zu reduzieren (von ca. 6500 kg auf z. B. 4700 kg).

Nach deutschen Erkenntnissen liegt die Kipplinie immer in der Mitte des Reifenaufstandsfläche bis zu dem Zeitpunkt, an dem ein kurveninneres Rad abhebt. Dann wandert die Kipplinie aus, Abb. 3.3.



In dem Augenblick allerdings, in dem das kurveninnere Rad abhebt, wandert die Kipplinie nach außen in den Randbereich des Latsches. Nach deutschen Erkenntnissen verbleibt die Kipplinie dort.

Bei den englischen Versuchen könnte die Kipplinie zunächst wie nach deutschen Erfahrungen gelegen haben, um danach während des Aufliegerumsturzes zur Sattelkupplung hin auszuwandern.

Der englische Berechnungsansatz berücksichtigt nur die Aufbaufederung, aber nicht die vertikale und horizontale Reifenelastizität und evtl. eingebaute Stabilisatoren an den Achsen. Nach [7] sind Stabilisatoren wesentlich für den Zeitpunkt des Kippbeginns.

3.2.3 Zu den Versuchen

Durchgeführt wurden in England Bremsversuche aus Geradeausfahrt, Versuche zum Kippbeginn eines Zuges, Kreisfahrversuche und Kurvenfahrten in einem Verkehrskreisel.

In den GDV/BGF-Versuchen sollte dagegen u. a. der Verlauf wichtiger Bewegungsgrößen für eine gleitende Ladung gemessen werden. Die "Frühauslösung" durch einen Steilanstieg der Bremskraft an den Rädern bei einer schnellen Vollbremsung sind dagegen bereits bei Versuchen in [6] untersucht worden. Bei den Bremsversuchen wurden Bremsungen mit unterschiedlich starken Bremsungen durchgeführt. Offensichtlich sind die Zusammenhänge für eine Ladungsbewegungsauslösung, wie sie in Kap. 7.3 dargestellt sind, in England nicht bekannt.

Von Bedeutung sind die englischen Kreiselfahrversuche. Hier wurde zunächst untersucht, welche Abmessungen der "typische" Verkehrskreisel in England hat und welche Verkehrskreiselradien häufig Unfälle hatten. Leider lassen die veröffentlichten Messschriebe eine Untersuchung der Versuche auf Ursache und Wirkung nicht lückenlos zu. Den Aufbauneigungswinkel zu messen, ist wichtig. Er reicht allerdings nicht aus, um wichtige Rückschlüsse auch auf das Verhalten von Ladungen und Fahrzeuge ziehen zu können.

Als ein wichtiges Ergebnis der englischen Versuche ist es anzusehen, dass es bei einer Kurvenfahrt zu einer Ladungsabladung kam. 1/3 der querverladenen Ladung im hinteren Teil des Aufliegers verschob sich; ein Teil blieb weit herausgeschoben hängen, Abb. 3.4.



Abb. 3.4

Der Versuch zeigt, dass es bei querverladener Kurzholzladung auch zu Teilabladungen kommen kann. Es kann also auch die Reibungskraft zwischen den Stämmen so klein sein, dass es zu Verschiebungen innerhalb eines Stapels kommen kann. Auch die Längsniederzurrung mit Beischwichtung der Ladung konnte die Abladung nicht verhindern!

Ein weiteres interessantes Detail der englischen Versuchsergebnisse ist, dass es bei Kurvenfahrversuchen zu einem Umsturzunfall kam, Abb. 3.5.

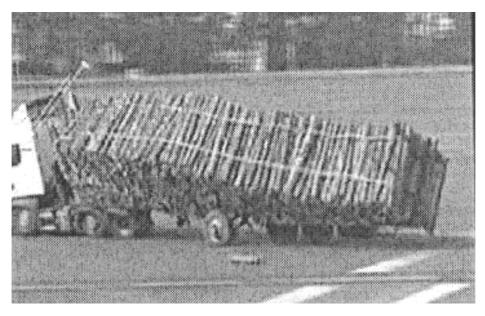


Abb. 3.5

Der Umsturz wurde durch das Wegbrechen des Stützrades ausgelöst. Wichtig an dem Foto ist einmal, dass der Auflieger zuerst über das Heck umkippt. Der Rahmen dieses Versuchsfahrzeugs war zu torsionselastisch gebaut. Das gleiche Umsturzverhalten zeigt das in Abb. 2.4 dargestellte Fahrzeug.

Zweitens stürzte der Sattelzug bei laufender Messanlage um. Dabei wurde der in Abb. 3.6 wieder gegebene Messschrieb des umstürzenden Zuges aufgenommen.

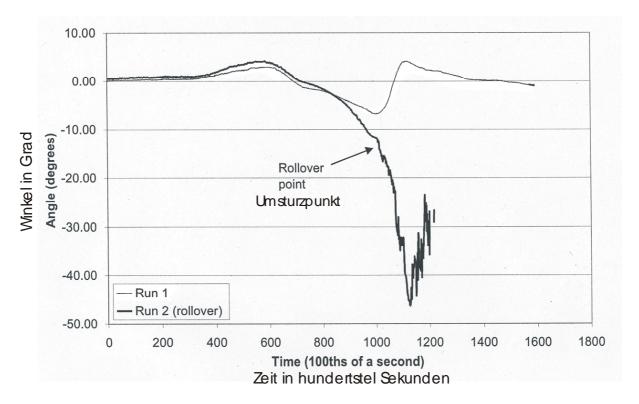


Abb. 3.6

Damit wurde die Zeitdauer und der zeitliche Ablauf eines Nutzfahrzeug-Umsturzunfalls wahrscheinlich erstmals aufgenommen.

Die Kippversuche auf einer Kippbühne mit Fahrzeugen sind in Deutschland bereits in den 70er Jahren durchgeführt worden [6]. Sie haben u. a. ergeben, dass einfache Rechenmodelle zum Kippverhalten, wie sie die Engländer hier benutzt haben, den Kippbeginn nur ungenau wiedergeben.

Von besonderer Bedeutung in den englischen Versuchen ist allerdings der Fahrzeugumsturzunfall, der mit Messinstrumenten aufgezeichnet wurde. In der Fachliteratur im deutschsprachigen Raum ist in Versuchen ein derartiges Ereignis bisher nicht aufgetreten, bzw. es ist nicht darüber berichtet worden.

3.2.4 Sicherheitsregeln

Wichtig sind die Sicherheitsregeln, die von den Engländern entwickelt wurden und die einige hier unbekannte Details enthalten. Interessant sind die Regeln auch, weil sie die Bereitstellung einer Holzladung bereits im Wald erfassen.

3.2.5 Vergleich der Versuche

Die Übersicht 2 soll einige wichtige Punkte der englischen Versuche RR 077) und der GDV/BGF-Versuche (GDV/BGF) in der Gegenüberstellung zeigen.

Übersicht 2

RR 077 GDV / BGF

Abladung der Ladung	
Zuerst im hinteren Teil der Aufliegerladefläche.	Von der Mitte der Ladefläche ausgehend.
Kippverhalten	
Auflieger beginnt über das Heck zu kippen.	Auflieger beginnt über Heck und Triebachse zu Kippen.
Fliehkräfte	
Durchfahrt durch eine Verkehrskreisel	Kurvenfahrt
Vorgabe Erfüllung G-Werte	
Nicht erwähnt.	Vorgabe

3.3 Unfälle und Zwischenfälle

Während der Ausarbeitung der Versuchsergebnisse wurde ein weiteres Ereignisse im Kurzholztransport bekannt. In der Anlage drei ist ein Unfall dokumentiert, bei dem ein Kurzholzstamm nach hinten Einmal hatte sich an einem Anhänger die Ladung während der Beförderung hinausgewandert ist.

4. GDV - Versuche

4.1 Einführung

Es gibt für den Transport von Stämmen und speziell von Kurzholzstämmen eine Reihe von ungeklärten Fragen zur Sicherungstechnik, Übersicht 3.

Die Frage der Kippgefährdung von Ladungen und Fahrzeugen (englische Versuche) scheint nach deutschen Erkenntnissen primär nicht so wichtig, weil Unfallauswertungen zeigen, dass eine Stammladung zuerst in den Gleitzustand übergeht und dann seitlich herausfällt. Allerdings bleibt die Frage offen, ob nach den englischen Erkenntnissen nicht noch nach torsionssteifen und -elastischen Fahrzeugrahmen unterschieden werden muss. Deutlich ist auch, dass das Berechnungsmodell des Research Reports 077 eine zu einfache Modellbildung aufweist. Außerdem hängt das Verhalten eines Fahrzeugs oder Sattelkraftfahrzeugs von sehr individuellen Einflussgrößen ab, wie u. a. von der Federung und Dämpfung. Sie sind für ein bestimmtes Fahrzeug schwer zu ermitteln. Würde das Berechnungsmodell alle wesentlichen Parameter für einen Umsturzunfall erfassen sollen, muss es erheblich umfangreicher aufgebaut werden. Berechnungen wären dann nur mit einem unverhältnismäßig großen finanziellen Aufwand möglich. Das Ergebnis wäre nur für die gerade geprüfte Fahrzeugkombination anwendbar, aber nicht übertragbar auf andere.

Die GDV/BGF-Versuchsreihe sollte deshalb das Umsturzverhalten von Fahrzeugen nicht erfassen und auch keine Übereinstimmung mit einem Berechnungsverfahren erbringen. Es sollten im wesentlichen Praxisprobleme mit wissenschaftlich orientierten Versuchen und Auswertungen durchgeführt werden. Die GDV/BGF-Versuche wurden deshalb nach den Fragestellungen, Übersicht 3, unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den englischen Versuchen konzipiert.

Es wurden drei Versuchsreihen entwickelt: Brems- und Kreisfahrversuche und Versuche zur Ermittlung der Gleitreibungszahlen für verschiedene Holzarten. Die beiden ersten Versuchsreihen wurden auf dem Testgelände der Automotive Testing Papenburg GmbH (ATP) im Emsland durchgeführt. Das ATP stellte für die beiden Versuchsreihen (1 und 2) die Messtechnik und die Messingenieure zur Verfügung. Die Versuchsaufbauten und die Organisation führte jeweils der TÜV Norddeutschland durch.

Die Ermittlung der Reibungszahlen von Holzstämmen wurde von TUL-Log in Dresden durchgeführt. Die Daten zu diesen Versuchen sind im Kapitel 8 zu finden.

Die 1. Versuchsreihe mit querverladener Ladung auf einem Sattelauflieger fand am 16. und 17.3.2004 statt und beinhaltete folgende Versuche:

- 1.1 Kreisfahrversuche (querverladenes Holz),
- 1.2 Vollbremsung aus 30 km/h bei Geradeausfahrt.

Die 2. Versuchsreihe mit längsverladener Ladung auf einem Lastkraftwagen fand am 6. und 17.7.2004 statt und beinhaltete folgende Versuche:

- 2.1 Vollbremsungen (längsverladenes Holz),
- 2.2 Versuche zum Gleitverhalten von Stämmen und
- 2.3 Wirksamkeit verschiedener Niederzurrmittel.

Der Bremsversuch nach 1.2 wurde in der 1. Versuchsreihe durchgeführt, in der Auswertung aber der 2. Versuchsreihe zugeordnet.

In der 2. Versuchsreihe wurden auch Versuche zum Bewegungsverhalten von Stämmen durchgeführt. Mit diesen Versuchen sollte das Weg-Zeit-Verhalten von gleitenden Stämmen aufgenommen werden. Das Ziel war, neben den Wegen auch die jeweilige Geschwindigkeit und den Beschleunigungszustand einer auf einem Fahrzeug gleitenden Ladung zu ermitteln.

Für die Bemessung von Stirnwänden ist die Aufschlagkraft einer gleitenden Ladung entscheidend. Da es sich dabei um einen Stoß handelt, muss die Aufschlaggeschwindigkeit bekannt sein.

Übersicht 3. Fragen zur Sicherung von Kurzholz auf Straßenfahrzeugen

	Fragen		Versuche
1.	Ladungseigenschaften		
1.1	Einfluss Stammausbildung		
	(kreisförmig, oval, irregulär)		
	Wurzelbereich, Äste)		
1.2	Reibungszahlen Haft- und Gleitreibun	σ	
1.3	Reibungskraft geladen im Sattel oder	_	
2.	Fahrzeug		
3.	Stauung		
3.1	Kavernenbildung in chaotischer Stauu	ng	
3.1.1	Vermeidbarkeit	6	
3.1.2	Häufigkeit		
3.1.3	Verteilung im Stapel		
3.2	Stämme in Linienauflage oben		
3.3	Stauung längs oder quer		
3.4	Flache oder ballige Stauung		
4.	Sicherung gegen Ladungsbewegung	en	
4.1	Reibschluss		
4.1.1	Reib-/Klemmschluss		
4.1.2	Mechanik Ladungsbewegung		
4.2	Niederzurrung Nz		
4.2.1	Niederzurrsicherung möglich (wenn ja	wie:	
	Gurt und mögliche Ladungsve		
	hohe Niederzurrkräfte ohne La	_	
4.2.2	VDI-Berechnungsformel möglich?		
4.2.4	Hält Vorspannung?		
4.2.5	Nz bei Längs- und Querverladung		
4.2.5	Alle Stämmen oben erfasst?		
4.2.6	Alle Stämme im Stapel erfasst?		
4.3	Zusätzliche Sicherungsmaßnahmen		
4.3.1	Rungen		Bremsungen
4.3.2	Stirnwand notwendig		> Kreisfahrten
4.4	Alternative Sicherungsmaßnahmen		Reibungszahlen
5.	Ladungsverteilung		ermitteln
5.1	Längsverteilung		
5.2	Querverteilung		
6.	Schwerpunktshöhe		
7	Transport		
7.1	Beginnt Ladung bei Kreisfahrt (<0,5 g	(:	
	zu gleiten oder zu rollen (Stamm in Q		
7.2	Wann beginnt eine Ladung zu gleiten	_	
7.3	Aufprallgeschwindigkeit nach x Zenti		
7.4	Reicht Reibschlusssicherung bei Läng	•	
7.5	Wie entwickelt sich eine seitliche Lad	_	
7.6	Kann es bei Bremsungen zu Ladungst		
	verladung) auch bei Niederzurrung ko		Keine Versuchs-
7.7	Können bei Bremsungen (Längsverlad		ergebnisse
	Stämme aus dem Stapel herausrutsche		3
	1		

4.2 Messeinrichtung und Sensoren

Es wurden folgende Sensoren eingesetzt.

4.2.1 Sensoren Versuchsreihe 1

Die Messanlage bestand aus diversen Sensoren, die von einem Datenlogger abgetastet wurden. Die Daten wurden dann auf einem Notebook gespeichert.

Es wurden folgende Sensoren verwendet:

Beschleunigung Firma 2D Datarecording

Frequenzgang (5 und 10 g) 1000 Hz

Mannesmann/Kinzle

Frequenzgang (2 g) 100 Hz der Beschleunigungssensoren 400 Hz der Geschwindigkeitssensoren 50 Hz

4.2.2 Sensoren Versuchsreihe 2

Abtastrate

Wegemessung Seilzugpotentiometer Firma Kübler

Absolutgenauigkeit +/- 1 %

Abtastrate 400 Hz

Beschleunigung 2D Datarecording

5g, 1000Hz Fehler < 0,5 % Abtastrate 100 Hz

Mannesmann/Kienzle

2g, 100 Hz Fehler: < 2%

Auflösung < 0,001 g Abtastrate 100 Hz

Geschwindigkeit -----

4.3 Messstellenplan

4.3.1 Versuchsreihe 1

Abb. 4.1 zeigt den Messstellenplan der Versuchsreihe 1.

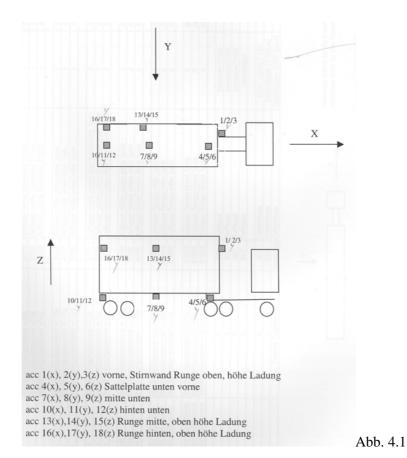
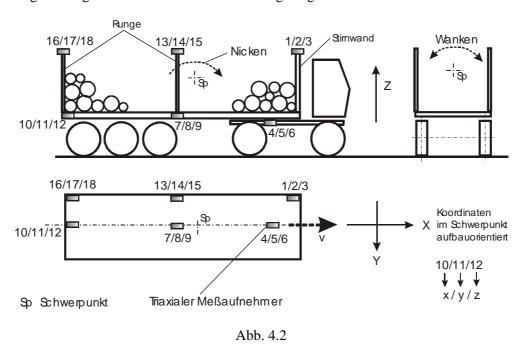


Abb. 4.2 zeigt die Lage der einzelnen Sensoren und legt Begriffe fest.



4.3.2 Versuchsreihe 2

Abb. 4.3 zeigt den Messstellenplan der Versuchsreihe 2.

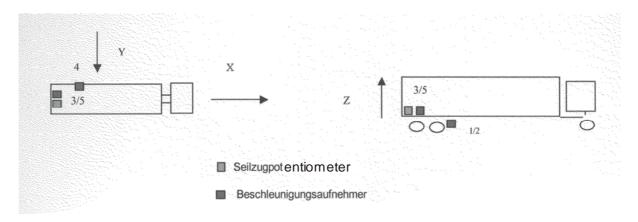


Abb. 4.3

4.4 Versuchsfahrzeuge

Daten Versuchsfahrzeug Sattelkraftfahrzeug für Versuchsreihe 1:

Art	Sattelzugmaschine
Kennzeichen	CLP - HX 61
Art	Sattelanhänger, Plattform mit Rungen
Kennzeichen	CLP - HX 987
Länge	12 520 mm
Breite	2 500 mm
Höhe	1430 mm
Höhe Ladefläche	1260 mm
Nutzlast	30 440 kg
G leer	5 060 kg
G zul.	35 500 kg

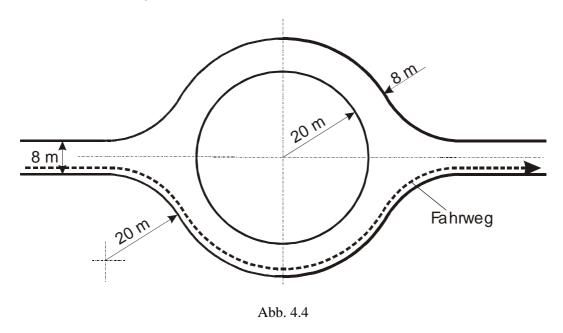
Daten Versuchsfahrzeug LKW für Versuchsreihe 2:

Art	LKW, Plattformfahrzeug mit Rungen
Тур	DB 950.14
Länge	10 100 mm
Breite	2 550 mm
Höhe	3 900 mm
Höhe Ladefläche	1260 mm
Nutzlast	10 735 kg
G leer	15 265 kg
G zul.	26 000 kg
Ladefläche: Aluminium	riffelblech quer zur Fahrtrichtung verbaut.

4.5 Versuchsstrecken

Der Kreisfahrversuch ist aus dem sog. Roundabouttest (Kreiselfahrversuch, Verkehrskreiselversuch) der englischen Versuche abgeleitet worden [5]. Insbesondere gilt das für die Verwendung des Kreisradius von 24 m.

Das englische Verkehrsministerium hatte nach zu mindestens einem schweren Verkehrsunfall mit Kurzholz im Jahre 2003 Fahrversuche durchführen lassen. Man hatte geprüft, welche "typischen Kleinkurven" zu Umsturzunfällen geführt hatten. "Eine Analyse der STATS-19-Datenbank in England ergab, dass sich 24 % der Umsturzunfälle in England in Kreisverkehren ereigneten hatten. Das andere Manöver "andere Geradeausfahrt" war mit 49 % beteiligt. Daraus wurde der sog. Roundabouttest abgeleitet, Abb. 4.4. Im Folgenden soll dieser Test mit "Kreiselfahrversuch" bezeichnet werden.



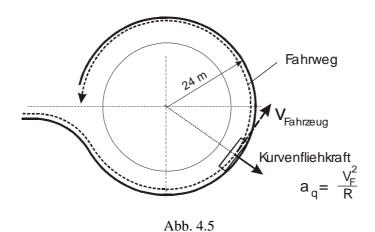
Der englische Roundabouttest wurde aus statistischen Auswertungen abgeleitet. Da die Bundesrepublik Deutschland in etwa vergleichbare Verkehrsverhältnisse hat, wurde der Radius für die GDV-Versuche übernommen.

Bei dem Kreisfahrtest in Papenburg wurden folgende Vorgaben zugrunde gelegt:

- 1. Kreisfahrt,
- 2. Radius 24 m bezogen auf Fahrzeugmitte,
- 3. Geschwindigkeit v ca. 40 km/h und darüber bis zu einer möglichen Abladung

und

4. Einfahrt aus einer Geraden (Gerade auf die Mitte des Kreises), Abb. 4.5.



Damit es bei der Kreisfahrt nicht zu einem Umsturz des Zuges kommen konnte, waren Stützfüße angebaut (keine Stützräder, sondern teflonbelegte Stützscheiben).

Neben diesem neu entwickelten Kreiselfahrversuch gibt es noch eine Reihe weiterer Kreisfahrfahrversuche [8], Abb. 4.6, die allerdings bei der Austestung von PKW benutzt werden.

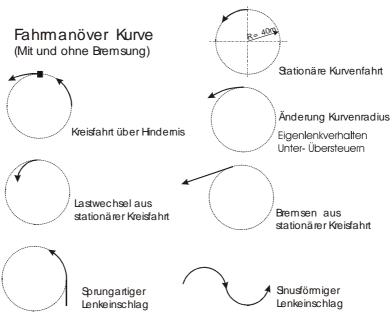


Abb. 4.6

4.6 Zu den Versuchen

Es wurden folgende Versuchen konzipiert:

1. Kreisfahrversuche mit querverladenem Holz

Ziel des Versuchs war, zu untersuchen, ob es bei Kreisfahrten mit einer konstanten Geschwindigkeit und konstantem Radius bei Querbeschleunigungen unter 5 m/sec² (also kleiner 0,5 g) zu einer Abladung der Ladung kommt.

2. Bremsversuche

2.1 Vollbremsung mit quer verladenen Stämmen

Es wurde aus einer Geradeausfahrt mit einem mit ca. 20 Tonnen Kurzholz beladenem Sattelzug eine Vollbremsung aus einer Geschwindigkeit von ca. 30 km/h durchgeführt. Es sollte untersucht werden, ob die Stämme in Ruhe verharren oder ob es zu Ladungsbewegungen kommen würde.

2.2 Vollbremsungen mit längs verladenem Stämmen

Untersucht werden sollte, ob es aus dem Stapel zu Ladungsverlagerungen bei Bremsungen kommt. Außerdem sollte die Kavernenbildung und der Einfluss der Linien- und Sattelauflage beobachtet werden.

2.3 Versuche zur Niederzurrwirkung

In dieser Versuchreihe sollten verschiedene Zurrmittel im Hinblick auf ihre Wirksamkeit untersucht werden.

2.4 Versuche zum Gleitverhalten von Stämmen

Es sollte das Bewegungsverhalten von in Linienauflage liegenden Stämmen untersucht werden, insbesondere wann sich ein Baumstamm zu bewegen beginnt, wenn das Fahrzeug vollverzögert wird. Eine wesentliche Qualität der Versuche ist darin zu sehen, das alle Signale zeitgleich aufgezeichnet wurden. Damit sollten Zusammenhänge erkennbar gemacht werden, insbesondere zur Frage nach Ursache und Wirkung.

