

Ladungssicherungstechnologie

(Vorträge - Vorlesungen - Aufsätze)

Ulrich Podzuweit

(Prof. i. R.)

2016

Vorwort

Die vorliegende Ausarbeitung enthält Vorträge und Vorlesungen an der Fachhochschule München, die sich nach Jahr 2000 angesammelt haben und im Rahmen eines Seminars im Dezember 2015 an der Akademie des „Münchner Arbeitskreises für Sachverständige“ (MAS) vorgetragen wurden. Die Ausarbeitung war auf Kraftfahrzeug-Sachverständige ausgerichtet, also nicht nur für Ladungssicherungsfachleute angelegt.

An zahlreichen Stellen wurden zusätzliche Anmerkungen und auch Texte nach dem Kurs eingefügt, die Erläuterungen zu einzelnen Folien oder Sachverhalten geben, um einzelne Aussagen besser verständlich zu machen.

Ulrich Podzuweit

München, im März 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
2	Allgemeines zur Ladungssicherung	11
3	Mechanische und mathematische Grundlagen	26
4	Ursachen für Ladungssicherungsunfälle	64
5	Vorschriften	102
6	Ladungen	122
7	Fahrzeuge Fahrwerk	149
	Aufbau	173
8	Beladungstechnik	196
9	Ladungsverteilung	221
10	Grundlagen der Sicherungstechnik	271
11	Kräfte	304
12	Ladungsbewegungen	334
13	Kraftschlüssige Sicherung	377
14	Niederzurrtechnik	407
15	Berechnungen zur Niederzurrung	454
16	Zurrtechniken allgemein	469
17	Verformungsschlüssige Sicherung	485
18	Buchtflaschingsicherung	526
19	Formschlüssige Sicherung	539
20	Stichwortverzeichnis	560

1 Einführung

Mit dieser Ausarbeitung, die für ein Seminar des MAS (Münchner Arbeitskreis für Kfz.-Sachverständige) erstellt wurde, wurden erstmals vorhandene Vorlesungen und Vorträge zu einem Kurs zusammengefaßt. Der allgemeine Kenntnisstand ist in den letzten 15 Jahren zwar erheblich angewachsen, jedoch stellen sich immer wieder neue Fragen zur Theorie der Ladungssicherung, die von Praktikern nicht oder nur näherungsweise beantwortet werden können. Genannt sei beispielsweise die Diskussion um die Niederzurrungswirkung bei überbreiten Ladungen. Auch bei Anwendung von verschiedenen Zurrverfahren, wie der Kopfschlingensicherung mit zusätzlichen Niederzurrungen, ergeben sich gewichtige Fragen, die nur mit Möglichkeiten der Technischen Mechanik gelöst werden können. Insofern scheint ein Ausbildungskurs, der an der Theorie des Maschinenbaus orientiert ist, eine Notwendigkeit.

Eine geschlossene Theorie zur Ladungssicherung aus der heraus solche Fragen beantwortet werden können, existiert zur Zeit nicht. Es ist deshalb auch geplant, die Vortragssammlung in einer umfassenden Buchform zu erarbeiten. Des Umfang einer solchen Ausarbeitung wegen ist beabsichtigt, sie in der Bibliothek der Hochschule München (hm digital) einzustellen.

Zur Benutzung

Diese Ausarbeitung folgt nicht der üblichen „Richtlinienmechanik“, sondern den Vorgaben der sog. Technischen Mechanik. Bei der Technischen Mechanik handelt es sich um eine Mechanik für Maschinenbauer, die in den letzten 200 Jahren in Europa entwickelt worden ist. Der Schwerpunkt des Kurses liegt auf der Theorie zur Sicherung von Ladungen unter Berücksichtigung der Praxis und bestehender Richtlinien.