2.5 Reibungszahlen

Es sollten die Gleitreibungszahlen verschiedener Hölzer in unterschiedlichen Auflagen untersucht werden.

2.6 Versuchsladung

Die Versuche wurden mit 2m langen Fichtenstämmen durchgeführt.

5. Kreisfahrversuche

5.1 Einleitung

Ziel dieser Versuche war es zu untersuchen, ob es bei Kreisfahrten mit konstanter Geschwindigkeit und konstantem Kurvenradius zu einer seitlichen Ladungsabladung bei einer Querbeschleunigung von unter 5 m/sec 2 (= 0,5 g) kommen würde. Die Versuche fanden am 16. 17.3.2004 auf der Versuchsstrecke ATP in Papenburg statt.

5.2 Versuchsdurchführung

Ein Sattelkraftfahrzeug mit quer verladenem Kurzholz mit ca. 36 t wurde in einem Kreis von ca. 23 bis 24 m gefahren, Abb. 5.1. Die Geschwindigkeit wurde schrittweise, von einem Versuch zum nächsten, erhöht.



Abb. 5.1

5.3 Ergebnisse der Fahrversuche

Zu einer großflächigen Ladungsverlust kam es bei den Versuchen 6 und 10, Abb. 5.2.

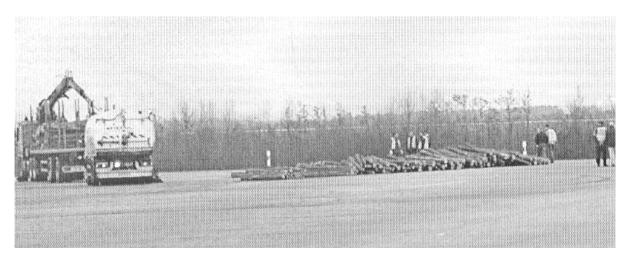


Abb. 5.2

Im Versuch 6 kam es bei ca. 38 km/h zu einem Kontakt des äußeren Stützfußes mit der Fahrbahn (Teflonscheibe, kein Rad!) mit der Folge einer kleinen Wankschwingung und einer nahezu kompletten Abladung der Querholzladung zur Seite hin. Die Ladung verteilte sich großflächig auf der Fläche.

Im Versuch 10 kam es ebenfalls zu einer Komplettabladung zur Seite hin. Allerdings gab es keinen Stützfußkontakt mit der Fahrbahn und damit keine Wankschwingung des Aufbaus.

Feststellungen (1):

1. Abladung unter 0,5 g

Bei dem Ladungsverlust im Versuch 10 wurde am Auflieger vorn eine Querbeschleunigung von 4,9 m/sec², in der Mitte von 4,7 m/sec² und hinten von 4,5 m/sec² gemessen. Die Abladung ereignete sich also bei einem Wert unterhalb von 0,5 g.

2. Fehlende Haftung

Die Ladung "brach" komplett auf der Ladefläche ab. "Engpass" war die zu niedrige Haftreibungszahl zwischen Ladung und Ladefläche. Die entsprechenden Messschriebe lassen keine signifikante Vertikalbewegung des Fahrzeugsaufbaus erkennen.

3. Niederzurrung

Die Niederzurrung einer querverladenen Stammladung (zwei Gurte in Längsrichtung ohne Beischwichtung) erwies sich bei Kurvenfahrt als völlig unwirksam.

4. Restladung

Hinter der Stirnwand verblieb ein Teil der Ladung fast bis zur kompletten Abladung unter Niedervorspannung stehen.

5.4 Auswertung der Messschriebe Versuch 6

5.4.1 Querbeschleunigung

Feststellungen (2):

1. Reibungszahl Ladung zur Ladefläche

Da die Querbeschleunigung im Mittelteil, von dem auch die Ladungsabladung begann, ca. 4,7 m/sec² betrug, kann davon ausgegangen werden, dass eine Reibungszahl zwischen Ladefläche und Ladung von $\mu_{H}=0,4$ bis 0,5 vorgelegen hat. Dieser Wert kann als Haftreibungszahl angesehen werden. Die Abladung ist nur erklärbar damit, dass die Haftreibungsgrenze zwischen Ladung und Ladefläche überschritten wurde.

Berücksichtigt werden muss, dass bei Reibungsfragen stets mit einer Obergrenze und Untergrenze von ca. 10 % des Werts gerechnet werden muss.

2. Wankneigung

Es kann aus anderen Versuchen eine Wankneigung des Aufbaus von ca. 4 bis 5 Grad angenommen werden. Eine große Wankneigung fördert ein "frühes" Abladen der Ladung.

3. Geschwindigkeitsverlauf

Abb. 5.3 zeigt in etwas idealisierter Weise die beiden Geschwindigkeiten im Versuch 6 und 10 im Bereich der Ladungsabladung in einer Gegenüberstellung.

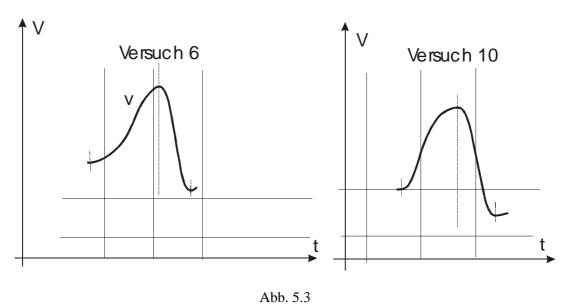
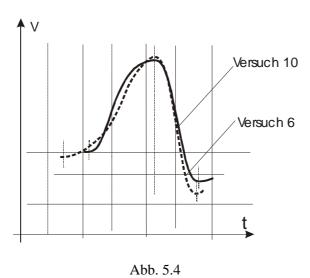


Abb. 5.4 zeigt diese beiden Kurven in einer Überlagerung. Die Überlagerung ist auf den Zeitpunkt des Maximums orientiert. Im Versuch 10 lag eine etwas höhere Ausgangsgeschwindigkeit vor. Der Anstieg beginnt etwas später und ist deutlich steiler.



Der Versuch 6 war gerade an der Auslösegrenze. Der Anstieg der Geschwindigkeit in Fahrtrichtung im Versuch 10 ist deutlich höher. Die Rückstellzeit und der Rückstellverlauf sind in etwa gleich. Auch haben im Versuch 10 Sekundäreffekte (Bewegung in y-Richtung usw.) die Auslösung begünstigt.

5.5 Auswertung der Messschriebe Versuch 10

5.5.1 Einleitung

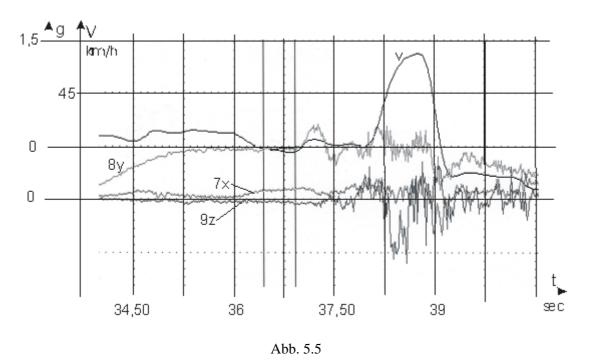
Im Gegensatz zu Versuch 6 ist es in dem Versuch 10 ohne einen Stützfußkontakt mit der Fahrbahn zu einer Abladung gekommen.

Aus den Kurvenverläufen können folgende Punkte – einzeln oder in der Summe – als Ursache für die Abladung in Frage kommen:

- 1. der Geschwindigkeitsverlauf des Fahrzeugs.
- 2. Verlauf der Querbeschleunigung (y-Richtung) und
- 3. Verlauf der vertikalen Beschleunigung (z-Richtung).

5.5.2 Geschwindigkeitsverlauf

Abb. 5.5 zeigt die Kurven für die Punkte 7 bis 9 in der Gegenüberstellung.



Der Geschwindigkeitsverlauf v und der Querbeschleunigungsverlauf Kurve 8y zeigt, dass keine völlig konstante Geschwindigkeit vor dem Ladungsabwurf vorgelegen hat, Abb. 5.5. Auch das Signal 8y zeigt schon vor dem Abladungsereignis Ausschläge. Im Folgenden wird zunächst der Geschwindigkeitsverlauf analysiert.

Der Ausschlag der Geschwindigkeitskurve zeigt, weil das Signal an der Kardanwelle der Zugmaschine abgenommen wurde, dass es scheinbar zu einer Geschwindigkeitserhöhung des Fahrzeugs gekommen ist. Die Drehzahl der Kardanwelle hat sich bei Anheben des kurveninneren Rades erhöht, weil durch das Anheben des Rades der Vortriebswiderstand weggefallen ist und der Motor dadurch seine

Drehzahl erhöhen konnte (das Rad dreht durch). Das Signal zeigt neben dem Abheben das kurveninneren Vortriebsrades auch den Zeitpunkt der Abladung an, Abb. 5.6.

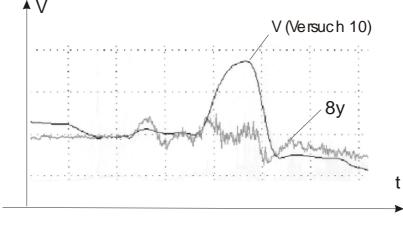
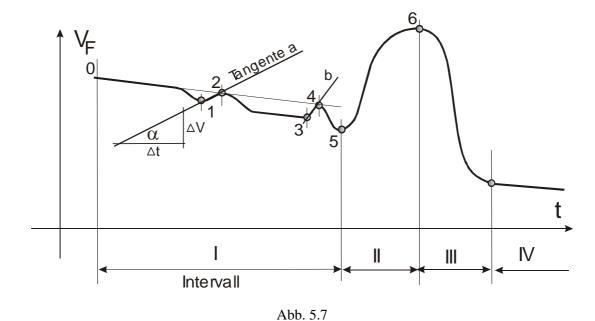


Abb. 5.6

Die Kurve soll, um sie einfacher interpretieren zu können, in Intervalle eingeteilt werden, Abb. 5.7.



Zu den Intervallen:

I Vorphase

In der "Vorphase" könnten u. U. Signale erkennbar sein, die eine Ladungsabladung erklären könnten. So kommen kleinere Längsbeschleunigungen vor (Tangente a und b). Die Beschleunigung in Längsrichtung zwischen 3 und 4 (b) ist mit 1,25 m/sec² relativ hoch.

II Ladungsabladung

Die Zeitdauer, der als sinusförmig angenommenen Viertelschwingung, beträgt ungefähr 0,4 sec und hat eine Amplitude von 14 m/sec.

III Aufbaurückbewegung

IV Nachphase

Soll der Geschwindigkeitsablauf des Versuchs 10 analysiert werden, ist es sinnvoll verschiedene Punkte der Kurve zu bezeichnen und die einzelnen Werte zu ermitteln.

Feststellung (3):

1. Querbeschleunigung

Wird davon ausgegangen, dass in Punkt 4 eine Geschwindigkeit von 10,6 m/sec vorlag und in Kurvenradius von 22,9 m gefahren wurde, so ergibt sich rechnerisch eine Querbeschleunigung von 4,90 m/sec² und damit eine Querbeschleunigung unter 5 m/sec².

2. Querbeschleunigung - Fahrzeuggeschwindigkeit

Abb. 5.8 zeigt den Querbeschleunigungsverlauf in Verbindung mit dem Geschwindigkeitsverlauf.

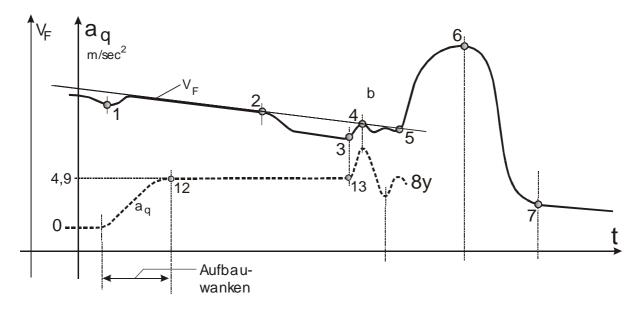


Abb. 5.8

Feststellungen (4):

1. Fahrzeugverzögerung

Vor Punkt 12 liegt der Beginn der Kurvenfahrt mit leicht abfallender Geschwindigkeit. In dieser Phase gibt es kurz vor Punkt 12 in Punkt 1 eine geringe Verzögerung der Fahrzeuggeschwindigkeit, die aber nicht zu einer Wankbewegung des Aufbaus führt.

2. Wankwinkel

Obwohl der Wankwinkel nicht gemessen wurde, kann davon ausgegangen werden, dass in diesem Zeitabschnitt es zu einem Wankwinkel von ca. 4 bis 5 Grad kam.

Wird eine Haftreibungszahl zwischen Ladung und Ladefläche von 0,5 zugrunde gelegt, dann wird allein durch die Wankneigung eine Reduzierung der Haftreibungszahl von ca. 17% zustande kommen.

3. Fahrzeugbeschleunigung vor Abladung

Von Punkt 3 nach 4 liegt eine Beschleunigungsphase in Fahrzeuglängsrichtung von ca. 1,25 m/sec² (Steigung Tangente b) vor. Zeitgleich zu Punkt 3 beginnt in Punkt 13 eine geringe Wankschwingung. In Richtung der Wankneigung kommt nun nochmals eine kleine schwingungsartige Winkelbewegung hinzu.

4. Wankbeschleunigung des Aufbaus

Während in Versuch 6 ein Stützfußkontakt ein geringes Aufbauwanken verursachte und damit eine Ladungsabladung ausgelöst hat, wurde ein Aufbauwanken in Versuch 10 durch eine Geschwindigkeitsänderung ausgelöst (Der Zug befindet sich in einer Kurvenfahrt!).

5.5.3 Ankippverhalten von Sattelkraftfahrzeugen

Abb. 5.9 zeigt einen Ausschnitt Versuch 10 (Blatt 30). Dargestellt sind die Beschleunigungsverläufe vorn, in der Mitte und hinten an der Aufliegerladefläche in y-Richtung.

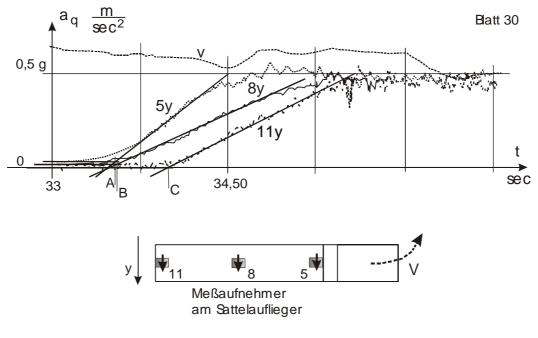


Abb. 5.9

Im Punkt A beginnt die Beschleunigung am Rahmen vorn Punkt 5y (Bereich Sattelkupplung) anzusteigen. Unmittelbar danach folgt in B der Punkt 8y, allerdings mit einer flacheren Anstiegsrate. Im Punkt C beginnt die Beschleunigung von Punkt 11y, in etwa mit der gleichen Steigung wie 8y.

Feststellung (5):

1. Abhebereihenfolge

Eine Beschleunigung kann nur auftreten, wenn Wege zurückgelegt werden. Da es sich um eine Seitenkraft handelt, die in y-Richtung wirkt, kann es sich nur um eine Torsion des Aufliegerrahmens handeln. Danach beginnt die Torsion des Rahmens vor der Sattelkupplung. Es folgt der Mittelteil und schließlich das Heck.

Da der Schwanenhals eines Aufliegers der torsionskritischste Bereich eines Aufliegerrahmes ist, ist dieser Verlauf zu erwarten. Danach würde der Zug (in diesem Beladungszustand) mit dem vordersten Teil des Aufliegers zuerst zu kippen beginnen.

Aus Versuchen des Dekra [4] ist bekannt, dass besonders Gardinenfahrzeuge auch über das Heck zuerst zu kippen beginnen.

2. Versuchstechnik

Mit dieser Messtechnik könnte die Abhebereihenfolge und damit das Kippverhalten an eines neuen Sattelaufliegertyps vor Inbetriebnahme gemessen und bewertet werden. Mit dieser Versuchsanordnung kann das Kipprisiko eines Neufahrzeugs im vorhinein abgeschätzt werden.

6 Bremsversuche

6.1 Einleitung

Mit diesen Versuchen sollte eine Reihe von Fragen zum Verhalten von Kurzholzstämmen bei Einwirkung von Masseträgheitskräften bei Verzögerungen untersucht werden. Einmal die Frage, ob die in dem Abschnitt 2.4 "Theorie" dargestellten Zusammenhänge sich im Versuch bestätigen lassen. Sollte es sich zeigen, dass die Ladung bei der "Haftreibungsverzögerung" sich zu bewegen beginnt, wäre ein Argument dafür vorhanden, dass Kurzholzstämme sich mehr nach der Coulombschen Reibung verhalten als nach der visko-elastischen. Weiterhin könnte aus den Bewegungskurven der Ladung (Weg-Zeit-Abhängigkeit) eine Aufschlaggeschwindigkeit nach einem vorgegebenen Rutschweg errechnet werden. Auch könnte die Bewegungsaufzeichnung einen Aufschluss darüber geben, ob und wenn ja, wie groß die Beschleunigung der Ladung wäre.

Vorweg sollen aber einige wichtige Phänomene, die im Transport mit Stämmen von Bedeutung sind, wie die Kavernenbildung, die Auflageart, der Umschlingungswinkel und die flache bzw. bauchige Stauung besprochen werden.

6.1.1 Kavernenbildung

Eine der "großen" Fragen im Stammtransport ist das Phänomen der sog. Kavernenbildung (Brücken-, Tunnel-, Hohlraumbildung. . .), Abb. 6.1. Sie sind vielfach nicht oder nicht sofort erkennbar. So konnte in den Versuchen auch durch sorgfältige Stauung der Stämme Kavernen nicht verhindert werden. Das Phänomen ist erstmals bei einer Polizeikontrolle auf der Salzburger Autobahn im Jahre 2000 erkannt worden.



Bayrische Polizei, 2000

Abb. 6.1

Der Stamm unten (mit Pfeil) liegt in offener Sattellage und ist damit in Längsrichtung nicht verschubgefährdet.

Abb. 6.2 zeigt eine Kaverne mit einem Stamm unten in Linienauflage. Diese Kavernen können sich wahllos und mehrfach in einem Ladungsstapel befinden.



Bayerische Polizei, 2000

Abb. 6.2

Die Bildung derartiger Hohlräume bedeutet, dass Niederzurrkräfte und Kräfte aus darüber gestauter Ladung um die Hohlstelle "herumlaufen". Einzelne lose Stämme in einer Kaverne sind damit nur über Reibschluß aus dem Eigengewicht gesichert, es sei denn sie liegen im Klemmschluß, wie in Abb. 6.1 mit einem Pfeil bezeichnet. Es stellt sich damit die Frage, ob Kurzholz überhaupt durchgehend mit der Niederzurrtechnik gesichert werden kann? Abb. 6.3 zeigt einen aus einer Kaverne verlorenen Stamm auf der Salzburger Autobahn.



Bayerische Polizei, 2000

Abb. 6.3

6.1.2 Linienauflage - Sattellage

Ein weiteres Phänomen bei Stämmen (und Rohren) ist die Erhöhung der Zugkraft bei Verschub in Längsrichtung, wenn ein Stamm in Sattellage und nicht in Linienauflage liegt, Abb. 6.4.

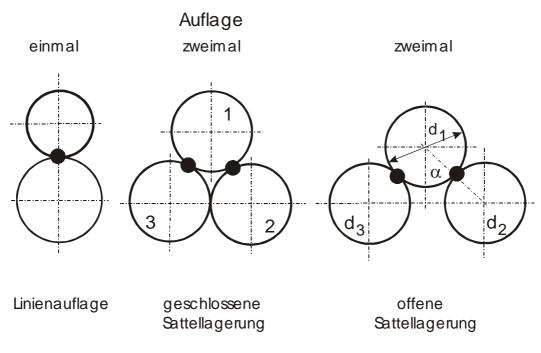


Abb. 6.4

Bei der Ermittlung der Reibungszahlen in Kapitel 8 werden die Werte in der Regel in Linienauflage angegeben, aber auch in geschlossener Sattellage. Während in Linienauflage die Stammkraft F_{Stamm} , "direkt" wirkt, wird in Sattellage diese Kraft in die Kräfte F_1 und F_2 aufgeteilt, Abb. 6.5. Die Summe dieser Einzelkräfte ist aber stets größer als die Stammkraft (F_{Stamm}). Damit wird die Reibungskraft (= Zugkraft in Längsrichtung) aber nicht die Reibungszahl μ (Stamm/Stamm) größer.

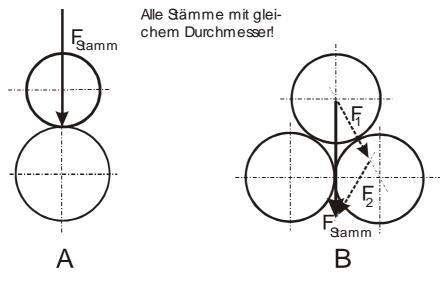


Abb. 6.5

Ein rechnerische Darstellung der Zusammenhänge wird in Anlage 1 gegeben. Besonders kritisch gegen Verschub in Längsrichtung sind oben liegende Stämme, Abb. 6.6 und 6.7.

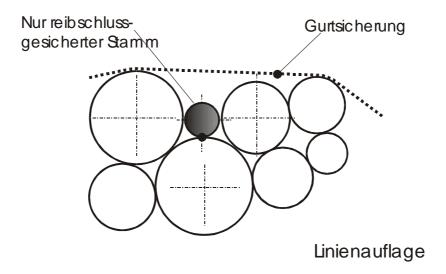
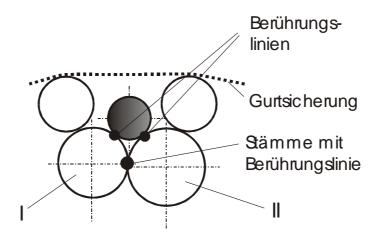


Abb. 6.6



Stamm in Sattellage

Abb. 6.7

Die markierten, oben liegenden Stämme in den Abb. 6.6 und 6.7 werden von der Niederzurrung nicht erfasst. Sie liegen nur im Reibschluss. Während der Stamm in Linienauflage in Abb. 6.6 in Längsrichtung "leicht" herausgezogen werden kann, wird der Stamm in Sattelauflage in Abb. 6.7 schwer, im Falle der offenen Sattellage kaum herausziehbar sein. Bei Sattellage wird deshalb nicht von Reibschluss sondern von Klemmschluss gesprochen! Es ändern sich nicht die Reibungszahlen sondern die Anpresskräfte!

6.2 Versuche zur Kavernenbildung

6.2.1 Einleitung

Niederzurrtechnik setzt bei Vorspannung mittels Ratsche voraus, dass große Sicherungskräfte erst bei einem Ladungsverschub aufgebaut werden, es sei denn, es wird eine große Anzahl von Gurten verwendet und der Kantenschutz rutscht auf der Ladung beim Verschub nicht durch. Bei Einsatz von Gurten auf Stämmen wird aber normalerweise kein Kantenschutz eingesetzt. Deshalb ist ein Ladungsverschub bei Stämmen nicht vertretbar, weil die Ladung "durchrutschen" könnte (Abb. 3 Anlage 2).

6.2.2 Versuchsdurchführung

Auf einem LKW wurde mehrmals ein Stapel mit Kurzholz in Längsverladung mit verschiedensten Hilfsmitteln zur Niederzurrung gesichert. Nach der Beladung und Sicherung wurde der Stapel auf Kavernen und auf oben lose liegende Stämme untersucht. Anschließend wurde aus einer Geschwindigkeit von ca. 60 bis 70 km/h eine Bremsung mit der maximal möglichen Verzögerung durchgeführt. Die Lage einzelner Stämme wurde mit Farbspray vor der Bremsung markiert.

6.2.3 Ergebnisse

Feststellungen (6)

1. Kavernenbildung

Kavernen, aus denen Stämme von Hand (Linienauflage) herausgezogen werden konnten, wurden mehrfach festgestellt.

2. Linienauflage

In der obersten Lage konnten in der Regel mehrere Stämme gefunden werden, die von der Niederzurrung nicht erfasst wurden und von Hand herausgezogen werden konnten, Abb. 6.8.

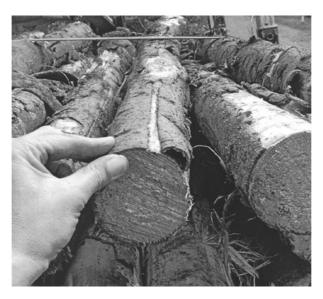


Abb. 6.8

Abb. 6.9 zeigt einen oben liegenden Stamm in Linienauflage. Die Niederzurrung erfasst den Stamm nicht.



Abb. 6.9

3. Ladungsverschub

Bei längs verladenen Stämmen zeigen sich für den vollständigen Block nur geringe, tolerierbare Verschübe bis ca. 10 mm. Es konnten aber auch größere Verschübe von Einzelstämmen festgestellt werden, Abb. 6.10.



Abb. 6.10

Die Stämme oben, in aller Regel in Linienauflage, sind erwartungsgemäß bis ca. 50 cm herausgerutscht, ebenso aus dem Stapel und seitlich zu den Rungen.

Neu ist die Beobachtung, dass sich Kavernen auch an einer Runge bilden können. Liegen in diesen Hohlräumen Stämme, sind diese fast ungesichert, da die Niederzurrkräfte um diese Kaverne "herumlaufen". Der Fall "weit herausrutschen" ist unter 5. abgehandelt.

4. Kavernen an Rungen

Es kommen aber auch Stämme oben und seitlich zu den Rungen vor, die "weit" oder vollständig herausgerutscht waren, Abb. 6.11. Diese sind besonders kritisch zu bewerten, da diese Stämme leicht vom Fahrzeug herabfallen können.



Abb. 6.11

Stämme aus einer Kaverne in der Mitte eines Stapels bewegten sich bei den Vollbremsversuchen nicht weit heraus. Dies schließt aber nicht aus, dass bei einer anderen Kavernenkonstellation ein Stamm nicht vom Fahrzeug herabfallen könnte.

In einem Fall, Abb. 6.12, rutschte einer dieser Stämme aus einer Rungenkaverne vollständig heraus und prallte gegen die Stirnwand. Die Stämme waren vorher sehr dicht gestaut worden. Trotzdem konnte mit der Niederzurrung ein Herausrutschen nicht vermieden werden.



Abb. 6.12

6.3 Bremsversuch mit querverladenen Stämmen

6.3.1 Einleitung

Die Querverladung von Stämmen kann zu Ladungsbewegungen bei Kurvenfahrt führen. Ob eine derartige Stauung bei "großen" Bremskräften in Geradeausfahrtebenfalls zu Bewegungen führen kann, sollte in dem Versuch 11 festgestellt werden.

6.3.2 Versuchsdurchführung

Auf einer geraden und ebenen Strecke wurde eine Bremsung aus v = 30 km/h mit einer Verzögerung von 5,2 m/sec² aus einer Geradeausfahrt durchgeführt. Die Ladungsmasse betrug ca. 16 t. Das Fahrzeug und die Ladungsanordnung ist in Abb. 6.13 skizziert.

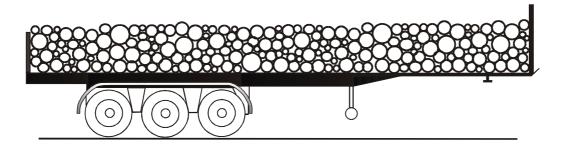


Abb. 6.13

6.3.3 Ergebnisse

Feststellungen (7):

1. "Schwallen" der Ladung

Bei der Verzögerung von 5,2 m/sec² (Versuch 11) kam es zu einer Verlagerung (Verschub *und* Verrollen) erheblicher Ladungsanteile gegen die Stirnwand des Aufliegers. Das Verrollen betrifft nicht nur oben liegende Stämme sondern findet auch bis hinunter zur Ladefläche statt. Das Verrollen konnte in Fotos festgehalten werden.

Von der Bewegung sind Stämme in der gesamten Aufliegerladefläche betroffen, also auch im Heck des Fahrzeugs, Abb. 6.14, 6.15 und Abb. 6.16 (Bildfolge 1. bis 4).





Abb. 6.14 Abb. 6.15

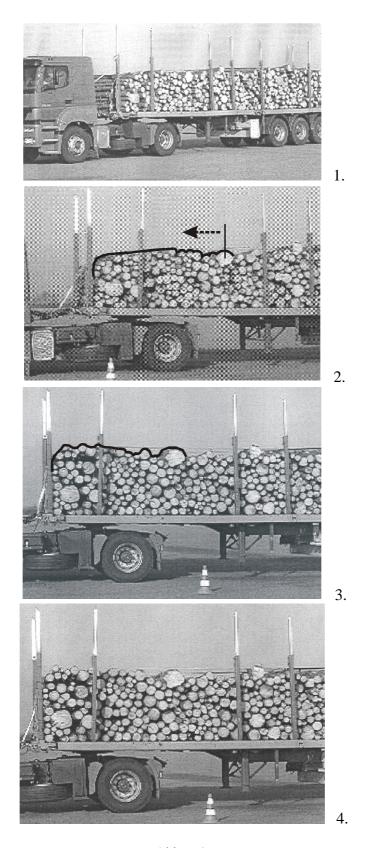


Abb. 6.16

Abb. 6.14 zeigt, dass die Ladung zunächst vor dem Versuch gleichmäßig verteilt geladen war. Abb. 6.15 zeigt recht deutlich, dass an den hinteren Rungen kein Holz mehr anliegt.

Die Bewegung der rollenden und gleitenden Stämme kann als "Schwallen" gegen die Stirnwand wie bei einer Flüssigkeit bezeichnet werden.

6.4 Niederzurrwirkung

6.4.1 Einleitung

In einer weiteren Versuchsreihe wurden verschiedene Zurr- und Spannmittel untersucht. Geprüft werden sollte, ob mit hohen Vorspannkräften eine ausreichende Niederzurrwirkungen aufgebaut werden kann und ob sich aus Setzungserscheinungen eine deutliche Verringerung der Niederzurrwirkung ergibt.

Bei einzelnen Kombinationen stellt sich auch die Frage, wie sich eine einseitige Vorspannung über die Ladung hinweg fortpflanzt. Auch ist ungewiß, wie sich die Zugkraft im Zugmittel bei einer sich setzenden Ladung beim Stehen des Fahrzeugs und bei Fahrt über eine Rüttelstrecke entwickelt.

6.4.2 Versuchsdurchführung

Der LKW wurde mit ca. 5 Tonnen Kurzholz in Längsrichtung verladen, Abb. 6.17.



Abb. 6.17

Im einzelnen wurden folgende Zurrmittel verwendet:

Versuch 1. Kette mit Gurt (einseitig als Vorläufer)

Abb. 6.18 zeigt skizzenartig den Aufbau des Zurrmittel.

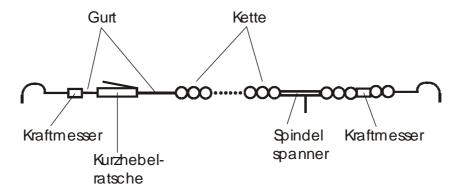


Abb. 6.18

Mit einer Kette als "Vorläufer" sollte erreicht werden, dass ein Element mit Dehnungsvermögen in das Zurrmittel kommt. So könnte man die positiven Eigenschaften der Kette (robust, Langlebigkeit) mit den eines Gurtes kombinieren.

Durch die Dehnung im Gurt baut sich die Vorspannung bei den ersten Setzungserscheinungen nicht so schnell ab wie bei einem Zurrmittel, dass über geringes Dehnungsvermögen verfügt. Da es sich bei Holz um ein Naturprodukt handelt, dass sich aufgrund seiner Materialeigenschaften sich ständig bewegt und auch setzt, ist eine möglichst hohe Dehnung im Zurrmittel wünschenswert, damit eine Mindestvorspannung möglichst lange erhalten bleibt. Wird nur mit einer Kette gespannt und kommt es zu Setzungen im Holz, dann wird die Kette deutlich früher eine "Lose" aufweisen.

Die Stauung erfolgte so, dass die Ladung oben "ballig" (= in einem Kreisbogen) lag, Abb. 6.19.

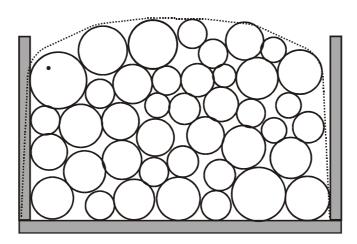


Abb. 6.19

Daten

Anschlagösen Ladefläche

Kraftmesser Dolezych dynator, Abb. 6.20

Gurt Dolezych, Abb. 6.21

LC 5000 daN

Dehnung < 4 %

Ratsche Kurzhebel

13 mm Kette LC 10 000 daN

Spindelspanner



Abb. 6.21



Abb. 6.20

Versuchsablauf zur Gurtvorspannung

Nach dem Sichern und Spannen mit dem Spindelspanner (!) erfolgte eine Fahrt über eine Rüttelstrecke (Belgisch Block). Danach wurde nachgespannt:

In Fahrtrichtung:

Links (Spindelspanner) rechts 880 daN 348 daN

(In der Anlage 2 ist eine Nachrechnung der Reibungszahl zwischen Gurt und Fichtenholz mit diesen Werten eingefügt.)

Nach einer kurzen Pause wurde vor dem Bremsversuch erneut nachgezogen.

Links (Spindelspanner) rechts 1040 daN 430 daN

Ergebnisse zu Versuch 1.

Feststellungen (8):

1. Ungleiche Niederzurrwirkung beim Anzug

Auf der rechten Seite des Stapels wird eine deutlich geringere Niederzurrkraft wirksam (880 daN \rightarrow 348 daN). Dieser Vorspannungsabbau ist auf Reibung zwischen Zurrmittel und dem Stämmen zurückzuführen.

2. Ungleiche Niederzurrwirkung nach Fahren und Bremsen

Die unterschiedlichen Gurtkräfte ändern sich auch nicht nach einer Wegstrecke und einer Bremsung.

Nach einer Vollbremsung aus einer Geschwindigkeit von 60 km/h mit einer Verzögerung von ca. 0,77 g ergaben sich folgende Werte:

890 daN 364 daN

Insgesamt wurde die Zurrmittelspannung durch die Bremsung geringer, größere Unterschiede zwischen rechter und linker Niederzurrkraft blieben aber erhalten!

3. Unsichere Niederzurrwirkung im Stapel

Die Niederzurrkraft läuft ungleichmäßig durch den Stapel. Lose liegende Stämme direkt unter dem Ladungssicherungsmittel sowie in Kavernen im Ladungsstapel sowie aus solchen an den Rungen konnten verrutschen.

Versuch 2. Gurt mit einseitiger Spannvorrichtung

Abb. 6.23 zeigt die Versuchsanordnung. Der Ladungsstapel war mit einem Gurt gesichert, Abb. 6.22

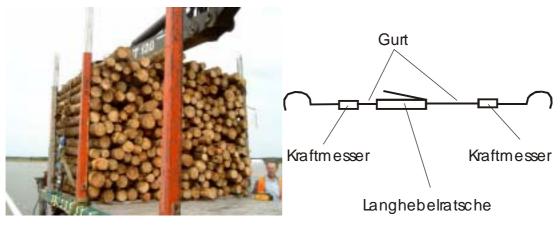


Abb. 6.22 Abb. 6.23

Die Abb. 6.20 zeigt die Anordnung des Holzstapels auf dem Fahrzeug. Der Stapel war mit nur einem Gurt gesichert. Der Umschlingungswinkel betrug ca. $180^{0} - 20^{0} = 160^{0}$.

Daten

Kraftmesser	Dolezych dynamometer, Abb. 6.24
Gurthersteller	SpanSet
Gurtbreite	50 mm
LC im geraden Zug	2500 daN
LC in Überspannung	5000 daN
Dehnung	< 4 %
Ratsche	Langhebel

Versuchsablauf zur Gurtvorspannung

Nach der Entladung wurde das Fahrzeug erneut beladen und mit nur einem Gurt niedergezurrt. Es wurde darauf geachtet, dass der Stapel oben ballig (bauchig) gestaut war. Das Fahrzeug wurde dann aus 63 km/h mit 0,72 g verzögert, Abb. 6.25 bis 6.27.

Vor dem Versuch:

Links rechts (Anspannseite)

420 daN 636 daN

(In der Anlage 2 ist eine Nachrechnung der Reibungszahl zwischen Gurt und Fichtenholz mit diesen Werten eingefügt.)

Nach dem Versuch:

400 daN

674 daN (Abb. 6.22)



Abb. 6.24



Abb. 6.25



Abb. 6.26



Abb. 6.27

Ergebnisse zu Versuch 2.

Feststellungen (9):

1. Reibung Zurrmittel zu Stamm

Niederzurrkraftverlust zwischen rechter und linker Seite beim Spannen (420 daN und 636 daN) ist auf Reibung zwischen dem Niederzurrmittel und den Stämmen zurückzuführen.

2. Schrägzug aus Haftreibungszahlen

Die Nachrechnung der Haftreibungszahlen zwischen Stämmen und Gurt ergab einen Wert von 0,15. Der Wert liegt damit deutlich unter dem Wert des Versuchs 1. mit 0,33.

3. Anzugunterschiede nach Versuch

Nach dem Versuch sind die Unterschiede zwischen der rechten Seite vor und nach dem Versuch immer noch vorhanden. Der Wert rechts liegt nach dem Versuch etwas höher als vorher. Das kann so interpretiert werden, dass der Stapel nach geringem Verschub einseitig nicht mehr vollständig zurückgezogen wird.

4. Unvollständige Rückzugbewegung

In Versuch 1 ist erkennbar, dass die Zugkraft links und rechts nach dem Versuch deutlicher und beidseitig höher bleibt!

Versuch 3. Kette einseitig vorgespannt

Abb. 6.28 zeigt das Zurrmittel.

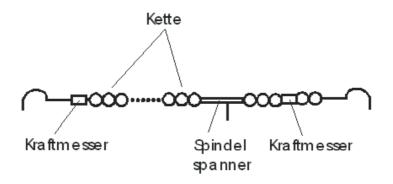


Abb. 6.28

Daten

Zurrmittelhersteller Fa. RUD Durchmesser 8 mm

LC 5000 daN, Abb. 6.29 und 6.30

STF 2500 daN





Abb. 6.29 Abb. 6.30

Versuchsablauf

Vor dem Bremsversuch wurde das Spannmittel gespannt. Die Vorspannung betrug in Fahrtrichtung:	Links	rechts
Neck cinican Minutes many dia Weste ak accomban and	920 daN	676 daN
Nach einigen Minuten waren die Werte abgesunken auf:	790 daN	600 daN
Nach dem Fahren über eine Rüttelstrecke wurden folgende Werte gemessen:	250 daN	466 daN
Vor dem Bremsversuch wurde erneut auf folgende Werte nachgezogen:	682 daN	380 daN.
Das Fahrzeug wurde dann aus 62 km/h mit ca. 0,75 g verzögert. Es ergaben sich folgende Werte:	520 daN	270 daN

Ergebnisse zu Versuch 3

Feststellungen (10):

1. Einfluss Dehnungsverhalten Kette

Eine Kette hat im Verhältnis zu einem Gurt eine relativ geringe Dehnung. Die Anzugwerte bleiben trotzdem nicht "stehen". Gerade wegen der geringem Dehnung fällt die Vorspannung so schnell ab. Ein Zentimeter "Setzung" hat bei 1% Dehnung gegenüber 4% Dehnung den 4-fachen "Effekt".

2. Niederzurrwirkung

Ein Stamm ist aus einer Kaverne, die sich an einer Runge gebildet hatte, fasst vollständig herausgerutscht (ca. 2 m). Stämme, die so weit herausrutschen, können auch ohne weiteres ganz herausfallen, Abb. 6.11.

3. Nachlassen Zurrmittelkraft nach Fahrt

Durch die Form und insbesondere durch die Struktur und Festigkeit des Holzes konnte mit dem Zurrmittel die Vorspannung auf keinem konstanten Wert gehalten werden. Beim Fahren auf einer Rüttelstrecke und mehrfachem Nachspannen (im Fall des Versuchs 1 sogar beidseitig) war es nicht möglich eine konstante Vorspannung in das Zurrmittel einzubringen. Deutlich war zu beobachten, dass bei einer Kettenzurrung durch ihre geringere Elastizität, die eingebrachte Vorspannung besonders stark wieder absackte.

4. Rückhaltewirkung

Einige der Stämme verrutschen aus dem Stapel 30 bis 60 cm:

- 1. Oben liegende Stämme,
- 2. Stämme aus Kavernen in der Mitte des Stapel und
- 3. Stämme aus Kavernen an der Seite zu einer Runge.

Die Niederzurrung erfasst einige Stämme nicht, weil die Kette die Kräfte nicht auf die andere Seite weiterleitet und die Niederzurrkräfte nicht gleichmäßig durch den Stapel "hindurchlaufen".

5. Fortpflanzungswirkung durch den Stapel

Bei allen Versuchen mit Zurrmittel ist die Fortpflanzung der Niederzurrkraft durch den Stapel unsicher. Es kam auch zu Stammverschüben, wenn mit einer Kette niedergezurrt wurde und hohe Vorspannkräfte aufgebracht wurden.

7. Ladungsbewegungen

7.1 Einleitung

Um zu untersuchen, wann sich ein Stamm bei einer Linienauflage in Bewegung setzt und wie die Bewegungsgrößen Geschwindigkeit, die Beschleunigung und die Verzögerung in Abhängigkeit von der Zeit verlaufen, wurde ein Versuchsaufbau nach Abb. 7.1 konzipiert.

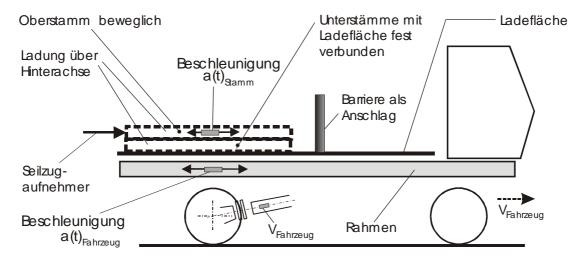


Abb. 7.1

7.2 Versuchsdurchführung

Die Signale der a-Verläufe und des Weges der Ladung sowie der Fahrzeugverzögerung wurden zeitgleich aufgezeichnet. Über die zeitliche Abfolge kann unter Umständen zwischen Ursache und Wirkung unterschieden werden. Es wurden Fichtenstämme verwendet. Abb. 7.2 zeigt den Versuchsaufbau auf dem LKW.



Abb. 7.2

Der Stamm (Fichte) oben war durch eine Führung mit Abstand so geführt, dass er linienartig auf dem Unterstamm (Fichte) lag.

7.3 Ergebnisse

7.3.1 Messschriebe

In den Versuchen konnten zwei größere Ladungsbewegungen festgestellt werden. Abb. 7.3 und 7.4 zeigen die vollständigen Messschriebe aus den Bremsversuchen 201 und 401.

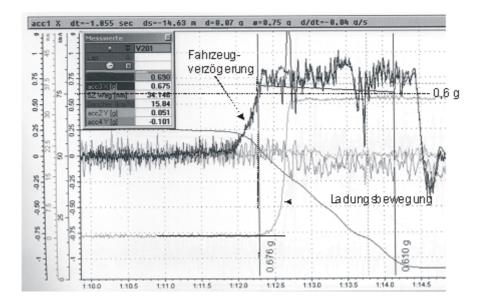


Abb. 7.3. Versuch 201

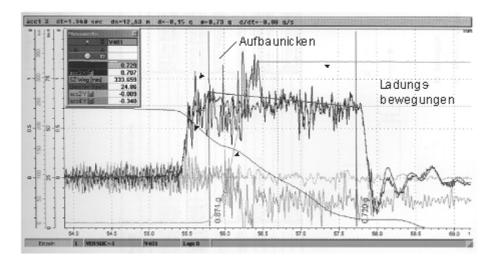
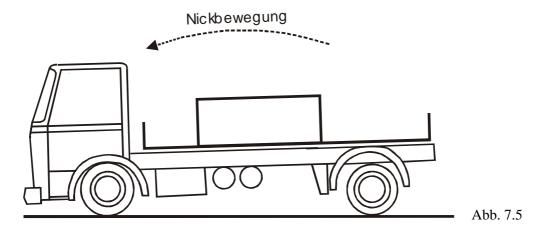


Abb. 7.4. Versuch 401

Beide Messschriebe zeigen Ladungsbewegungen, die von einem Bremsvorgang ausgelöst wurden. Es waren stets gleich:

- 1. Stamm linienförmig auf Stamm (Fichte), Abb. 7.2,
- 2. Ausgangsgeschwindigkeit des Fahrzeugs ca. 60 km/h,
- 3. Fahrzeugverzögerung in beiden Fällen ca. 7,5 m/sec² und
- 4. Geradeausbremsung.



7.3.2 Begriffe

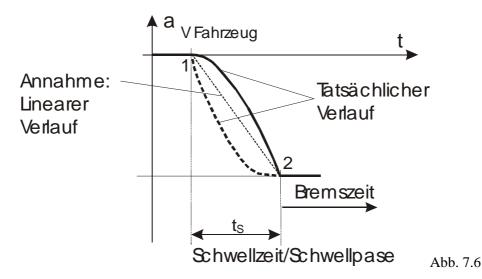
1. Nicken

Eines der großen Probleme der Bremstechnik an Straßenfahrzeugen hat sein Begründung darin, der Schwerpunkt des Fahrzeugs immer oberhalb der Fahrbahn liegt. Dadurch kommt es zu einer Gewichtsverlagerung beim Bremsen auf die Vorderachse bei gleichzeitiger Entlastung der Hinterachse. Diesen Vorgang bezeichnet man als "Nicken", Abb. 7.5.

Im Versuch 201 wurde ein Ladungsverschub von ca. 34 mm erreicht, im Versuch 401 dagegen von ca. 334 mm. Die Bremsung im Versuch 401 hat eine starke Aufbaubewegung nach vorne zur Folge, die eine Ladungsbewegung ausgelöst hat.

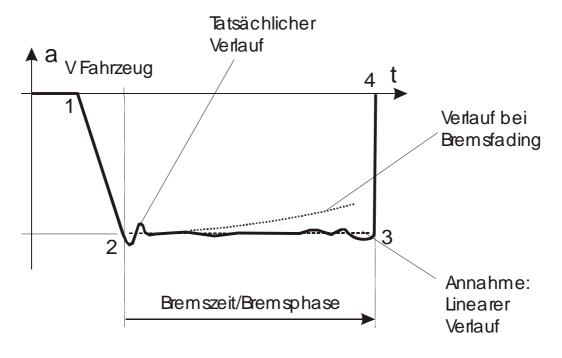
2. Schwellzeit

In der Unfallanalytik wird ein Bremsvorgang eines Straßenfahrzeugs bei Geradeausfahrt nach einem Verkehrsunfall nach dem sog. "Kölner Modell" [8] untersucht. Danach wird in eine Phase "Schwellzeit" und eine Phase "Bremszeit" unterschieden. Die Bremsung wird in der Schwellzeit linear ansteigend angesetzt, Abb. 7.6. Der Verzögerungsvorgang wird entsprechend der Vergehensweise der Physik negativ gewählt.