Diese Vorgehensweise ergibt für die gesamte Thematik der Ladungssicherung eine Vielzahl neuer Ansätze, Erklärungen und Lösungen. Dabei konnte auf leichte Lesbarkeit nur bedingt Rücksicht genommen werden. Es wurde deshalb ein Einführungsteil in die Technische Mechanik vorweg gestellt, damit bestimmte Grundlagen und Begriffe nachgeschlagen werden können.

Die hier vorgelegte Fassung wurde gegenüber der „reinen“ Vortragsfassung in erheblichem Umfang durch Zwischentexte erweitert, damit einige Folien verständlicher werden.

Der Aufbau der Ausarbeitung folgt einer Systematik der Ladungssicherungstechnologie, die im Kapitel 4 hergeleitet wird.

Da die Ausführungen an zahlreichen Stellen „tiefer“ gehen müssten, wurde Literatur zu den einzelnen Kapiteln angefügt.

Zu einigen Abschnitten wären, was die erarbeiteten Ergebnisse anbelangt, ergänzende Versuche zur Bestätigung nötig. Es gibt zu Einzelfragen nach wie vor Handlungsbedarf. Ergebnisse dieser Ausarbeitung wurden aus Vorgehensweisen der Technischen Mechanik abgeleitet, aber auch aus Versuchen und Untersuchungen.

Es wurde in den letzten 50 Jahren zu wichtigen Einzelthemen, wie z. B. die Folgen von Horizontalstößen an der Ladefläche auf die Ladung oder das Abheben von Ladungen beim Überfahren von Fahrbahnhindernissen, zu wenig geforscht. Gutachten sind hier keine Hilfe, weil die Ergebnisse nur in seltenen Fällen für Veröffentlichungen freigegeben wurden. Eine der wenigen Ausnahmen stellen die Versuche und Untersuchungen dar, die im „Hörger“ im VDI-Verlag 1966 erschienen sind. Auch in der DDR wurde zur Theorie geforscht. Diese Ausarbeitung fußt auch auf diesen Erkenntnissen.

Stichwortverzeichnis

Damit die Foliensammlung schnell und gezielt benutzt werden kann, wurde hinter dem Inhaltsverzeichnis eine Stichwortsammlung eingefügt. Zu einem Stichwort werden jeweils die Stellen aufgeführt, an der Aussagen zu dem Stichwort zu finden sind.

Ziel

Mit dieser Ausarbeitung soll insbesondere für Kfz.-Sachverständige der Disziplin Unfallanalytik ein Basiswissen zur Sicherung von Ladungen verfügbar gemacht werden, das als Grundlage die Technische Mechanik hat. An zahlreichen Stellen der Ausarbeitung wird zusätzlich auf Arbeits- und Denkweisen der Unfallmechanik zurückgegriffen. Damit soll eine Lücke geschlossen werden, die deutlich wird, wenn nach Unfällen im Ladungstransport nach den Ursachen gefragt wird oder die Vermeidbarkeitsfrage beantwortet werden soll. Hierfür fehlt es bisher bei Unfallanalytikern an „Werkzeugen“ zur Bearbeitung solcher Fragen.

Ein weiteres Anliegen ist es, den Sachverständigen der Ladungssicherungsseite durch Rückgriff auf die Technische Mechanik eine Vielzahl von Zusammenhängen der heutigen Sicherheitstechnik zu erklären.

Literatur

Zu den einzelnen Kapiteln gibt es jeweils einen Literaturanhang, wenn weitergehende Aufsätze leicht beschafft werden können. Es gibt zusätzliche Literatur in erheblichem Umfang, die aber leider nicht oder nur schwer öffentlich zugänglich ist.