3. Bremszeit

Nach der Schwellphase eines Bremsvorganges folgt die sog. die Bremsphase, Abb. 7.7.



4 Fahrzeugstillstand

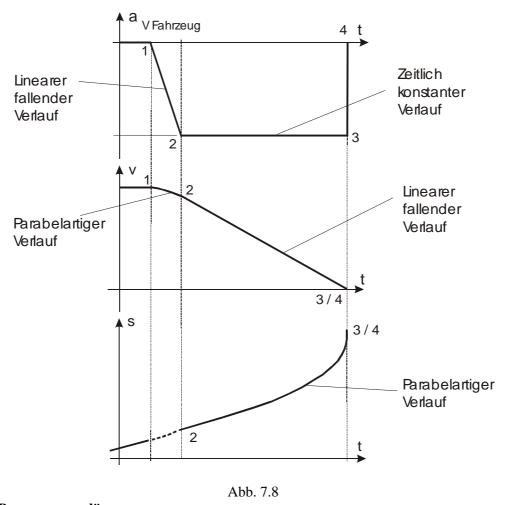
Abb. 7.7

Die Bremsphase wird nach dem Kölner Modell mit einer konstanten Verzögerung angesetzt. Für voll ausgeladenen Nutzfahrzeuge kann eine Verzögerung von ca. 7,5 m/sec² (entspricht 0,75 g) angesetzt werden. Aus einer Geschwindigkeit von 85 km/h wird dann ein Bremsvorgang von Punkten (2) bis (4) ca. 3,1 sec dauern. Zur Zeit kann für einen auf 40 Tonnen ausgeladenen Sattelzug eine Verzögerung von etwa 8,2 m/sec² mit einem Bremsweg von 37 m erreicht werden [9].

Der Verlauf wird nicht konstant sein, wenn die Bremswirkung infolge von thermischer Überlastung (z. B. Bremsfading bei einer Passfahrt) nachlässt.

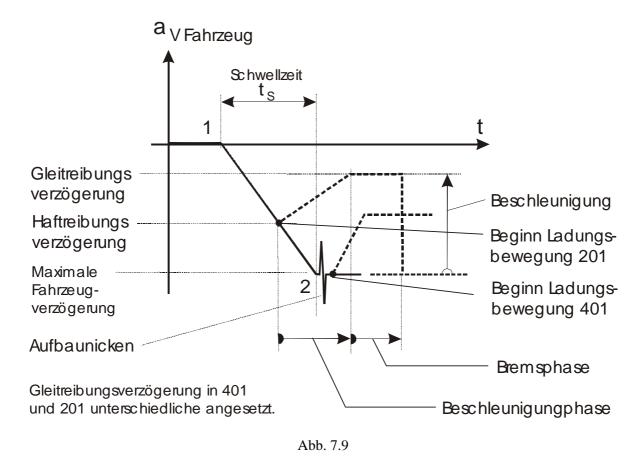
4. Geschwindigkeits- und Wegverlauf

Abb. 7.8 zeigt die entsprechenden Kurvenverläufe (Geschwindigkeit und Weg) in ihrer Zeitabhängigkeit nach dem "Kölner Modell" [10] in der Gegenüberstellung.



7.3.3 Bewegungsauslösung

Bei 2 Versuchen, 201 und 401, kam es zu Ladungsbewegungen. Während im Versuch 201 der Beginn der Ladungsbewegung erwartungsgemäß bei der sog. Haftreibungsverzögerung in der Schwellphase lag, kam es im Versuch 401 erst durch die sehr kurze Schwellzeit zu einer Aufbaubnickbewegung mit der Folge einer Ladungsbewegung, Abb. 7.9.



Im Versuch 201 hatte der LKW eine "normale" Schwellzeit von ca. 0,5 sec, im Versuch 401 dagegen wird die Bremskraft an den Radbremsen bis Vollbremsbeginn in ca. 015 sec aufgebaut. Diese, für einen LKW ungewöhnlich kurze Schwellzeit, hat eine starke Nickbewegung des Aufbaus zur Folge. Durch das Nicken des Aufbaus nach vorn wird die Ladungsbewegung ausgelöst, wie das zeitgleich aufgenommene Weg-Zeit-Diagramm der Ladung zeigt.

Diese Zusammenhänge sind für eine Ausdeutung der mechanischen Vorgänge, die zum Lösen einer Ladung führen können, von fundamentaler Bedeutung.

In einer Literaturrecherche in [5] konnten in der deutschsprachigen Fachliteratur (einschließlich DDR) keine Untersuchungen zur Bewegungsauslösung von Ladungen gefunden werden.

7.3.4 Ergebnisse

Feststellungen (11):

1. Schwellzeit

Die Schwellzeit t_S in den beiden Versuchen ist sehr unterschiedlich. Während im Versuch 201, Abb. 7.10 eine Schwellzeit von ca. 0,5 sec vorliegt, ergibt sich für Versuch 401, Abb. 7.11 eine von ca. 0,1₅ sec. Aus [5] ist bekannt, dass eine kurze Schwellzeit eine Ladung früher in Gleitbewegung versetzt, als nach den Ausführungen in Kap 2.4 erwartet werden kann. In den Abb. 7.10 und 7.11 sind Ausschnitte aus den Originalschrieben wiedergegeben.

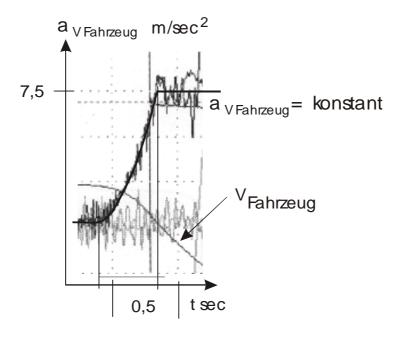


Abb. 7.10. (Versuch 201)

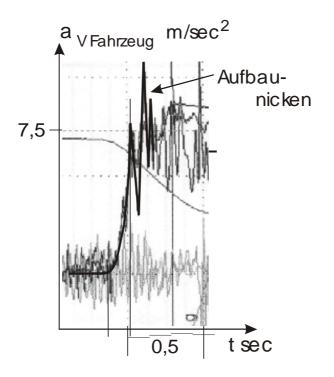


Abb. 7.11. (Versuch 401)

2. Nicken als Bewegungsauslösung

Der Nickvorgang löst in Versuch 401 die Ladungsbewegung aus. Die Nickbewegung wird zu einer Verringerung der Anpresskraft der Ladung auf die Unterlage führen. Eine Überschlagsrechnung hat ergeben, dass die Verringerung der Anpresskraft bei einem Aufbaunickwinkel von angenommenen 5 Grad in der Größenordnung von 15 bis 20 % liegen könnte und damit zu mindestens nicht allein ursächlich für die Bewegungsauslösung sein kann.

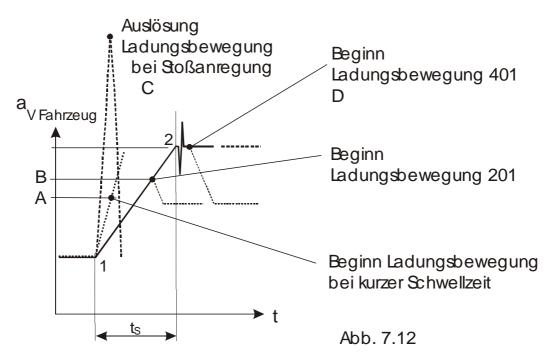
Unter Umständen liegt eine weitere Erklärung für diesen, um das 10fache größeren Gleitweg auch darin, dass der Stamm vor dem 2. Versuch leicht gedreht wurde, so dass die Stämme in einer "ungestörten" Linienberührung auf einander lagen.

3. Auslösung in Versuch 201

In Versuch 201 wird die Bewegung bei ca. 6 m/sec² (entspricht 0,6 g) ausgelöst. Die Haftreibungszahl für Fichte kann den Ergebnissen der Reibungszahlermittlung mit ca. 0.7_3 angesetzt werden. Damit liegt sie nahe dem g-Wertfaktor und stützt die These, dass die in Kap. 2.4 (Theorie) dargestellten Zusammenhänge zwischen Lösepunkt und Haftreibungszahl μ_H zutreffen. Das würde die Aussage zusätzlich stützen, dass für die Reibung Stamm auf Stamm in Linie Coulombsche Reibungsverhältnisse angenommen werden können.

4. Auslösung in 201/401 im Vergleich

Abb. 7.11 (Versuch 201, ohne Aufbaunicken) und 7.11 (Versuch 401, mit Aufbaunicken) zeigen nicht nur im Vergleich die Schwellzeiten der Fahrzeuge, sondern auch, dass die Ladungsbewegung erst durch das Nicken des Fahrzeugs begonnen hat. Bekannt war, dass eine Bewegungsauslösung durch Überschreiten der Haftreibungsverzögerung zustande kommen kann, 7.12. Das zu den bekannten Auslösungsszenarien, Abb. 7.11, noch eine weitere Auslösungsmöglichkeit existiert, wurde durch den Versuch erkannt.



Der Versuch hat gezeigt, dass es neben

- der Überschreitung der Haftreibung (B),
- einer kurzen Schwellzeit (A) und
- der Stoßanregung (C) eine weitere Anregungsvariante (D) gibt.

Wenn die Haftreibungszahl zwischen Ladung und Ladefläche sehr hoch ist, also über der Vollbremsverzögerung, kann es dennoch zu einer Ladungsbewegung kommen, wenn es einen starke Nickbewegung des LKW (D) gibt.

7.3.5 Weg-Zeit-Verlauf der Ladungsbewegung

Abb. 7.14 zeigt nochmals den Messschrieb aus Versuch 401.

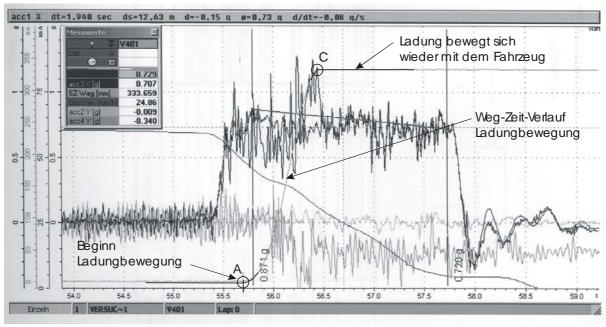
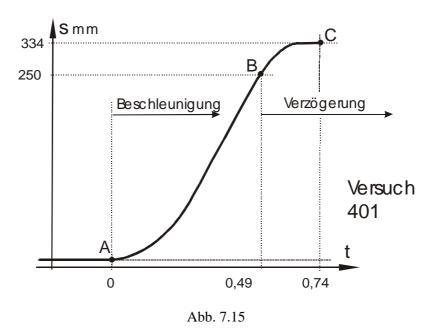


Abb. 7.14

Der in Abb. 7.14 dargestellte Weg-Zeit-Verlauf der Ladungsbewegung in Bezug zum Fahrzeug wird in Abb. 7.15 in idealisierter Form herausgezogen. Die Maßstäbe wurden verändert.



Die Gesamtbewegung von A nach C kann in eine Beschleunigungs- und in eine Verzögerungsphase eingeteilt werden. Für die Beschleunigungsphase wurde eine Zeit von 0,49 sec und ein Weg von 250 mm (aus Vergrößerung des Messschriebs) heraus gemessen.

Wird die Gesamtbewegung von A nach C in zwei Phasen eingeteilt, macht die Beschreibung der beiden Kurvenverläufe als Parabeln einen Sinn. Ein andere Möglichkeit wäre den Gesamtverlauf als eine Winkelfunktion zu verstehen. Bei Annahme einer Winkelfunktion ergeben sich aber bei einer weiteren mathematischen Behandlung grundsätzliche Probleme.

Damit können bei Annahme eines parabelartigen Verlaufs für beide Phasen Zwischenwerte für den Kurvenverlauf errechnet werden. Wird für die Beschleunigungsphase eine Zeit von $\Delta t = 0,4_9$ sec und ein Weg von 250 mm aus dem Diagramm entnommen, können bei Annahme eines parabelförmigen Verlaufs Zwischenwerte errechnet werden:

$$s = a t^{2} + b$$

$$bei s = 0 und t = 0 ergibt sich für b = 0$$

$$s = a t^{2}$$

$$bei s = 250 mm und t = 0,49 sec$$

$$ergibt sich für b = 1,041 mm/sec^{2}$$

$$s = 1,0_{42} m/sec^{2} \cdot t^{2}$$

$$(7.1)$$

In der Gegenüberstellung - aus (7.1) berechnete und aus dem Diagramm heraus gemessene Werte - ergeben sich die in der Übersicht 4 zusammengefassten Werte.

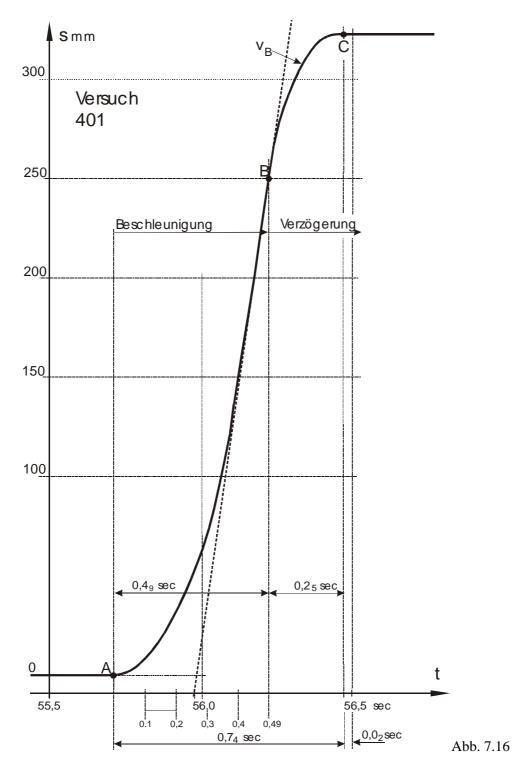
Übersicht 4

t sec	Errechneter Weg s in mm	Gemessener Weg s in mm
0	0	0
0,1	10,5	7
0,2	41,5	38
0,3	93,5	83
0,4	166	170
0,4 0,49	250	250

Anmerkung 1: Mit der Annahme einer Beschleunigungs- und einer Verzögerungsphase kommt es zu Interpretationsproblemen des mechanischen Geschehens. Denn es ist zunächst nicht erklärbar, warum es eine Beschleunigungsphase überhaupt gibt. Die Phase mit Zeitdauer von 0,49 Sekunden kann als Übergang von der Haft- in die Gleitreibung verstanden werden. Die Beschleunigung der Ladung in dieser Phase ergibt sich aus der Differenz zweier negativer Verzögerungen.

Anmerkung 2: Wird der Übergang im Verzögerungs-Zeit-Diagramm, Abb. 7.9, linear angenommen, müsste dann allerdings im Weg-Zeit-Diagramm eine überquadratische Parabel angesetzt werden!

Auch für die Bremsphase wird ein parabelartiger Verlauf angenommen. Abb. 7.16 zeigt den gesamten Bewegungsablauf des Stammes in Versuch 401 (maßstäblich, aber in einem anderen Maßstab) als in Abb. 7.15.



7.3.6 Geschwindigkeitsverlauf von A nach B

Wird Gleichung (7.1) differenziert, ergibt sich der Geschwindigkeits-Zeitverlauf aus:

$$s = 1,041 \text{ m/sec}^{2} t^{2}$$

$$s = 1,041 \text{ m/sec}^{2} t^{2}$$

$$v = \frac{ds}{dt} = 2 \cdot 1,041 \cdot t^{2-1}$$

$$v = 2,082 \text{ m/sec}^{2} \cdot t \tag{7.2}$$

Damit kann für den Wendepunkt der Kurve (B) (Ende der Beschleunigungsphase) die Geschwindigkeit errechnet werden.

$$v_B = 2,082 \text{ m/sec}^2 \cdot 0,49 \text{ sec}$$

 $v_B = 1.02 \text{ m/sec}$

 v_B lässt sich auch über eine Tangente in B errechnen. Wenn für s=0,25 m und t=0,25 sec aus dem Diagramm heraus gemessen werden, ergibt sich:

$$v_{B} = \frac{s}{t} = \frac{0.25 \text{ m}}{0.25 \text{ sec}}$$
 $v_{B} = 1.0 \text{ m/sec}$

7.3.7 Beschleunigung von A nach B

Die Beschleunigung der Ladung relativ zum Fahrzeug kann durch Differenzieren aus (7.2) errechnet werden, da der a-Verlauf von A nach B über der Zeit konstant verläuft.

$$a = 2.082 \text{ m/sec}^2$$
 (7.3)

oder aus

$$a = \frac{V^2}{2 s}$$
 bei gleichförmiger Beschleunigung

(Wenn $v_0 = 0$ gesetzt wird und a = konstant ist.)

$$a = \frac{1,02^2 \text{ m}^2}{2 \text{ sec}^2 0,25 \text{ m}}$$
$$a = 2,0_8 \text{ m/sec}^2$$

Im Abschnitt von A nach B ergibt sich damit eine konstante Beschleunigung a_B von ca. 2 m/sec². Dieser Zeitraum kann auch als der Übergang von der Haft- in die Gleitreibung interpretiert werden.

Bei gleichförmiger Beschleunigung kann damit auch der Weg s aus

$$s = \frac{v^2}{a}$$

errechnet werden.

7.3.8 Verzögerung von B nach C

Aus dem Schrieb kann bei einem Bremsweg von 84 mm eine Bremszeit von ca. 0,25 sec entnommen werden, Abb. 7.17.

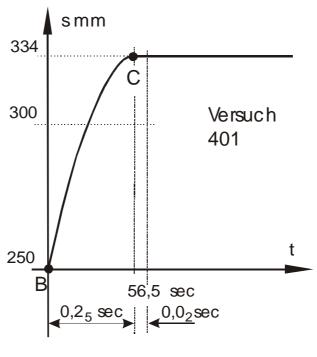


Abb. 7.17

Für eine nach unten offene Parabel (von B nach C) kann allgemein angesetzt werden:

$$x^{2} = -2 p y$$
 oder
$$t^{2} = -2 p s$$
 für $\Delta t = 0.25 \sec u$ und $\Delta s = 0.084 m$
$$0.25^{2} = -2 p 0.084 \text{ wird } p = 0.3720 \frac{\sec^{2} m}{m}$$

$$s = -\frac{1}{2 p} t^{2}$$

$$s_{BC} = -1,344 \text{ m/sec}^2 \cdot \text{ t}^2$$

 $v_{BC} = -2,688 \text{ m/sec}^2 \cdot \text{ t}$
 $a_{BC} = -2,688 \text{ m/sec}^2$

Damit liegen wesentliche Punkte im Abschnitt BC vor. Werden nach dem "Kölner Modell" die Bewegungsgrößen in ein Verzögerungs-Zeit-, ein Geschwindigkeits- und Weg-Zeit-Diagramm eingezeichnet, ergeben sich die in Abb. 7.18 dargestellten Verhältnisse. In Abb. 7.18 ist zusätzlich die Ladungsbewegung eingezeichnet.

Feststellungen (12)

1. Parabelartiger Verlauf (Übersicht 3)

Werden die Ungenauigkeiten der heraus gemessenen Werte berücksichtigt, ergibt sich eine gute Übereinstimmung der gemessenen mit den errechneten Werten. Damit kann für die Beschleunigungsphase ein parabelartiger Verlauf im Weg-Zeit-Diagramm für die Paarung Kurzholz auf Kurzholz als ausreichend sicher angesetzt werden.

2. Coulombsche Reibung

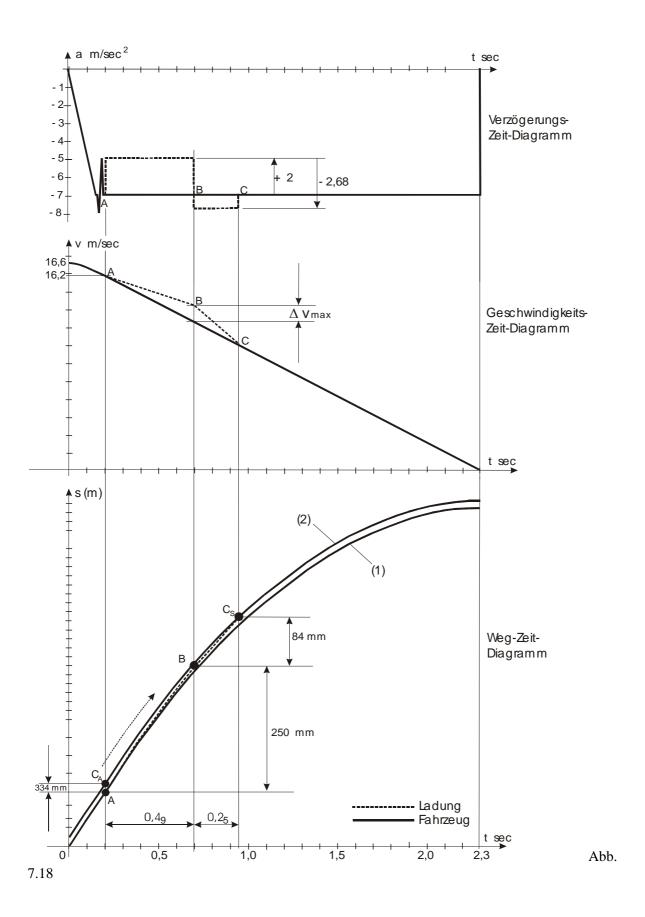
Die Auswertung der Schriebe zeigt, dass mit technischer Genauigkeit von zeitlich konstanten Verzögerungsverläufen ausgegangen werden kann. Damit kann für Holz und andere Reibpaarungen von Coulombscher Reibung ausgegangen werden.

3. Maximale Geschwindigkeit

Die maximale Geschwindigkeit der Ladung relativ zum Fahrzeug ergibt sich mit $\Delta v_{max} = 1$ m/sec.

4. Abschätzung Aufprallgeschwindigkeit

Die hier erstmals mit dieser Messung erkannten und in Abb. 7.18 dargestellten Zusammenhänge erlauben es, in den Fällen, in denen eine länger einwirkende Kraft auf die Ladungsmasse wirkt und es infolge dessen zu Ladungsbewegungen kommt, im Nachhinein mit einfach zu ermittelnden Ausgangsgrößen die Aufprallgeschwindigkeit einer Ladungsmasse auszurechnen oder zumindest hinreichend genau abschätzen zu können.

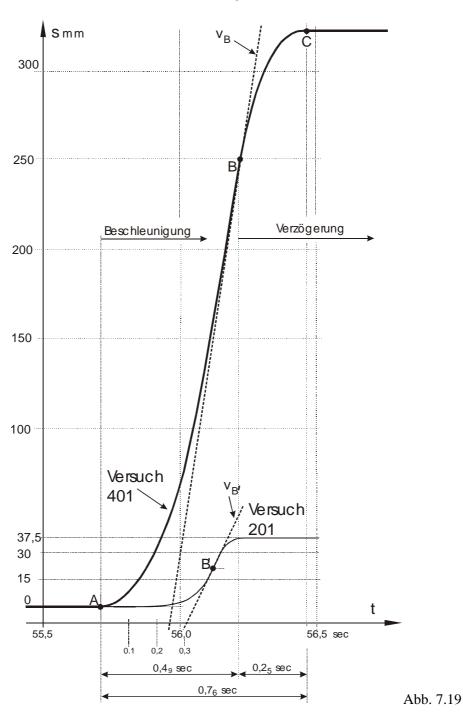


7.3.8 Versuch 401 und 201 im Vergleich

Abb. 7.19 zeigt die Weg-Zeit-Diagramme von Versuch 401 und 201 im Vergleich.

Für die Geschwindigkeit und die Beschleunigung von A nach B´ ergibt sich unter Berücksichtigung der Zeichnungsmaßstäbe eine Wendepunktsgeschwindigkeit von ca. 0,3₃₆ m/sec und aus Gl. 7.2 ergibt eine konstante Beschleunigung von

$$a_{AB} = 2.5_9 \text{ m/sec}^2$$
.



Feststellungen (13):

1. Maximale Geschwindigkeit

In Versuch 201 liegt die maximale Geschwindigkeit bei ca. 0,33 m/sec. Sie liegt damit bei etwa einem Drittel der Geschwindigkeit in Versuch 401.

2. Maximaler Weg

Offensichtlich ist die Ablösung der Ladung durch einen Nickvorgang wegen der größeren Wege kritischer anzusehen als der langsame in 201.

3. Schwellzeitdauer

Ob es zu einem Nickvorgang (geringe Beladung!) gekommen sein könnte, kann aus der Schwellzeit geschlossen werden. Die Schwellzeit müsste aus dem Tachoaufschrieb herausgelesen werden.

8. Ermittlung der Reibbeiwerte μ

8.1 Ausgangssituation und Zielstellung der Untersuchungen

Die Kenntnis des Reibbeiwertes μ zwischen gestapelten Ladegütern ist eine maßgebliche Voraussetzung zur ausreichenden und effektiven Ladungssicherung. Für die Ladungssicherung von Kurzholz besteht diese Voraussetzung bisher nicht. Ziel der Untersuchungen ist es, den Reibbeiwert zwischen gestapelten Kurzholzstämmen zu bestimmen.

Entsprechend der spezifizierten Aufgabenstellung vom 27.05.2004 waren die Reibbeiwerte für Kurzholz

- 1. in Linienberührung (Prüfstücke liegen Stamm auf Stamm) und
- 2. in Sattellage (informativ)

zu ermitteln.

Für die Messungen sind Rundhölzer in Verladelänge (ca. 2,0 bis 2,5 m) eingesetzt worden, die dem Zustand "ideal", d.h. nahezu zylindrisch, ohne Verdickungen und ohne Astansätze, möglichst nahe kamen.

Die Messungen wurden auf der vom Auftragnehmer in Dresden vorhandenen Messeinrichtung vorgenommen. Die durchgeführten Messungen berücksichtigten einschlägige Normen und Richtlinien. Messanlage und Durchführung der Messungen sind vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit (BIA), Sankt Augustin, als ordnungsgemäß bestätigt worden.

8.2 Ermittlung der Reibbeiwerte

8.2.1 Zu messende Größen

Der Reibbeiwert μ lässt sich aus einem einfachen mechanischen Modell bestimmen (Gl. 1 und Abb. 8.1). Er ist nicht direkt messbar, sondern er lässt sich nur aus dem Verhältnis von **Reibungskraft** F_R zu **Normalkraft** F_N berechnen. Zu messen sind folglich diese beiden Kräfte.

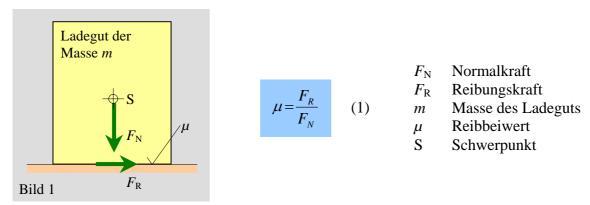


Abb. 8.1 Die Normalkraft entspricht hier der Gewichtskraft.

Die Größe der μ -Werte hängt von den Werkstoffen der einander berührenden Flächen ab. Um außerdem mögliche Umwelteinflüsse (Temperatur, Feuchtigkeit) beurteilen zu können, werden während der Messungen auch diese Parameter aufgenommen.

8.2.2 Messeinrichtung

Die Messungen wurden auf einer Messanlage (Abb. 8.2) im Labor unter praxisnahen Bedingungen durchgeführt.

Die Messanlage hat folgende Parameter:

• Verschiebegeschwindigkeit (einstellbar mit Frequenzumformer)

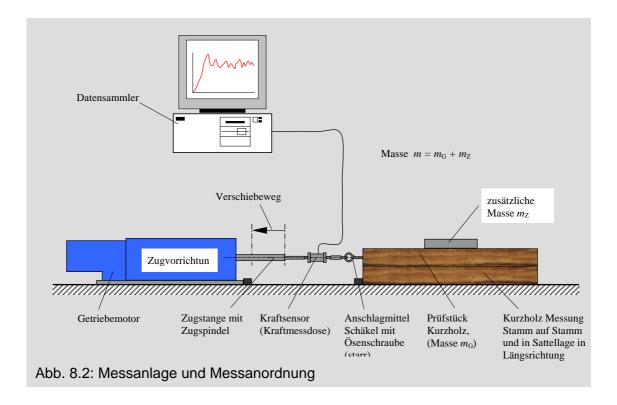
10 bis 100 mm/min

• Verschiebeweg bis 180 mm

• maximale Zugkraft (Verschiebekraft) 18 kN

Zur Durchführung der Messungen wurde die Verschiebeeinrichtung verankert, um deren Lageveränderung zu verhindern. Die verschiedenen Prüfstücke wurden mit Hilfe der Zugvorrichtung Stamm auf Stamm in Linienberührung, bzw. in Sattellage gezogen. Die Zugkraft (Reibungskraft) wird mittels Kraftsensor gemessen und im PC erfasst, die Masse der Prüfstücke sowie der Zusatzgewichte wird durch Wiegen bestimmt.

Die mittels Kraftsensor während des Zugvorgangs gemessene Zugkraft wird mit einer Abtastrate von 0,02 s (50 Messungen/s; andere Messraten sind möglich) aufgezeichnet. Beispielhaft ergeben sich mit einer Verschiebegeschwindigkeit von 100 mm/min und einem Verschiebeweg von 180 mm bei einer Abtastrate von 0,02 s für einen Messvorgang 5400 Messwerte. Die Messergebnisse werden über Zwischenstufen als Excel-Tabelle dargestellt und stehen so zur Weiterbearbeitung zur Verfügung. Unmittelbar im Anschluss an die Messung kann die Plausibilität der Messergebnisse überprüft werden. Falls erforderlich, wird die Messung wiederholt. Diese Wiederholung kann sofort, aber auch zu einem späteren Zeitpunkt unter vergleichbaren Bedingungen stattfinden.



8.2.3 Auswahl und Vorbereitung der Prüfstücke

Die in Punkt 1 erwähnten Rundhölzer sind ca. 2 m lange Rundholzstücke (Verladelänge) mit Durchmesser zwischen 170 und 250 mm. Sie haben möglichst keine Verdickungen, sind nahezu zylindrisch und haben kaum Astansätze. Diese Anforderungen sind bei den angelieferten Prüfstücken erfüllt.

Das Anschlagmittel für das Prüfstück besteht aus einer Ösenschraube, die in das Rundholz eingebracht wurde. Anschlagmittel, Kraftmessdose und Zugstange sind durch Schäkel verbunden. Diese Verbindung kann in Zugrichtung als ausreichend starr angesehen werden.

8.2.4 Untersuchte Reibpaarungen

In der einschlägigen Literatur werden je Reibpaarung 3 bis 5 Messungen als ausreichend angesehen, um aussagefähige Ergebnisse zu erzielen. In dieser Messreihe wurden je Reibpaarung 4 Messungen durchgeführt.

Für die Paarungen "nass" wurden Prüfstück und Ladefläche mit Wasser gründlich angefeuchtet und die Messungen danach sofort ohne Wartezeit ausgeführt.

Tabelle 1: Untersuchte Reib-Paarungen

Holzart und Zustand	Auflagefläche		
	Stamm auf Stamm	Sattel aus gleichem Holz	
	Linienberührung	Nur Kiefer	
Kiefer in Rinde, lufttrocken	6 Paarungen	2 Paarungen (Kiefer)	
Kiefer in Rinde, regennass	1 Prüfstückart (2 m)	1 Prüfstückart (2 m)	
Fichte in Rinde, lufttrocken	2 Prüfstücke je Paarung	2 Prüfstücke je Paarung	
Fichte in Rinde, regennass	4 Messungen je Prüfstück in 3 Phasen	4 Messungen je Prüfstück	
Lärche in Rinde, lufttrocken		in 3 Phasen	
Lärche in Rinde, regennass		in a rinasen	

8.2.5 Messdurchführung

Die Messungen wurden mit der in Punkt 2.2 beschriebenen Einrichtung – in Abb. 8.2 schematisch dargestellt – durchgeführt. Der zu ziehende Stamm wurde größtenteils mit einem Zusatzgewicht von 50 kg belastet. Grund hierfür war, dass bei vorgenommenen Testversuchen durch das geringe Gewicht des zu ziehenden Stammes keine verwertbaren Ergebnisse erzielt werden konnten. Die teilweise höhere Belastung mit 150 kg musste verringert werden, da eine Gefährdung der Versuchsdurchführung nicht auszuschließen war (Verletzungsgefahr durch Abrutschen der Zusatzgewichte, häufiger Abbruch des Zugversuchs wegen der Drehung des gezogenen Stammes beim Ziehen). Die Messungen in Sattellage und teilweise bei der Lage Stamm auf Stamm in Linienberührung wurden in 3 Phasen geteilt: Nach einem Verschiebeweg von ca. 60 und 120 mm ist der Zug kurzfristig unterbrochen worden. Im Rahmen des Einzelversuchs konnten damit 3 Haftreibbeiwerte und 3 Gleitreibbeiwerte ermittelt werden. Jeder Versuch wurde im Zustand "trocken" und "nass" (siehe Punkt 8.2.4) durchgeführt. Die unteren Stämme wurden gegen Verrutschen in Längsrichtung durch einen Anschlag gesichert. Außerdem sind diese durch Bauklammern verbunden worden. Nach jedem Versuch wurden die Hölzer in ihrer Längsachse gedreht, Abb. 8.3.



Abb. 8.3

8.3 Auswertung der Messungen

Aus den Messergebnissen ist die Zusammenfassung der ermittelten Reibbeiwerte für die untersuchten Paarungen zusammengestellt.

In der folgenden Tabelle 2 sind die Minimalwerte der jeweiligen untersuchten Reibpaarungen und die empfohlenen Gleitreibbeiwerte dargestellt.

Tabelle 2: Zusammenfassung Minimalwerte und empfohlene Gleitreibbeiwerte.

Reibpaarung		Gleitreibbeiwert μ ; Kurzholz (Industrieholz)		
Prüfstück Unterlage		Zustand Paarung		Empfohlener
Holzart Stammlänge		lufttrocken	regennass	Gleitreibbeiwert
Kiefer	Einzelstamm (Linie)	0,42	0,31	0,31
Kiefer	2 Stämme (Sattellage)	0,63	0,81 1)	0,01
Fichte	Einzelstamm (Linie)	0,33	0,41	0,33
Lärche	Einzelstamm (Linie)	0,20	0,30	0,20

1) Klemmschluss

Literatur/Quellen: [11, 12, 13]

9. Rückschlüsse aus den Versuchsergebnissen

9.1 Einleitung

In den folgenden Ausführungen sollen die Ergebnisse des Forschungsvorhabens zusammengefasst und bewertet werden. Es sollen aber ebenso die Ergebnisse des Research Reports 077 und andere Erkenntnisse einfließen. Zunächst sollen die Brems-, Reibungszahluntersuchungen und Kurvenfahrversuche zusammengefasst werden. Aus diesen Feststellungen und Bewertungen wurden dann die "Empfehlungen für Sicherheitsmaßnahmen im Kurzholztransport auf Straßenfahrzeugen" (Anlage 4) abgeleitet.

In einem 2. Teil sollen dann in einer Gegenüberstellung die Fragen aus der Übersicht 3, Seite 19, mit den Versuchsergebnissen gebracht werden.

9.2 Versuchsergebnisse

9.2.1 Bewegungsarten

Ausgehend von der heutigen Sicherungstechnik von Kurzholzstämmen sind folgende Punkte entscheidend für das Transportrisiko:

- 1. Bewegungsarten, die möglich sind,
- 2. die Stautechnik auf dem Fahrzeug,
- 3. die Sicherung über Reibschluss und
- 4. die Sicherung über die Niederzurrung.

Deshalb sollen im Folgenden die Ergebnisse aus den Versuchen zu diesen Punkten zusammengefasst und bewertet werden.

Ein wesentlicher Punkt der Ladungssicherungsmaßnahmen für Kurzholz ist die Verhinderung von Eigenbewegungen in Bezug zum Fahrzeug, z. B. aus Brems- und Kurvenfliehkräften. In Abb. 9.1 sind die möglichen Bewegungsarten von Kurzholzstämmen skizziert.

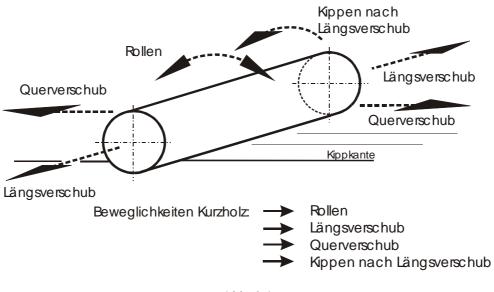


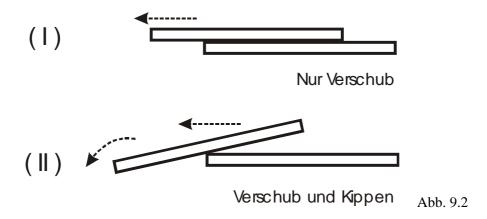
Abb. 9.1

Die GDV-Untersuchungen haben gezeigt, dass es entweder zu Bewegungen einzelner Stämme (Einzelstammbewegungen) oder zu Bewegungen eines ganzen Blocks (Blockbewegungen) von Stämmen kommen kann. Auch Rollbewegungen einzelner Stämme oder von Teilen eines Blocks sind möglich.

1. Einzelstammbewegungen

Ein einzelner Stamm kann nach den Versuchserkenntnissen drei verschiedene Bewegungsarten ausführen:

- 1. Verschub,
- 2. Verschub mit Kippen, Abb. 9.2 und
- 3. Rollbewegung mit einem Querverschub.



Einzelstammbewegungen konnten nur bei Längsverladung festgestellt werden. Sie kommen nur bei hohen a-Werten (= Beschleunigungen, Verzögerungen) vor. In den in Kap. 7 beschriebenen Versuchen traten nur bei a-Werten ab 6 bis 7,5 m/sec² Bewegungen auf. In diesem Versuch kann damit die Haftreibungszahl von Fichtenstämmen in Linienauflage mit etwas über $\mu=0,6$ angesetzt werden. Im Gegensatz dazu wurde in den Versuchen von HSE eine Abladung (Holz auf Holz) bei einer Querbeschleunigung unter 4m/ sec² ermittelt. Das entspricht einem Haftreibungszahl $\mu=0,4.$ Erkennbar ist, dass die Haftreibungszahl damit zwischen 0,4 und 0,6 liegen kann.

Dass es auch zu Einzelstammbewegungen entgegen Fahrtrichtung kommen kann, zeigt die Abb. 1 in der Anlage 3. Dieser Zwischenfall wurde während der Ausarbeitung dieser Versuche bekannt.

Einzelstammbewegungen konnten nur aus Kavernen heraus festgestellt werden. Kavernen kommen bei Längs- und bei Querverladung (siehe Abb. 6.1 bis 6.3) vor. Im wesentlichen müssen Stämme in Linienauflage in einer Kaverne liegen, damit sie durch z. B. hohe Verzögerungen in Bewegung gebracht werden können.

Einzelstammbewegungen konnten bei den Kurvenfahrversuchen mit Querverladung nicht festgestellt werden. Der Grund dafür könnte sein, dass

- 1.) die Haftreibungszahl zwischen Holz und Ladefläche mit kleiner als 0,47 (Feststellung 1. Punkt 1., Seite 27) unter der obigen Haftreibungszahl zwischen Hölzern von 0,4 bis 0,6 lag und
- 2.) in den festgestellten Kavernen (vier bei den Kurvenfahrversuchen) die Stämme im Sattel lagen. Außerdem haben Unfallauswertungen (siehe Abb. 6.1 bis 6.3) gezeigt, dass Einzelstammabladungen aus Vollkavernen möglich sind.

Eine weitere Möglichkeit Einzelstämme vor Erreichen der 0,5 g in Bewegung zu setzen, ist durch weitere Querbeschleunigungen gegeben, wie sie durch das Überfahren von einseitigen Hindernissen gegeben ist. Ein derartiger zusätzlicher Querstoß könnte auch hier eine Einzelstammbewegungen auslösen!

Blockbewegung

Neben der Bewegung von Einzelstämmen kam es in den englischen und in den GDV /BGF - Versuchen bei Kurvenfahrt zum Ausbrechen von "Blöcken" von quer verladenen Stämmen im hinteren Bereich des Aufliegers. Im Folgenden soll unter einem Blockverschub entweder eine Teilblockverschub oder ein Komplettblockverschub verstanden werden.

Abb. 9.3 zeigt einen Ausbruch eines Teils der Stammladung (RR 077). Als Teilbockverschub soll im Folgenden ein Verschub zwischen einem Block von Stämmen zu Stämmen verstanden werden.



Abb. 9.3

Der Teilblock verschiebt sich zunächst seitwärts und kippt dann heraus. Insofern können Stämme auch kippen. Von Einfluß ist hier die Auslegung des Fahrwerks (Luftfeder - Blattfeder, Federspur, Stabilisator).

Der Versuch und das Ergebnis zeigen, dass eine Blockbewegung und damit aber auch die Bewegung eines einzelnen Kurzholzes bei Kurvenfahrt unter 0,5 G Beschleunigung möglich ist.

In den GDV-Versuchen dagegen kam es zu einem Herausrutschen der kompletten, quer verladenen Ladung ohne ein Kippen, Abb. 9.4. Die Fotoaufnahmen der "Komplettblockabladung" lassen eher auf eine reine Verschubbewegung schließen.



Abb. 9.4

Da von einer Abladung im Block eine größere Gefährdung ausgeht als von einer Einzelabladung erscheint die Querverladung als die risikoreichere. Abb. 9.5 stellt die Teilblock und die Komplettblockabladung nochmals gegenüber.

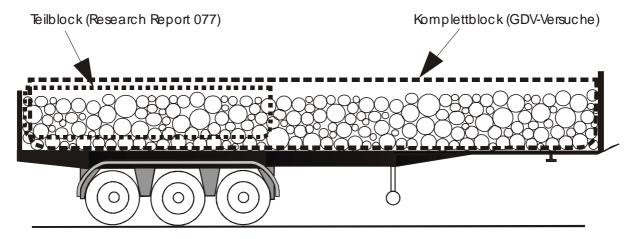


Abb. 9.5

Der Zusatz "Komplett-" soll ausdrücken, dass der Block auf der Ladefläche gleitet und nicht auf anderen Stämmen. "Komplett-" soll nicht ausdrücken, dass immer die gesamte Ladung von der Ladefläche rutscht. Bei der Teilblockabladung dagegen kommt es zu einer Verschiebung zwischen Stämmen, bei der Komplettblockabladung zwischen Stämmen und Ladefläche. Die Begriffe "Teil-" und "Komplett-" sollen auch nicht die Bewegungsart erfassen. Es muss sich dabei nicht nur um Längsverschub handeln, sondern es soll auch das Rollen und der Querverschub erfasst werden.

Teilblock- und Komplettblockabladung bei Längsstauung konnten in den Versuchen nicht festgestellt werden. Hier kam es nur zu Einzelstammbewegungen. Von Einfluss könnte sein, dass die Stapelbreite durch die Fahrzeugbreite beschränkt ist. Zwischen den Rungen wird ein Klemmeffekt wirksam sein. Daraus kann auch der Schluss gezogen werden, dass auch bei Querverladung in einzelnen Stapeln von ca. 2,5 bis 4 m Länge (siehe Abb. 9.7, Seite 76) ein deutlich geringeres Abladungsrisiko bestehen wird.

3. Rollbewegungen

Bei einem Bremsversuch mit querverladenen Stämmen auf einem Sattelauflieger kam es zu einer schwallartigen Ladungsbewegung gegen die Stirnwand. Die Stirnwand hielt die dynamischen Kräfte aus. Ein Überrollen der Stirnwand durch obenliegende Stämme konnte nicht beobachtet werden.

Die Stämme machten dabei teilweise eine Rollbewegung, die aber auch mit einem Querverschub der gesamten Ladung verbunden war. Diese Bewegungen können ebenfalls der Bewegung eines Blocks (Komplettblock/Teilblock) zugeordnet werden. Die Verzögerung betrug 0,5₂ g.

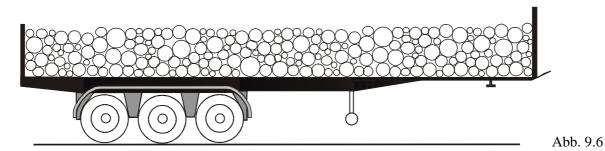
9.2.2 Stautechnik

1. Querverladung in einem Block

Wegen der Möglichkeit von Teil- und Komplettblockabladungen ist nach diesen Versuchsergebnissen eine Querverladung ohne Zusatzmaßnahmen wegen des Abladungsrisikos bei Querbeschleunigungen sogar unter 0,5 g nicht vertretbar. Die Versuche des GDV haben auch gezeigt, dass eine Längsniederzurrung ohne rückhaltende Wirkung bleibt, Abb. 9.3. Auch die Beischwichtung (Niederzurrung, die quer über die längs über die Ladung laufenden Gurte gespannt wird.) der Längsgurte in den englischen Versuchen hatte keine Wirkung. Die "Einspreizung" zwischen Rungen, wie bei einer Längsverladung zwischen Kavernen, geht bei langen Stapeln zwischen einer Stirn- und Heckwand "verloren".

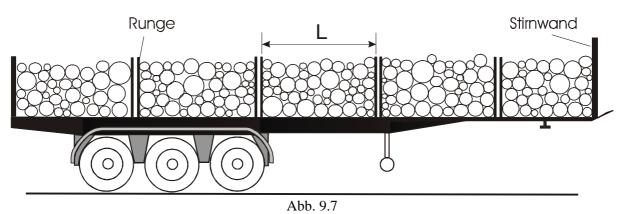
Und berücksichtigt werden muss, dass bei einer seitlicher Abladung von Stammblöcken eine große Verkehrsfläche betroffen ist!

Bei der Querverladung in einem Block, Abb. 9.6, konnte bei Bremsungen "Schwall" von Stämmen gegen die Stirnwand beobachtet werden.



2. Querverladung in einzelnen Stapeln

Die Querverladung in Stapeln nach Abb. 9.7 wurde nicht untersucht, weil zur Zeit der Versuche die Bewegungsarten, wie sie hier beschrieben werden, nicht bekannt waren. Allerdings wird hier der Einspreizeffekt zwischen Rungen wirksam sein, wenn der Rungenabstand L von ca. 4 m²) nicht überschritten wird. Zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen gegen Einzelstammbewegungen aus Kavernen werden aber trotzdem nötig sein.



2) Der noch mögliche Abstand wurde nicht untersucht. 4 m werden für noch vertretbar gehalten.

3. Längsverladung

Bei der Längsverladung nach Abb. 9.8 kommt durch die seitlichen Rungen ein "Einspreizeffekt" zwischen den Rungen zustande.

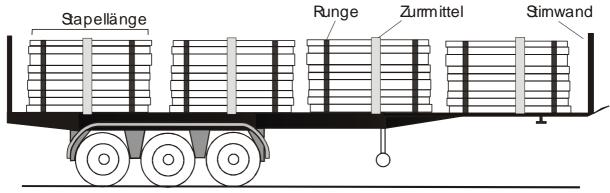


Abb. 9.8

Bei der Längsverladung kam es nur zu Einzelstammbewegungen aus Kavernen bei Bremsungen, in einem Fall kam es allerdings auch zu einem vollständigen Herausrutschen eines Stammes aus einer Kaverne (Abb. 6.12, Seite 40). In derartigen Fällen muss mittels eines Stapels oder einer Stirnwand ein Herausrutschen verhindert werden.

4. Einfluss der Rungen

Eine Rungenabstand "L" (bei Längsverladung bis ca. 2,5 m) bewirkt eine Klemmeffekt der Stämme. So konnten aus längsgestauten Stämmen zwischen Rungen auch keine Block- sondern nur Einzelstammbewegungen aus Kavernen festgestellt werden.

Eine Querstauung über eine gesamte Ladeflächenlänge ohne Rungenunterteilung nach Abb. 9.7 ist wegen der fehlenden Klemmwirkung zwischen Rungen nicht vertretbar.

5. Einfluss Kavernen

Eine Kaverne bedeutet, dass die Niederhaltekräfte und die Kräfte aus überstauter Ladung nicht direkt durchlaufen, sondern um einen Hohlraum herum. In Linienauflage in einer Kaverne liegende Stämme werden dann kaum gegen eine Verschiebung in Längsrichtung von ausreichenden Rückhaltekräften aus der Reibschlusssicherung zurückgehalten.

Kavernen wurden häufig festgestellt. Neu ist die Erkenntnis aus den Versuchen, dass in drei Arten von Kavernen unterschieden werden kann:

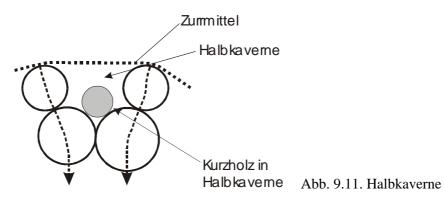
- 1. "Vollkavernen" (= Kaverne in einem Block), Abb. 9.9,
- 2. "Rungenkavernen" (= Kaverne zu einer Runge), Abb. 9.10 und
- 3. "Halbkavernen". (= Kaverne oben liegender Stämme), Abb. 9.11.







Abb. 9.10. Rungenkaverne



Kavernen können bei Längs- und Querverladung gleichermaßen auftreten. Sie sind schwer zu erkennen. Auch das Kavernenproblem spricht dafür, nur die Längsstauung anzuwenden, es sei denn,

es werden zusätzliche Sicherungsmaßnehmen bei Querverladung getroffen.

9.2.3 Sicherung über Reibung

1. Reibungszahlen für Stämme

Die Reibungszahlen für die Reibung zwischen Stamm und einem Reibpartner hängen von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab:

Holzart,

Wassergehalt,

in Rinde oder geschält,

Zustand trocken, nass, vereist, beschneit,

Gleitmittel zwischen den Stämmen, wie Erde, Reiser, Rindenstücke,

Wuchs eines Stammes (Äste, Form: rund, oval) und . . .

Ganz allgemein haben die Versuche gezeigt, dass die Reibungszahlen stark nach "oben" und nach "unten" abweichen können. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass

- 1. stets zusätzlich Sicherungsmaßnahmen über den Reibschluss hinaus notwendig sind
 - 2. eine formschlüssige Sicherungsmaßnahme stets Vorrang haben sollte.

Die Reibungszahlen (Haft- und Gleitreibung) haben auf die Auslösung einer Ladungsbewegung und

und

auf die Höhe der Gleitgeschwindigkeit Einfluss. Die Auslösung von Ladungsbewegungen erfolgt nach bestimmten Regeln der technischen Mechanik. Eine Kenntnis nicht nur der Gleitreibungszahlen sondern auch der Haftreibungszahlen ist deshalb von großer Wichtigkeit.

Es hat sich die Erkenntnis in den GDV/BGF-Versuchen bestätigt, dass die Auflageart (Linienauflage oder im Sattel) für die Größe der Reibungszahl keine Bedeutung hat. Von Bedeutung ist, wie groß die Verschubkraft (Abzugwert Anlage 4, Abschnitt 5.7) ist. Die Sattelauflage hat zur Folge, dass die Zugkräfte in Längsrichtung des Stammes viel größer sind als bei Linienauflage. Man spricht deshalb auch vom sog. Abzugwert, Anlage 4.

Die Versuche und die Analyse der Bewegungsformen (Einzel oder Blockbewegung) machen deutlich, dass es nicht nur auf die Reibungszahlen zwischen

Stamm und Stamm ankommt, sondern auch zwischen Stamm und Ladefläche, Stamm und Zurrmittel (Gurt/Kette/Stahlseil) und Stamm und Runge.

2. Coulombsche Reibung

Die "Bewegungsversuche", Kap. 7.3, haben parabelnartige Kurvenverläufe im Weg-Zeit-Diagramm ergeben, die den Rückschluss zulassen, dass bei Reibung Stamm auf Stamm die sog. Coulombsche Reibung gilt. Wird nämlich die aufgenommene Weg-Zeit-Funktion, Abb. 7.14 und 7.15, zweimal differenziert, ergibt sich im Beschleunigungsdiagramm eine Gerade parallel zur t-Achse. Dieser Verlauf spricht dafür, dass Coulombsche Reibung angesetzt werden kann.

Die Coulombsche Reibung wird als Standardmodell für Reibung zwischen Körpern verwendet. Da bei Längsverschub zwischen Stämmen auch Rinde von den Stämmen abgerissen wird, stand zur Frage, ob nicht u. U. das visko-elastische Reibungsmodell anzusetzen wäre.

Die Bewegungskurven der Versuche 201 und 401 haben hinreichend genau eine konstante Verzögerung ergeben. Und damit kann Coulombsche Reibung angesetzt werden. Damit ergeben sich relativ einfach zu berechnende Reibungsverhältnisse.

3. Haftreibungszahlen

Die Haftreibungszahl von Fichtenstämmen von Stamm zu Stamm kann nach den Kurvenfahrversuchen und den Bremsversuchen Kap 7.3 mit etwas über $\mu_{Haft} = 0,6$ angesetzt werden.

In Anlage 2 wurden Haftreibungswerte zwischen Fichtenstämmen und einem Sicherungsgurt von 0,15 bis 0,33 errechnet; zwischen Fichtenstämmen und Ladefläche ergab sich 0,4 bis 0,5 (Feststellung 2, 1.).

Die Haftreibungszahl zwischen Gurt und Stamm ist bei der Anwendung der Niederzurrtechnik wichtig. Die Gurtkraft baut sich bei Umschlingung eines Stammes ab. Bei Stammladungen wird aber bei einem Gurt als Zurrmittel kein eigener Kantenschutz verwendet, so dass die Haftreibungszahl zwischen Stamm und Zurrmittel (z. B. Gurt) eine Rolle spielt.

Für die Bemessung von Sicherheitsmaßnahmen ist der Auslösungszeitpunkt von Ladungsbewegungen wichtig. Er lässt sich aus der Haftreibungszahl (= "Haftreibungsverzögerung") $\mu_{Haft} \bullet g$ berechnen (g = 9,81 m/sec²).

4. Gleitreibungszahl - Bewegungsauslösung

Die Auslösung erfolgt nach Regeln der technischen Mechanik. Eine Kenntnis nicht nur der Gleitreibungszahlen sondern auch der Haftreibungszahlen ist deshalb von großer Bedeutung. Es reicht nicht, nur die Gleitreibungszahl für Paarung Stamm zu Stamm zu ermitteln, wie sie von der VDI 2700 vorgeschrieben wird.

Die Verwendung von Gleitreibungszahlen wurde in der VDI 2700 vorgeschrieben, um Reibkraftschwankungen aus vertikalen Aufbaubewegungen zu kompensieren [3]. Die in Kap. 7.3 vorgelegten theoretischen Untersuchungen zeigen auf, dass weitere gewichtige Punkte im Zusammenhang mit den Reibungszahlen berücksichtigt werden müssen.

5. Gleitreibungszahlen von Stämmen

Die Gleitreibungszahlen von Stamm zu Stamm (trocken, in Rinde und in Linieauflage) liegen nach den Versuchen in Kap. 8 für Kurzhölzer in der Regel bei 0,3. Nur für Lärchenholz wurden niedrigere Reibungszahlen ermittelt (0,2).

Eine niedrige Haftreibungszahl bedeutet, dass die Ladung sehr "früh" zu gleiten beginnt und dass der Gleitweg bis zum Stillstand gegenüber dem Fahrzeug länger wird.

Von Bedeutung ist, dass die Gleitreibungszahlen bei Stämmen "gegensätzlich" sein können. Während Kiefer (trocken) einen Wert von 0,42 und Kiefer (nass) von 0,31 aufweist, liegen die Werte bei Fichte (trocken) bei 0,33 und Fichte (nass) bei 0,41.

6. Bewegungsauslösung – Einfluss der Haftreibungszahl

Die Untersuchungen in Kap 7.3 haben den Einfluss der Haftreibungszahl aufgezeigt. Je niedriger die Haftreibungszahl einer Reibpaarung liegt, desto früher wird in der Schwellphase einer Bremsung die Ladung bei Einwirkung von Kräften zu gleiten beginnen. So wird eine Ladung mit einem μ_H von 0,7 später als im vereisten Zustand (μ_H von 0,3) in den Gleitzustand übergehen. Gleichzeitig bedeutet eine hohe Haftreibungszahl, dass der Stoß, um die Ladung in den Bewegungszustand zu überführen, stärker sein muss.

Die Haftreibung muss auch im Hinblick auf Einzelstammbewegung und Blockbewegungen differenziert betrachtet werden, also nicht nur zwischen Stamm und Stamm, sondern auch zwischen Stamm und Ladefläche, Stamm und Zurrmittel und Stamm und Runge.

7. Einfluss Gleitreibungszahl

Die Gleitreibungszahl muss im Zusammenhang mit der Bewegungsauslösung gesehen werden. Je höher die Haftreibungszahl liegt und je niedriger die Gleitreibungszahl, umso größer wird die zwischen Fahrzeug und Ladung auftretende Geschwindigkeitsdifferenz ansteigen können. Von der "Differenz" der Gleit- zu Haftreibungszahl und von der Höhe der Gleitreibungszahl hängt die Beschleunigung ab, die die Ladung gegenüber dem Fahrzeug maximal erreichen kann. Je größer die Differenz a_{Diff} ist, desto größer kann die Aufprallgeschwindigkeit, z. B. auf eine Bordwand werden, Abb. 9.12 a) und b).

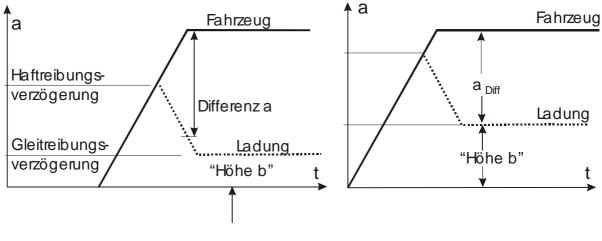
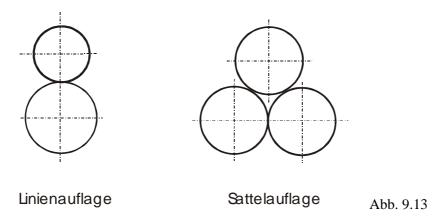


Abb. 9.12 a) Abb. 9.12 b)

Anmerkung: Zur Verwendung der Gleitreibungszahl sind Ausführungen im Abschnitt 2.4 gemacht worden.

8. Auflageart

Die Stämme können in Linienauflage und in Sattellage liegen, Abb. 9.13. Die Auflageart hat Einfluss auf die Höhe der Reibungskraft bei Längsverschiebung. Die Lage hat keinen Einfluss auf die Haftund Gleitreibungszahl.



9. Übergangsverhalten

In Kap. 7.3 wurden die Weg-Zeit-Kurven von Stämmen in Linienauflage interpretiert. Die Bewegung Stamm gegen Fahrzeug setzt sich aus einer Beschleunigungs- und einer Verzögerungsphase zusammen. Die Beschleunigungsphase kann als die Zeit interpretiert werden, die die Ladung benötigt, um vom Zustand des Haftens in den des Gleitens überzugehen. Im Versuch 401 dauerte die Beschleunigungsphase $0,4_9$ sec.

9.2.4 Sicherung über Niederzurrung

1. Allgemeine Erkenntnisse

Eine wesentliche, zusätzliche Ladungssicherungsmaßnahme im Straßentransport ist die Niederzurrung. Eine wichtige Erkenntnis der Versuche ist es, dass die Niederzurrkraft bei Stämmen als Ladung nicht "steht". Sie wird nach einigen Minuten geringer. Durch vertikale Stöße auf unebener Fahrbahn wird die Niederzurrkraft ebenfalls abgebaut.

Die Niederzurrung von Baumstämmen ist allgemein gesehen eine unsichere Sicherungstechnik, da wegen der Kavernenbildung, der Auflagearten oder des Verhaltens der Niederzurrmkraft keine gleichmäßige und damit sichere Niederzurrwirkung im Stapel aufgebracht werden kann. Eine Niederzurrung kann den Einfluss von Kavernen auch bei hohen Niederzurrkräften nicht aufheben. Vertikale oder horizontale Kräfte laufen nicht gleichmäßig durch einen Stapel, sondern um die Kavernen "herum".

Die Differenz der Niederzurrkraft zwischen der Spannseite und der anderen Seite bei einseitiger Anspannung ist relativ groß. Damit wird auf der schwächer angezogenen Seite die Niederzurrwirkung unsicherer sein. Bei längs verladenen Stämmen konnte mit Handvorspannung ein Herausrutschen von Einzelstämmen nicht verhindert werden.

2. Längs- Querverladung

Über die volle Ladeflächenlänge quer verladene Stämme ließen sich nicht mit zwei Längsgurten, auch nicht mit Beischwichtung sichern [6].

3. Mögliche Zurrmittel

Von den möglichen Zurrmitteln, wie Gurt, Kette, Stahlseil hat sich der Gurt mit einem Vorläufer (Kette) als am günstigsten erwiesen.

4. Spanntechnik

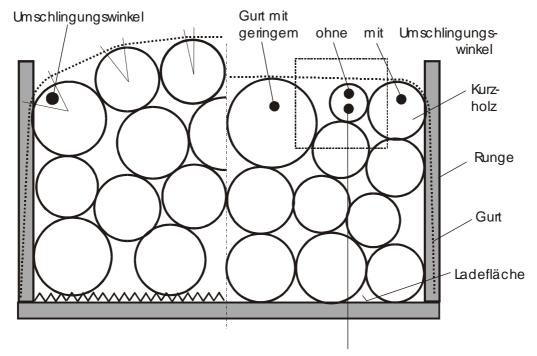
Es wurden nur Spannmittel eingesetzt, die zwischen den Teilen des Spannmittels eingesetzt waren. Die Wirkung von Winden, die ein "Lager" am Rahmen haben und damit hohe Zugkräfte ermöglichen, wurde nicht erprobt, weil das Versuchsergebnis so nicht erwartet wurde.

5. Anzahl der Zurrmittel

Die Anzahl der Zurrmittel ist unter Berücksichtigung der Ladungsmasse und des Abzugswertes (siehe Anlage 1, Seite 87) zu ermitteln.

6. Anbringung der Zurrmittel

Die beiden Zurrmittel sollten zwischen den Rungen und nach Möglichkeit nahe an den Rungen angebracht werden. Mit dieser Anordnung der Zurrmittel kann erreicht werden, dass ein oben aufliegender Stamm, ca. im jeweils letzten Drittel seiner Länge, wirksam gegen Verdrehen, Ausscheren und damit Herabfallen gesichert ist.



Besonders kritisch: Kurzholz in Liniena uflage,

oben liegend,

Gurt ohne Umschlingungswinkel

Abb. 9.14

7. Umschlingungswinkel

Die Versuche haben gezeigt, dass Stapel oben eine ballige Stauung haben müssen, Abb. 9.14. Um eine Niederzurrwirkung zu erreichen, muss ein Zurrmittel in einem Bogen über den zu sichernden Stamm gespannt werden (Abb. 9.14 links). Liegt das Zurrmittel flach, wie in Abb.9.14 rechts, wird keine, bzw. eine unzureichende Niederzurrwirkung erreicht.

Eine ballige (bauchige) Stauung setzt voraus, dass ein Stapel nur eine begrenzte Breite haben darf. So hat sich gezeigt, dass die Sicherung mit Längsgurten bei querverladenen Stämmen wirkungslos ist. Eine Niederzurrung setzt kleine Stapellängen (vgl. Abb. 25, Seite 105) voraus. Auch Beischwichtung schafft keine Abhilfe.

9.3 Fragen und Versuchserkenntnisse

Die Übersicht 5 zeigt einerseits die offenen Fragen zum Kurzholztransport und andererseits die Ergebnisse des GDV-Forschungsvorhabens. Die in eckigen Klammern aufgelisteten Erkenntnisse sind vor den Versuchen nicht öffentlich bekannt gewesen.

Übersicht 5. Erkenntnisse aus GDV / BGF -Versuchen

	Fragen		Erkenntnisse aus Versuchen
1. 1.1	Ladungseigenschaften Einfluss Stammausbildung		
	(Form: kreisförmig, oval, irregulär - Wurzelbereich, Äste)		(Da irregulär keine theoretisches Modell sinnvoll)
1.2	Reibungszahlen Haft- und Gleit- reibung		Werte ermittelt im Zugversuch.
1.3	Reibungskraft geladen im Sattel oder auf Linie		Einfluss untersucht.
2.	Fahrzeug		
	Keine Fragen		() [Einfluss torsionselastischer Rahmen auf das Kippverhalten]
3.	Stauung		
3.1 3.1.1	Kavernenbildung in chaotischer Stauung Vermeidbarkeit		unvermeidbar
3.1.2	Häufigkeit		Tritt häufiger auf als erwartet
3.1.3	Verteilung im Stapel		[Auch aus Kavernen zu den Rungen] irregulär
1.2 1.3	Verladung längs oder quer Flache oder ballige Stauung		Längsstauung günstiger (Punkt 4.2) Es muss auf ballige Stauung geachtet
4. 4.1	Sicherung gegen Ladungsbewegungen Reibschluss		werden.
4.1.1	Reib-/Klemmschluss		Reibungsversuche zeigen Wirkung auf.
4.1.2	Mechanik Ladungsbewegung		[siehe 1.2 und 1.3] [Auch rollende Bewegung des querver- ladenes Holzes in Längsrichtung möglich] [Auslösung: Neuer Mechanismus] [Bewegungsverhalten: Aufprallge-
			schwindigkeit berechenbar]

4.2	Niederzurrung (Nz)		
4.2.1	Niederzurrsicherung möglich?		Nz nur bei balliger Verladung
4.2.2	VDI-Berechnungsformel möglich		Nur mit hohen Vorspannungen möglich
4.2.3	Hält Vorspannung?		Kann nicht sicher gehalten werden, nur mit automatischer Nachspannung.
4.2.4	Nz bei Längs- und Querverladung		Stämme nur mit Längsverladung niederzurrfähig
4.2.5	Alle Stämmen oben erfasst?		Sicherung unsicher (Linienlage, flach)
4.2.6	Alle Stämme im Stapel erfasst?		Sicherung unsicher
4.3	Zusätzliche Sicherungsmaßnahmen		
4.3.1	Rungen		()
4.3.2	Stirnwand		[Laderaumbegrenzung unverzichtbar]
4.4	Alternative Sicherungsmaßnahmen		()
5.	Ladungsverteilung		
5.1	Längsverteilung		()
			[U. U. kann Torsionsverhalten des Rahmens
			mit Verteilung korrigiert werden]
5.2	Querverteilung		()
6.	Schwerpunktshöhe		()
7.	Transport		
7.1	Beginnt Ladung bei Kreisfahrt (<0,5 g) zu gleiten (Stamm in Querrichtung)		Abladung möglich, damit Verladung der Stämme in Querrichtung verladen nicht vertretbar
7.2	Wann beginnt eine Ladung zu gleiten?		Theorie untersucht, Lösungsansatz bestätigt
7.3	Aufprallgeschwindigkeit nach x Zentimeter Gleitweg?		[Aufprallgeschwindigkeit errechenbar]
7.4	Reicht Reibschlusssicherung Längsverladung		Nicht allein ausreichend.
			Keine Fragen.
			() Nicht untersucht.
			[] Neues Phänomen erkannt.

10. Literatur

- [1] Ladungssicherung im Gütertransport, Schäden, Ursachen, Vermeidung, U. Podzuweit, Hussverlag München, ISBN 3-931724
- [2] Modelle und Modellierungsverfahren in der Fahrzeugdynamik, Hans-Peter Willumeit, B. G. Teubner Stuttgart, 1998, ISBN 3-519-03245-7
- [3] VDI-Richtlinien Berechnungsunterlagen zur Ladungssicherung, D. Fuchs, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 7/8 1983
- [4] Technische Sicherheit und Mobilität, Fachschrift 55/01, Dekra, Stuttgart
- [5] Systematische Ermittlung der Transportbeanspruchungen . . zur Optimierung der Ladungssicherung in Containern, Teil Straßentransport, U. Podzuweit, 2001, Bericht zum Forschungsvorhaben des deutschen Bundesverkehrsministeriums, BMV FE Nr. A.24/16.49.00 - 96 473/97 - K
- [6] Research Report 077, Verkehrsministerium GB, 2004
- [7] Querbeschleunigungsmessung zur Kontrolle der Fahrstabilität von Sattelkraftfahrzeugen, Gyula Köfalvi, Tamas Farkas, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 9, September 1984
- [8] Objektive Testverfahren für die Fahreigenschaften von Kraftfahrzeugen, Klaus Rompe, Bernd Heißig, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1984
- [9] Bericht VDI-Nachrichten, 4/2003, Düsseldorf
- [10] Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen, M. Burckhardt, Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1985 (Kölner Modell)

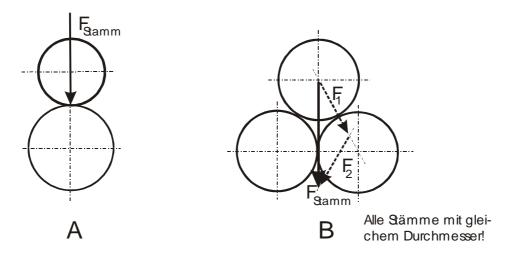
Kapitel 8

- [11] Großmann, G.: Auswege aus dem Dilemma Ladungssicherung. Forstmaschinen-Profi Juli/August 2000, S. 28-30
- [12] VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik: VDI-Richtlinien 2700, Ausgabe Mai 1990
- [13] Großmann, G.; Marquardt, H.-G.: Die Reibungszahl μ genau ermitteln. Hebezeuge und Fördermittel, Berlin 41 (2001) 3, S. 98-100

Anlage 1 Zu Kap. 6.1.2

1. Ermittlung der Reibungskraft bei einem Längsverschub von Stämmen

Für die Linienauflage und die geschlossene Sattellage kann angesetzt werden:



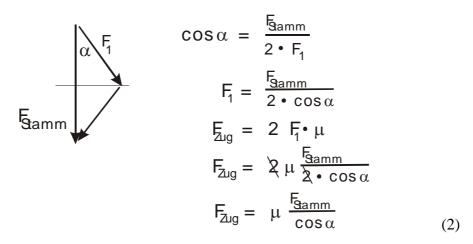
Im Falle A wird sich die Kraft F_{Zug} , um den Stamm in Längsrichtung verschieben zu können, wie folgt errechnen:

$$F_{\text{Zug}} = F_{\text{Stamm}} \cdot \mu_{\text{H/G}}$$
 (1)

Für Fall B (geschlossene Sattellage) setzt sich die Kraft $\,F_{Zug}\,$ zusammen aus:

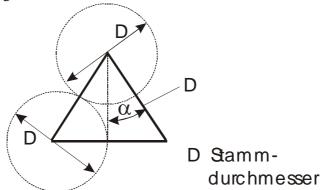
$$F_{Zug} = F_1 \cdot \mu + F_2 \cdot \mu$$
$$= \mu (F_1 + F_2)$$

Wenn gilt, $F_1 = F_2$, folgt:



2. Vergleich Linien- mit geschlossener Sattellage

Wird angenommen, dass alle Stämme den gleichen Durchmesser haben, ergibt sich bei geschlossener Sattellage ein gleichseitiges Dreieck:



Damit beträgt dann der Winkel $\alpha = 30$ Grad.

$$F_{Zug} = \mu \frac{F_{Samm}}{\cos 30^{\circ}}$$

$$F_{Zug} = \mu \frac{F_{Samm}}{0,8660}$$

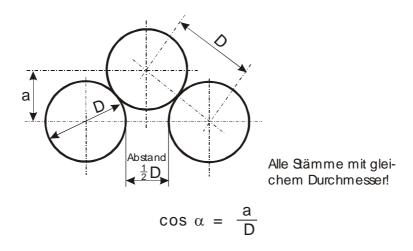
$$F_{Zug} = F_{Samm} \frac{1}{0,8660} \mu$$

$$F = F_{Samm} \cdot 1,154 \cdot \mu$$
(3)

Die Zugkraft wird ca. 15% größer als bei Linienauflage sein! Der Wert 1,154 kann aber auch mit μ zusammengefasst werden.

3. Offene Sattellage

Unter der Annahme, dass die beiden unteren Stämme mit einem Abstand ½ D liegen, ergibt sich:



$$a^{2}+ (\frac{1}{4}D + \frac{1}{2}D)^{2} = D^{2}$$

 $a = \frac{1}{4}D\sqrt{7}$

$$\cos \alpha = \frac{\cancel{p}\sqrt{7}}{4\cancel{p}}$$

$$\cos \alpha = 0,66143$$

$$\alpha = 48^{0}$$

$$F_{Zug} = F_{Stamm} \frac{1}{0,66} \mu$$

$$F = F_{Stamm} \cdot 1,5 \cdot \mu$$
(4)

Die Zugkraft in Längsrichtung in der vorgegebenen, offenen Sattelauflage ist 1,5 Mal größer als in Linienauflage.

4. Vergrößerungsfaktor V bei offener Sattellage

Wird Gleichung (4) in allgemeiner Form angeschrieben, indem der Faktor 1,5 mit Vergrößerungsfaktor V bezeichnet wird, ergibt sich:

$$F = F_{\text{Samm}} \cdot V \cdot \mu \tag{5}$$

Vergrößerungsfaktor hängt nur vom Durchmesser der Stämme, der Auflageart und dem Abstand der beiden unteren Stämme ab. In den Gleichungen (1) bis (4) wurden allerdings jeweils nur Stämme mit gleichen Durchmessern angesetzt!

Für die einzelnen Auflagearten ergibt sich damit bei gleichen Stammdurchmessern:

 $\begin{array}{lll} \mbox{Linienauflage} & \mbox{$V=1$} \\ \mbox{geschlossene Sattellage} & \mbox{$V=1,154$} \\ \mbox{offene Sattellage} & \mbox{V gr\"{o}Ber als 1,154$} \\ \mbox{offene Sattellage mit Abstand kleiner als D} & \mbox{V strebt gegen Unendlich} \end{array}$

Für alpha gilt:

$$90^{0} > \alpha > 0^{0}$$

5. Abzugwert

Aus Gleichung (5) ergibt sich:

$$F_{\text{Zug}} = F_{\text{Stamm}} \cdot (V \cdot \mu)$$
 (6)

Statt der Zugkraft am Stamm F_{Zug} kann auch die "angreifende" Kraft, z. B. die Fliehkraft, eingesetzt werden.

$$F_F = F_{amm} \cdot (V \cdot \mu)$$
 (7)

Statt der Flieh- und Zugkraft kann auch eingesetzt werden.

$$m \cdot a_{F} = m_{Stamm} \cdot g \cdot V \cdot \mu$$

$$m \cdot a_{F} = m_{Stamm} \cdot g \cdot V \cdot \mu$$

$$a_{F} = g \cdot V \cdot \mu$$
(8)

Für a kann die Fliehbeschleunigung oder die Bremsverzögerung eingesetzt werden. Z. B. für eine Fliehbeschleunigung von 5 m/sec 2 (= 0,5 g):

$$5 \text{ m/sec} = 10 \text{ m/sec}^2 \cdot \text{ V} \cdot \mu$$

$$V = \frac{-0.5}{\mu}$$
(9)

Oder allgemein:

$$V = \frac{g\text{-Wert}}{\mu}$$
 Reibungszahl Abmessungen der Stämme in Sattellage

Der Ausdruck

$$V \cdot \mu = A \tag{10}$$

soll als Abzugwert A bezeichnet werden. Ist der Abzugwert A größer als der jeweilige g-Wert, wird die Ladung durch Reibschluss gehalten. Die Zugkraft zur Verschiebung errechnet sich aus:

$$F_{Zug} = F_{samm} \cdot A$$
 (11)

F_{Stamm} ergibt sich aus der Zugkraft in Linienauflage.

Anlage 2 Zu Kap. 6.4

Haftreibungszahl Gurt zu Stamm

Läuft ein angetriebener Gurt um eine Riemenscheibe, kann die Kraft am zugentlastete Ende mit Hilfe der Gleichung (1) berechnet werden.

 $F_{_{1}} = F_{_{2}} \cdot e^{\alpha \mu_{_{K}}}$ (1)

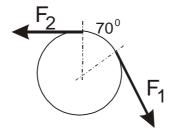
oder

 $F_{2} = \frac{F_{1}}{e^{2\alpha\mu_{k}}}$

Diese Gleichung kann auch für den Umschlingungswinkel einer Niederzurrung angesetzt werden.

Es gilt:

Umschlingungswinkel 70⁰



Daraus folgt:

$$\mu_{K} = \frac{\ln \frac{F_{1}}{F_{2}}}{\frac{\pi \cdot \alpha}{2 \cdot 90}}$$
 (2)

Für Versuch 1 Gurt auf Fichte (Seite 45) ergibt sich dann

$$\mu_{K} = \frac{\ln \frac{880}{348}}{\frac{\pi \cdot 160}{2 \cdot 90}}$$

$$\mu_{\rm K} = 0.33$$

Für die Werte 636 daN zu 420 daN ergibt sich:

$$\mu_{K} = \frac{\ln \frac{636}{348}}{\frac{\pi \cdot 160}{2 \cdot 90}}$$

$$\mu_{\rm K}$$
 = 0,15

Anlage 3 Zu Kap. 3.3

Beispiel einer "Heckabladung"



Abb. 1

Anlage 4

Empfehlungen für Sicherungsmaßnahmen im Kurzholztransport auf Straßenfahrzeugen

Vorwort

In 2004 wurden Versuche zur Sicherung von Kurzholz auf Straßenfahrzeugen [1] vom Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV- Anschrift in 11.) und der BG für Fahrzeughaltungen (BGF Anschrift in 11.) unter Beteiligung der Fachhochschule München, des Königsberger Ladungssicherungskreis und der Sachverständigen W. Strauch und R. Dänekas durchgeführt. Die Versuche wurden vom TÜV Nord organisiert und beim ATP in Papenburg durchgeführt. Aus den Erkenntnissen des Forschungsvorhabens und aus den englischen Versuchen [2] ist diese Sicherheitsempfehlung entstanden.

Diese Empfehlung stellt den gegenwärtigen Erkenntnisstand zur Gefährdung im Kurzholztransport dar. Zuständig für die Fortschreibung dieser Empfehlungen bei neueren Erkenntnissen sind der GDV und die BG für Fahrzeughaltungen.

Inhalt

- 1. Allgemeine Voraussetzungen
- 2. Geltungsbereich
- 3. Zweck
- 4. Schutzziel
- 5. Begriffe
- 6. Reibungszahlen
- 7. Sicherungstechniken
- 8. Verladung und Sicherung
- 9. Weitere Normen/Richtlinien
- 10. Literatur
- 11. Anschriften

1. Allgemeine Voraussetzungen

Es gelten die allgemeinen Vorgaben der VDI 2700 in der Fassung von 1990. Für Aufbauten sind die Vorgaben der in dieser Empfehlung genannten Richtlinie einzuhalten.

2. Geltungsbereich

Die Sicherungsempfehlungen gelten für den Transport von Kurzholz (Definition Punkt 5.1) auf Straßenfahrzeugen (LKW mit und ohne Anhänger (beinhaltet auch Sattelkraftfahrzeuge sowie Spezialfahrzeuge) im Transport auf öffentlicher und nicht öffentlicher Verkehrsfläche in Deutschland.

3. Zweck

Die Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) verlangt u. a. in § 22 eine "Sicherung" der Ladung verkehrssicher zu stauen und gegen Herabfallen vom Fahrzeug zu sichern. Zur Erfüllung der Sicherungspflichten und zum Schutz aller am Straßenverkehr teilnehmenden Personen sollen diese Empfehlungen dienen.

4. Schutzziel

Von einer Ladung Kurzholz können im Transport drei mögliche Gefährdungen ausgehen:

- 1. Aus Eigenbewegungen der Ladung in Bezug zum Fahrzeug,
- 2. aus der Lastverteilung längs und quer auf dem Fahrzeug und
- 3. von einem hohen Gesamtschwerpunkt von Fahrzeug und Ladung.

Das größte Gefahrenpotential ist in der Eigenbewegung von Ladungen in Bezug zum Fahrzeug zu sehen. Es soll mit dieser Empfehlung beseitigt werden. Die weiteren Punkte, die Ladungsverteilung und der anzustrebende niedrige Gesamtschwerpunkt sind entsprechend den allgemeinen Ladungssicherungsrichtlinien [z. B. 3] vorzunehmen.

Die Gefährdung aus Eigenbewegungen von Kurzholz besteht darin, dass

- 1. ein Kurzhölzer oder mehrere Kurzhölzer soweit herausrutschen können, dass sie vom Fahrzeug herabfallen,
- 2. Kurzholz bei Querverladung seitlich soweit herausrutschen kann, dass nachfolgende Verkehrsteilnehmer behindert oder gefährdet werden und
- 3. Kurzholz bei Querverladung nach vorne ins Rollen kommen kann.

Bewegungsarten von Kurzholz, wie sie in den Versuchen des Forschungsvorhabens festgestellt wurden, sind aus Abb. 1 entnehmbar.

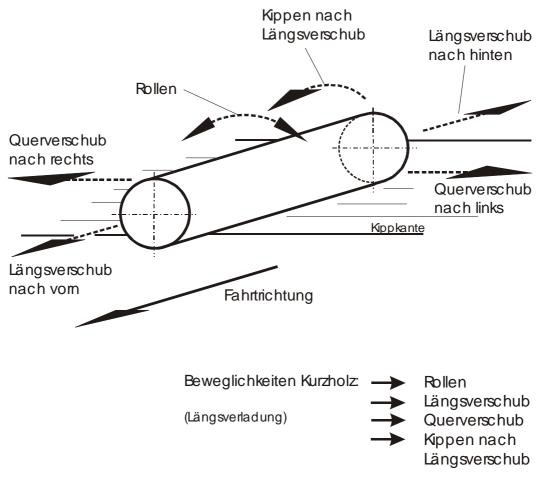


Abb. 1. Bewegungsarten

5. Begriffe

Im Folgenden sollen Begriffe festgelegt werden, damit sie einheitlich benutzt werden. Auch werden bestimmte Phänomene beschrieben, die für die Auslösung von Eigenbewegungen von Bedeutung sind.

5.1 Kurzholz

Unter Kurzholz soll Rundholz verstanden werden, dessen Länge maximal 6,5 m beträgt und nicht mit Langholzfahrzeugen (Brückenzug, LKW und Nachläufer) befördert wird. (Die Versuche wurden mit 2m langen Fichtenstämmen durchgeführt.)

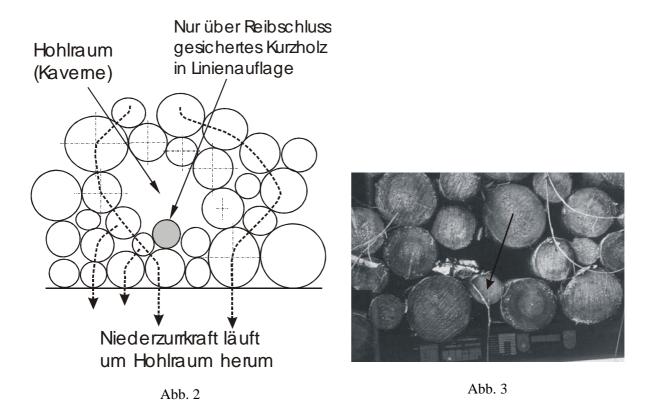
5.2 Kavernen-/Tunnelbildung

Kurzholz kann in einem Stapel Hohlräume (Kavernen) bilden. Mit einer Niederzurrung wird bei Kavernen ein Teil des Kurzholzes von den Niederzurrkräften nicht erfasst. Das Kurzholz liegt dann nur im Reibschluss (Linienauflage oder Sattellage, sh. Punkt 5.5). Kurzholz in Linienauflage lässt sich dann leicht in Längsrichtung verschieben, Abb. 2.

Versuche [1] haben gezeigt, dass es drei Arten von Kavernen gibt:

1. Vollkavernen

Die Kaverne befindet sich in einem Block, Abb. 3.



Die gestrichelte Linie in Abb. 2, 4 und 6 soll den Verlauf der Niederzurrkraft andeuten.

2. Rungenkavernen

Die Kaverne liegt an einer Runge, Abb. 4 und 5.

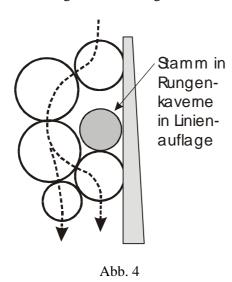
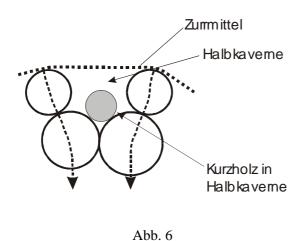




Abb. 5

3. Halbkavernen

Es handelt sich bei dieser Variante um oben in einem Stapel liegendes Kurzholz in Linien- oder Sattelauflage, das nicht von einem Sicherungsmittel (Zurrmittel, . .) erfasst wird, Abb. 6 und 7.

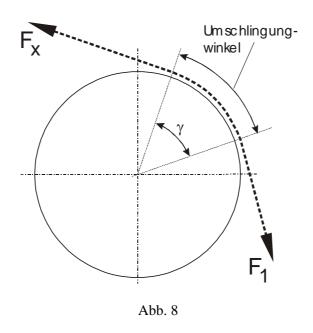


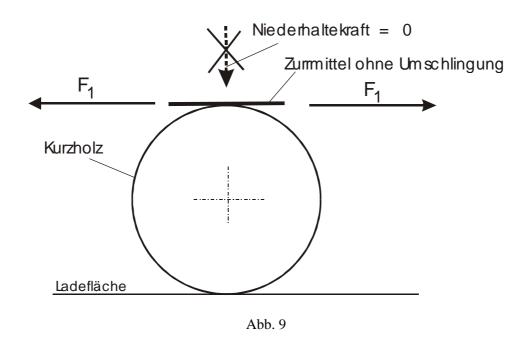


Kavernen können bei Längs- und Querverladung gleichermaßen auftreten.

5.3 Umschlingungswinkel

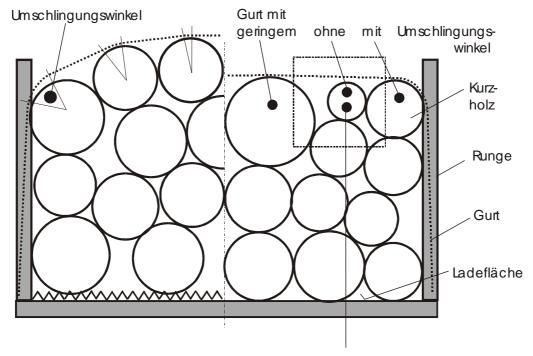
Ein Zurrmittel einer Niederzurrung muß ein Ladungsteil "umschlingen". Ohne einen Umschlingungswinkel γ in der oberen Lage wird keine Niederzurrwirkung erreicht, Abb. 8 und 9.





5.4 Flache oder bauchige Stauung

Kurzholz kann oben flach oder bauchig verladen sein. Bei flacher Verladung ergibt sich kein Umschlingungswinkel und damit keine Niederzurrwirkung, Abb. 10.



Besonders kritisch: Kurzholz in Linienauflage,

oben liegend,

Gurt ohne Umschlingungswinkel

Abb. 10. Flache und bauchige Stauung

Es soll deshalb stets bauchig gestaut werden, Abb. 11.

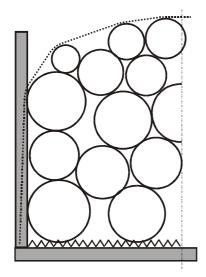


Abb. 11. Bauchige Verladung oben bei Längsstauung

Flache und bauchige Verladung ist auch bei Querverladung möglich, Abb. 12 und 13.

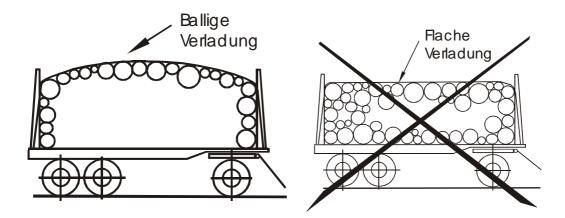


Abb. 12. Bauchige Stauung bei Querverladung

Abb. 13. Flach verladen bei Querverladung

unsichere Niederhaltewirkung zu erzielen.

Auch bei bauchiger Verladung ist bei langen Bei flacher Verladung und langer Ladefläche mit Ladeflächen mit einer Niederzurrung nur eine längs liegenden Zurrmittel kann auch mit Beischwichten, Abb. 14, keine ausreichende Niederzurrwirkung erreicht werden.

Beischwichten

Müssen sehr lange Zurrmittel verwendet werden, wie es z. B. im Kurzholztransport bei Querverladung zu finden ist, wird zwar die Niederhaltewirkung durch Beischwichten (= "Beischnüren") vergrößert werden, Abb. 14. Sie reicht aber nicht aus, um eine seitliche Abladung bei Kurvenfahrt mit hoher Querbeschleunigung zu verhindern [1].

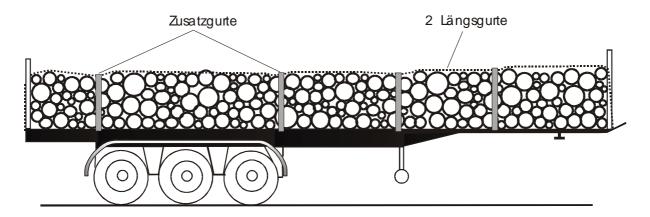


Abb. 14. Längsgurte mit Beischwichtung

5.6 Linien- und Sattelauflage

Kurzholz kann in Linien- und Sattelauflage liegen, Abb. 15.

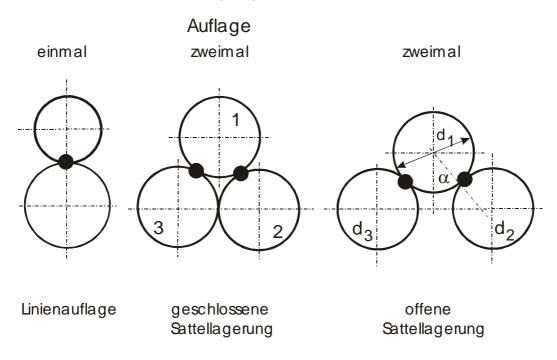


Abb. 15. Linien- und Sattelauflage

In Linienauflage kann Kurzholz in Längsrichtung leicht verschoben (gezogen) werden, Abb. 16.

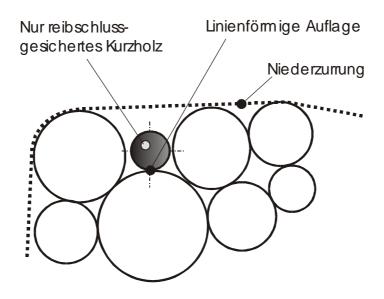
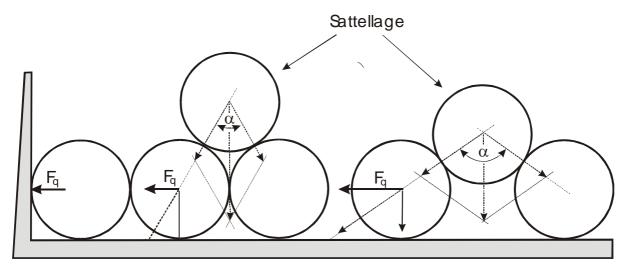


Abb. 16. Kurzholz in Linienauflage

5.7 Spreizwirkung

Liegt ein Stamm in Sattellage, Abb. 17, dann tritt eine Querkraft F_q auf. Diese Kraft soll als Spreizkraft, der Winkel α soll als Spreizwinkel bezeichnet werden. Der Spreizwinkel beeinflusst die seitliche Anpresskraft auf die Rungen und zusätzlich den Abzugwert. Außerdem wird bei Sattellage ein Teil der Querkraft als zusätzliche Anpressung auf die Ladefläche "abfließen" und nicht gegen die Runge drücken.



Querkraft Fq bei

geschlossener Sattellage

offener Sattellage

Abb. 17. Rungenbelastung aus Spreizkraft

Steigt der Spreizwinkel an, wird die horizontale Kraft auf die Runge größer, Abb. 17. Die Spreizkraft ist nur vorhanden, wenn wenigstens 2 Lagen aufeinander liegen und eine Sattellage vorhanden ist. Außerdem muss die Ladung rollfähig sein. Bei Lagen in Linienauflage ergeben sich seitliche Kräfte auf die Rungen nur z. B. bei Kurvenfahrt.

5.8 Abzugwert

Der Abzugwert ist das Produkt aus Vergrößerungsfaktor V und Reibungszahl μ.

$$A = V \bullet \mu$$

Ausführungen dazu sind in der Anlage 1 zu finden. Der Vergrößerungsfaktor V erfasst bei Sattellage den Durchmesser der Stämme und den Abstand der Stämme in der unteren Lage.

Haben in Sattellage alle Stämme den gleichen Durchmesser und handelt es sich um eine geschlossene Sattellage, so ist der Vergrößerungsfaktor gleich 1,154 (Anlage 1). Je weiter die Auflagestämme unten im Abstand (offene Sattellage) liegen, desto größer wird der Vergrößerungsfaktor.

Die Kraft für einen Längsverschub (Abzugkraft) eines Stammes in Sattellage ergibt sich damit:

$$F_A = F_G \cdot V \cdot \mu$$

$$F_A = F_G \cdot A$$

F_A Abzugkraft in Längsrichtung F_G Gewicht Stamm

Abb. 18 soll nochmals diese Zusammenhänge verdeutlichen.

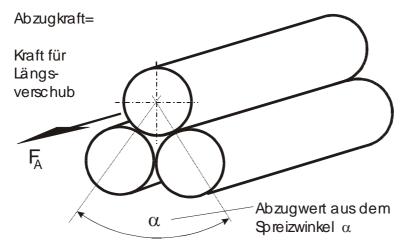


Abb. 18. Längskraft

Während bei Linienauflage die Abzugkraft F_A gleich der Gewichtskraft $F_G \bullet$ Reibungszahl μ ist, wird bei der geschlossenen Sattellage $F_A = 1,154 \bullet F_G \bullet \mu$ betragen, Abb. 19.

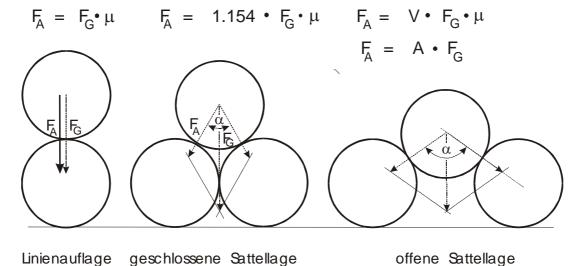


Abb. 19. Vergleich Abzugkraft

Der Vergrößerungswert kann bei offener Sattellage sehr viel höher als bei geschlossener Sattellage ausfallen.

Anmerkung 1: Die Sattellage "täuscht" eine höhere Reibungszahl vor. Es schwankt aber bedingt durch den Spreizwinkel nur der Abzugwert.

Anmerkung 2: Um den Einfluss der Ein- und Ausfederungsbewegungen des Aufbaus zu berücksichtigen, wurde in den 70er Jahren in der VDI 2700 vorgeschrieben, dass statt der Haftreibungszahl die im Regelfall niedriger liegende Gleitreibungszahl aus Sicherheitsgründen verwendet werden soll.

5.9 Längs- und Querverladung

Kurzholz kann in Quer- und in Längsrichtung verladen werden, Abb. 20 und 21.





Abb. 20. Querverladung

Abb. 21. Längsverladung

5.10 Kurzholzbewegungen

Kurzholz kann sich relativ zur Ladefläche bewegen. Dabei können sich einzelne Hölzer bewegen, es kann aber auch zu Verschiebungen von Blöcken von Kurzholz kommen.

5.10.1 Einzelbewegungen

Einzelbewegungen sind nur aus Kavernen bekannt geworden, Abb. 22 und 23.



Abb. 22. Längsverschub



Abb. 23. Längsverschub aus Rungenkaverne

5.10.2 Blöcke von Kurzhölzern

1. Blockbewegung

Neben der Bewegung von Einzelhölzern kann es bei Kurvenfahrt zum Ausbrechen von "Blöcken" von quer verladenen Hölzern kommen. Der Ausbruch wird im Regelfall im hinteren Teil der Ladefläche beginnen. Im Folgenden soll unter einem Blockverschub entweder ein Teilblockverschub oder ein Komplettblockverschub verstanden werden.

Abb. 24 zeigt einen Ausbruch eines Teils der Kurzholzladung. Die Ladung verrutscht und kippt dann von der Ladefläche. Als Teilbockverschub soll im Folgenden ein Verschub zwischen einem Block von Kurzhölzern und anderen Kurzhölzern verstanden werden.



Abb. 24. Teilblockverschub [1]

Es kann aber auch zu einem seitlichen Herausrutschen der quer verladenen Ladung komplett bis zur Ladefläche kommen, Abb. 25.



Abb. 25. Komplettabladung

Von einer Abladung im Block geht eine größere Gefährdung aus, weil das Kurzholz in aller Regel eine große Straßenfläche bedeckt.

Abb. 26 stellt die Teilblock- und die Komplettblockabladung nochmals gegenüber.

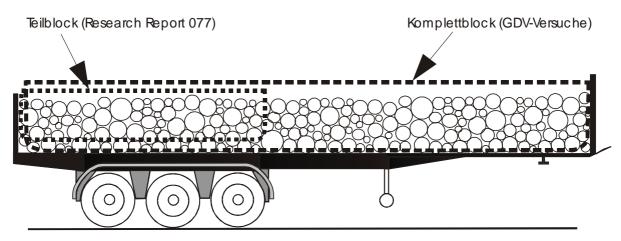


Abb. 26. Teilblock- und Komplettblockabladung

Der Zusatz "Komplett-" soll ausdrücken, dass der Block auf der Ladefläche gleitet und nicht auf anderen Hölzern. "Komplett-" soll nicht ausdrücken, dass immer die gesamte Ladung von der Ladefläche rutscht.

Bei der Teilblockabladung kommt es dagegen zu einer Verschiebung zwischen Hölzern, bei der Komplettblockabladung zwischen Kurzholz und Ladefläche. Die Begriffe "Teil-" und "Komplett-" sollen auch nicht die Bewegungsart erfassen. Es muss sich dabei nicht nur um Längsverschub handeln, sondern es soll auch das Rollen und der Querverschub erfasst werden.

2. Rollbewegungen

Bei einem Bremsversuch in dem Forschungsvorhaben mit quer verladenen Kurzstämmen auf einem Sattelauflieger konnten schwallartige Ladungsbewegung gegen die Stirnwand festgestellt werden. Das Kurzholz machte dabei eine Verschubbewegung, teilweise eine Rollbewegung, die aber auch mit einem Querverschub verbunden war. Diese Bewegungen können ebenfalls der Bewegung eines Blocks (Komplettblock/Teilblock) zugeordnet werden.

5.12.1 Verladetechniken

Die folgende Auflistung der Stautechniken berücksichtigt noch nicht die notwendigen Sicherheitsmaßnahmen zur Sicherung (Kap. 8.).

1. Querverladung in einem Block ohne Berücksichtigung der Ladungssicherungsbelange Kurzholzstämme können quer verladen werden, Abb. 27.

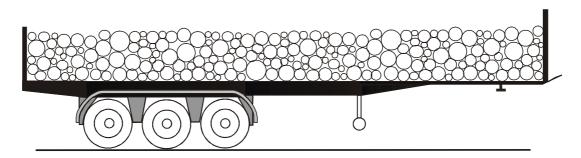


Abb. 27. Querverladung

2. Querverladung in einzelnen Stapeln

Eine Querverladung ist auch in einzelnen Stapeln möglich, Abb. 28. Die Stapel dürfen eine maximale Stapelbreite von $B=4\,\mathrm{m}$ in Längsrichtung nicht überschreiten. Jeder Stapel soll vorn und hinten formschlüssig mit je zwei Rungen oder vorn Stirnwand oder hinten Heckwand begrenzt sein.

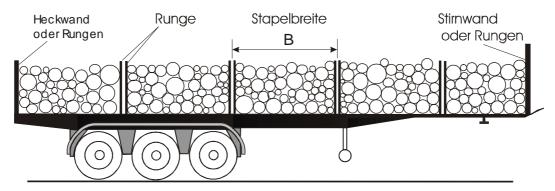


Abb. 28. Querverladung in Stapeln

3. Längsverladung

Kurzholz kann auch in Stapeln längs verladen werden. Bei der Längsverladung, Abb. 29, wirkt zwischen den Rungen ein "Klemmeffekt". Ein Stapel soll von mindestens zwei Rungenpaaren begrenzt werden.

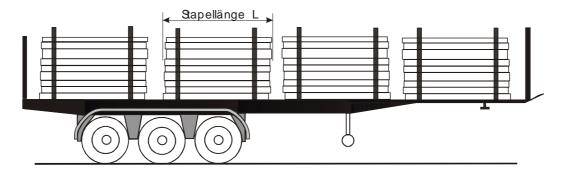


Abb. 29. Längsverladung

4. Gemischte Verladung

Als gemischte Beladung soll die gleichzeitige Verladung von längs und quer liegenden Kurzhölzern bezeichnet werden, Abb. 30.

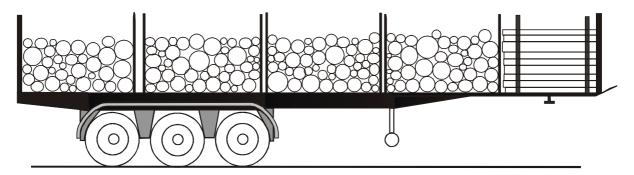


Abb. 30. Gemischte Verladung

6. Reibungszahlen

6.1 Allgemeines

Im Folgenden werden nur Gleitreibungszahlen jeweils in Linienauflage mit dem dazu gehörigen Abzugwert gebracht. Beachtet werden muss, dass die Reibungszahlen für ideale Kurzhölzer von äußeren Einflüssen abhängig sind.

Einflussgrößen sind z. B. • die Holzart, die bei dieser Untersuchung auf Fichte, Kiefer und Lärche beschränkt wurde,

- der Wassergehalt,
- ob in Rinde oder geschält,
- der Zustand der Hölzer (trocken, nass),
- Eis und Schnee können die Reibungszahl erheblich vermindern
- "Störstoffe", wie Erde, Reiser, Rindenstücke, die zwischen den Stämmen liegen.

6.2 Gleitreibungszahlen

Gemessen wurden nur Werte zwischen Kurzhölzern, da davon ausgegangen wird, dass die unterste Lage formschlüssig durch Zahn- oder Keilleisten gesichert wird, da die Reibungszahl zwischen Kurzholz und einer Ladefläche in der Regel kleiner sein wird als die Reibungszahl zwischen Kurzhölzern untereinander.

Gemessen wurden folgende Werte:

Reibpaarung	Kurzholz/Kurzholz	Linienauflage	Abzugwert bei geschlossener Sattellage
	Fichte in Rinde	0,33	0,38 errechnet
	Kiefer in Rinde	0,31	0,63 gemessen
	Lärche in Rinde	0,20	0,23 errechnet

7. Sicherungstechniken

Es werden nur Fahrzeuganforderungen erfasst, die den "Aufbau" betreffen, aber nicht das Fahrwerk (z. B. die Federungsart, die Spurbreite, die Federspur und ähnliche Einflussgrößen).

7.1 Laderaumbegrenzungen

Als Laderaumbegrenzungen sollen Rungen, Seitenwände (klappbar oder demontierbar oder "fest" eingebaut), Stirnwände und Heckwände und ebenso Planen und Netze angesehen werden.

Eine Laderaumbegrenzung soll in der Lage sein, die unter üblichen Verkehrsbedingungen auftretenden Kräfte aufnehmen zu können. Funktionsbeeinträchtigende Verformungen von Stirn- und Heckwänden sind unzulässig. Evtl. auftretende Rollbewegungen und Verschubbewegungen müssen durch die Laderaumbegrenzungen aufgefangen werden können.

7.2 Ladefläche/Ladeschemel

Ladeflächen, Ladeschemel oder Auflagen für Kurzholz sollen mit formschlüssigen Einrichtungen, wie z. B. Zahn- oder Keilleisten versehen sein. Die Einrichtungen sollen stets rechtwinklig zum Kurzholz angeordnet sein. Die Einrichtung zur formschlüssigen Verbindung soll in das Holz eindringen, so dass eine formschlüssige Verbindung zur untersten Lage aufgebaut wird.

Kommen Ladeschemel zum Einsatz, sind diese mit ausreichender Festigkeit formschlüssig mit dem Fahrzeug zu verbinden.

7.3 Rungen und Niederzurrung

Die Verwendung von Rungen ist zulässig. Jeder Stapel (Stack) soll seitlich mit mindestens zwei Rungen rechts und links gehalten werden, Abb. 31 und 32. Die Ladung ist symmetrisch zwischen den Rungen zu verladen.

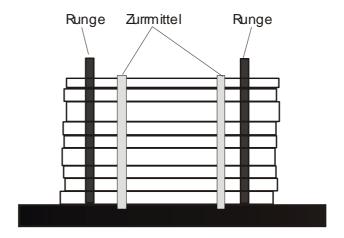


Abb. 31. Rungen und Zurrmittel

Es sollen mindestens zwei Zurrmittel jeweils zwischen zwei Rungen (gleichmäßig über den Stapel verteilt) gesetzt werden.

Die Festigkeit von Rungen soll so bemessen sein, dass sie auch bei maximal möglicher Belastung in der Lage sind, die Ladung zurückzuhalten.

Die Höhe von Rungen soll so bemessen sein, dass sie das am höchsten liegende Kurzholz mit einem Abstand A von mindestens 20 cm überragt.

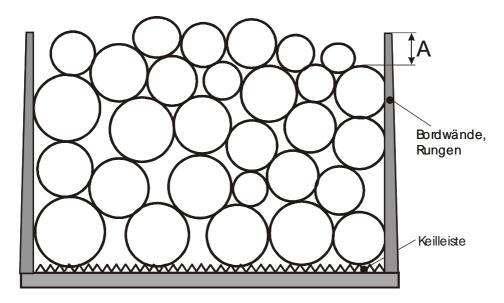


Abb. 32. Sicherheitsabstand oben

7.4 Zurrpunkte

Zurrpunkte müssen in ausreichender Anzahl und Festigkeit am Fahrzeug vorhanden sein. Bei Ladeschemeln ist zu berücksichtigen, dass diese für unterschiedliche Holzlängen flexibel einsetzbar sind. Hierzu können die Ladeschemel in den unterschiedlichsten Positionen arretiert werden. Auch für diese Beladefälle sind Zurrpunkte vorzusehen.

7.5 Winden

Da es sich bei Kurzholz um eine Ladung mit einem hohen Setzungsvermögen handelt, sind Winden oder Spindelspanner besonders geeignet, weil damit hohe Vorspannkräfte aufgebracht werden können. Damit zu jedem Zeitpunkt die erforderliche Vorspannung zur Verfügung steht, sind Winden mit automatischer Nachspannung in besonderer Weise zur Sicherung geeignet.

Handbetriebene Winden müssen so beschaffen sein, dass Kurbeln und Hebel unter Last nicht mehr als 15 cm zurückschlagen können (Rückschlagsicherung). Diese Rückschlagsicherungen (z. B. Sperrklinken) müssen so beschaffen und angeordnet sein, dass Eingriffe ohne Zuhilfenahme eines Werkzeugs nicht möglich sind. Abnehmbare Kurbeln und Hebel müssen gegen Abgleiten und unbeabsichtigtes Abziehen gesichert werden können.

7.6 Anbringung der Zurrmittel

Die beiden Zurrmittel sollten zwischen den Rungen und nach Möglichkeit nahe an den Rungen angebracht werden. Mit dieser Anordnung der Zurrmittel kann erreicht werden, dass ein oben aufliegender Stamm, ca. im jeweils letzten Drittel seiner Länge, wirksam gegen Verdrehen, Ausscheren und damit Herabfallen gesichert ist

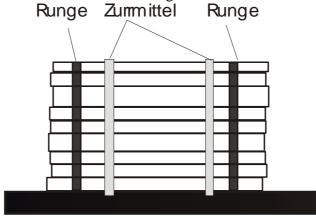


Abb. 33

8. Verladung und Sicherung

Kurzholz darf quer oder längs liegend verladen werden. Die Querverladung in Stapeln nach Abb. 28 und in gemischter Verladung, Abb. 30, ist nur mit allseits ausreichend dimensionierten Laderaumbegrenzungen möglich. Für die Quer- und Längsverladung sind die jeweils für diese Verladung entsprechenden Sicherungsmaßnahmen nach 8.1 und 8.2 zu beachten. Die Längsverladung ist der Querverladung vorzuziehen.

8.1 Querverladung

Um Kurzholz in Querverladung sicher transportieren zu können, sind folgende Punkte zu beachten:

1. Laderaumbegrenzung

Um ein Aufrollen beim Bremsen zu verhindern, sind entsprechend der Stapelbreite (Punkt 5.12.1, Abb. 28) ausreichend hohe und stabile Laderaumbegrenzungen vorzusehen, Abb. 34 und 35.

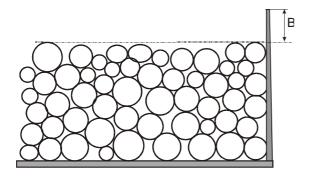


Abb. 34. Höhe Laderaumbegrenzung

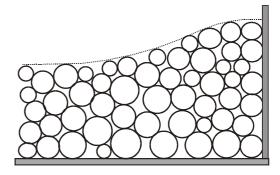


Abb. 35. Schwalleffekt

Das Maß B soll nach Beladung mindestens 20 cm betragen.

Auch seitlich sind Laderaumbegrenzungen in ausreichender Höhe vorzusehen. Das Maß A, Abb. 36, soll mindestens 20 cm betragen.

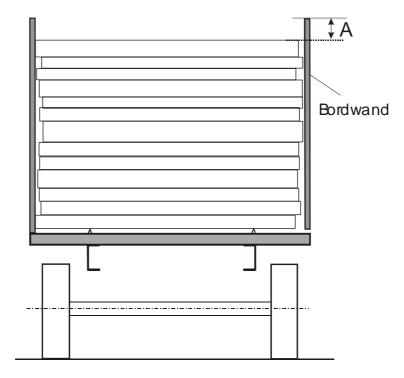


Abb. 36. Sicherheitsabstand oben

2. Ladefläche

Ladeflächen im Kurzholztransport sollen mit formschlüssigen Einrichtungen, wie z. B. Zahn- oder Keilleisten versehen sein. Die Einrichtungen sollen stets rechtwinklig zum Kurzholz angeordnet sein. Die Einrichtung zur formschlüssigen Verbindung soll in das Holz eindringen, so dass eine sichere Verbindung zur untersten Lage aufgebaut wird.

Zurrpunkte müssen in ausreichender Anzahl und Festigkeit auf dem Fahrzeug vorhanden sein.

3. Sicherung

- 3.1 Um ein Aufrollen von Stämmen beim Bremsen zu verhindern, ist das Kurzholz in mehreren Stapeln zu verladen. Punkt 5.12.1 ist zu beachten. Der ballig geladene Stapel ist mindestens mit zwei Zurrmitteln niederzuzurren und damit gegen Verrollen zu sichern.
- 3.2 Über die Niederzurrung sind ausreichend hohe Vorspannkräfte einzubringen, die ein evtl. noch verbleibendes Sicherungsdefizit in Querrichtung ausgleichen müssen. Ist dies nicht möglich, ist die Ladung formschlüssig durch ausreichend dimensionierte Seitenwände zu sichern. Die Niederzurrungen sollten vorzugsweise diagonal über die Ladung erfolgen, um ein Betreten der Ladung auszuschließen.
- 3.3 Die untere Stammlage ist über Zahn- oder Keilleisten formschlüssig auf der Ladefläche zu sichern.
- 3.4 Gegen das seitliche Herausrutschen von in Kavernen liegenden Kurzholzstämmen sind zusätzliche Aufbauten bzw. Einrichtungen zu installieren (Bordwände, Planen, usw.).

8.2 Längsverladung

1. Bauchige Verladung

Bei der Verladung sollen die obersten Kurzhölzer bauchig liegen, Abb. 36.

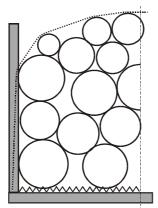


Abb. 37. Bauchige Verladung

2. Ladefläche

Ladeflächen für Kurzholz sollen mit formschlüssigen Einrichtungen, wie z. B. Zahn- oder Keilleisten versehen sein. Die Einrichtungen sollen stets rechtwinklig zum Stamm angeordnet sein. Die Einrichtung zur formschlüssigen Verbindung soll in das Holz eindringen, so dass eine sichere Verbindung zur untersten Lage aufgebaut wird.

Zurrpunkte müssen in ausreichender Anzahl und Festigkeit am Fahrzeug vorhanden sein.

3. Laderaumbegrenzung

Um einen Verschub einzelner Kurzhölzer aus Kavernen bei Beschleunigungen (Anfahren / Bremsen) zu verhindern, sind ausreichend hohe und stabile Laderaumbegrenzungen vorzusehen.

Eine Stirnwand gilt als ausreichend hoch, wenn dass am höchsten liegende Kurzholz überragt wird. Abb. 38.

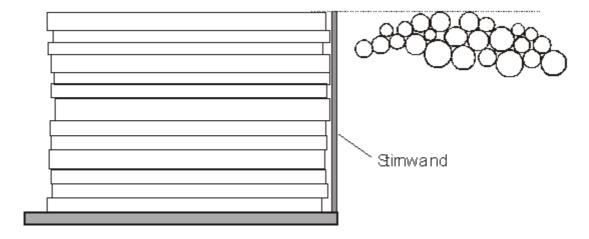


Abb. 38. Höhe Stirnwand

Die Fahrzeuge sollen seitlich mit Bordwänden oder Rungen ausgerüstet sein. Wenn Rungen vorgesehen sind, soll jeder Stapel (Stack) seitlich mit mindestens zwei Rungen rechts und links gehalten werden, Abb. 39.

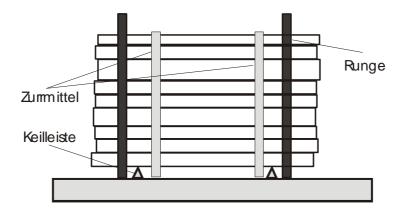


Abb. 39. Rungen und Zurrmittel

Es sollen mindestens zwei Zurrmittel jeweils zwischen zwei Rungen gesetzt werden, Abb. 39.

Die Festigkeit einer Rungen soll so bemessen sein, dass sie auch bei maximal möglicher Belastung in der Lage ist, die Ladung zurückzuhalten.

Die Höhe von Rungen soll so bemessen sein, dass sie das am höchsten liegende Kurzholz mit einem Abstand A von mindestens 20 cm überragt. Abb. 39.

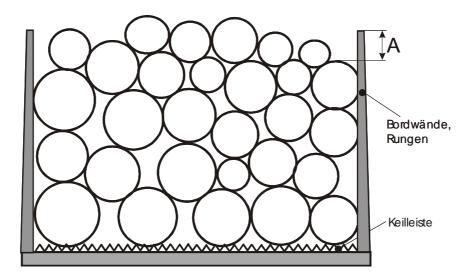


Abb. 39. Sicherheitsabstand oben

4. Sicherung

- 4.1 Soll ein Teil der Ladung über Formschluss nach vorne gesichert werden, muss das Fahrzeug über eine ausreichend feste Stirnwand verfügen. Wird die Sicherung der Ladung durch Niederzurrung sichergestellt, dann muss ebenfalls eine ausreichend feste stirnseitige Begrenzung der Ladefläche vorhanden sein, die in der Lage ist, einzelne, in Kavernen liegende Stämme am Verlassen des Verbundes (Stapel, bzw. Kontur des Fahrzeugs) zu hindern.
- 4.2 Soll ein Teil der Ladung über Formschluss nach hinten gesichert werden, dann muss das Fahrzeug über eine ausreichend feste Heckwand verfügen. Wird die Sicherung der Ladung durch Niederzurrung sichergestellt, dann muss eine ausreichend feste heckseitige Begrenzung der Ladefläche vorhanden sein, die in der Lage ist einzelne, in Kavernen liegende Stämme, am Verlassen des Verbundes (Stapel bzw. Kontur des Fahrzeuges) zu hindern. Soll die Ladung durch Niederzurrungen gesichert werden ist jeder Stapel mit mindestens zwei innenliegenden (innerhalb der Rungen) Überspannungen zu sichern.
- 4.3 Aufgrund des Setzungsvermögens von Holz sind, ggf. mehrfach, die Zurrmittel während eines Transportes nachzuspannen.

5. Literatur

- [1] Versuchsbericht des GDV / BGF
- [2] Research Report 077, UK, Verkehrsministerium, 2003
- [3] VDI 2700 i. d. F. von 1990