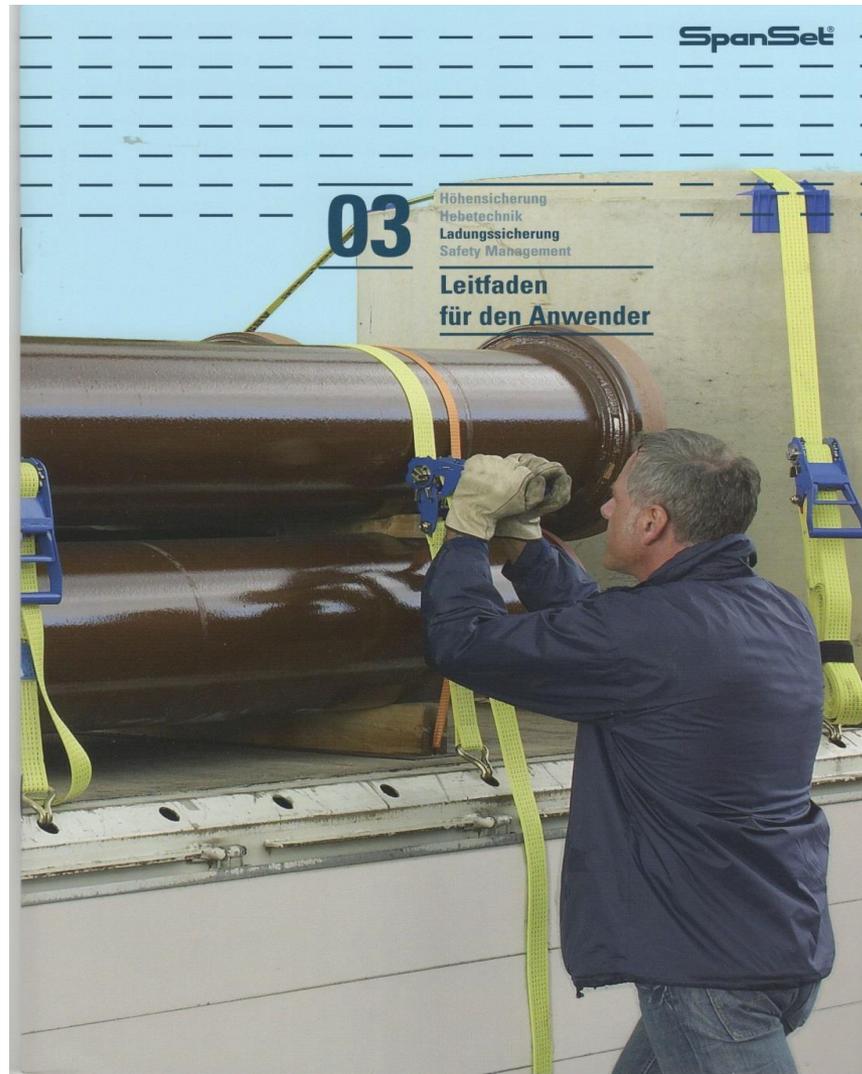
Da die mechanischen Grundlagen im Mittelpunkt stehen und in der Praxis aber auch z. B. die Berechnungsformeln der Richtlinien benötigt werden, wird dieser Einführung auf drei Ausarbeitungen verwiesen, die zum Nachschlagen für Praxisfragen geeignet erscheinen.

Praxisliteratur

Verlag Günter Hendrich GmbH & Co.KG
Info@hendrich-verlag.de
3. Auflage



Fa. Spanset
Jülicher Str. 49-51
52 531 Übach-Palenberg
info@spanset.de



Prof. Ulrich Podzuweit
Holger Lemmer



Ladungssicherung.

Richtig. Wichtig.



Ladungssicherungstechnik

Schäden - Ursachen - Vermeidung

VERKEHRSVERLAG FISCHER

Verkehrs-Verlag J. Fischer
GmbH & Co. KG
Postfach 14 02 65
Corneliusstraße 29 40 215 Düsseldorf
www.Verkehrsverlag-fischer.de

ISBN 978-3-87841-460-5
Bestellnr. 33 104

2 Allgemeines zur Ladungssicherung



Foto: A. Shmeljev

Warum Ladungen sichern?

Wie?

Gegen was?

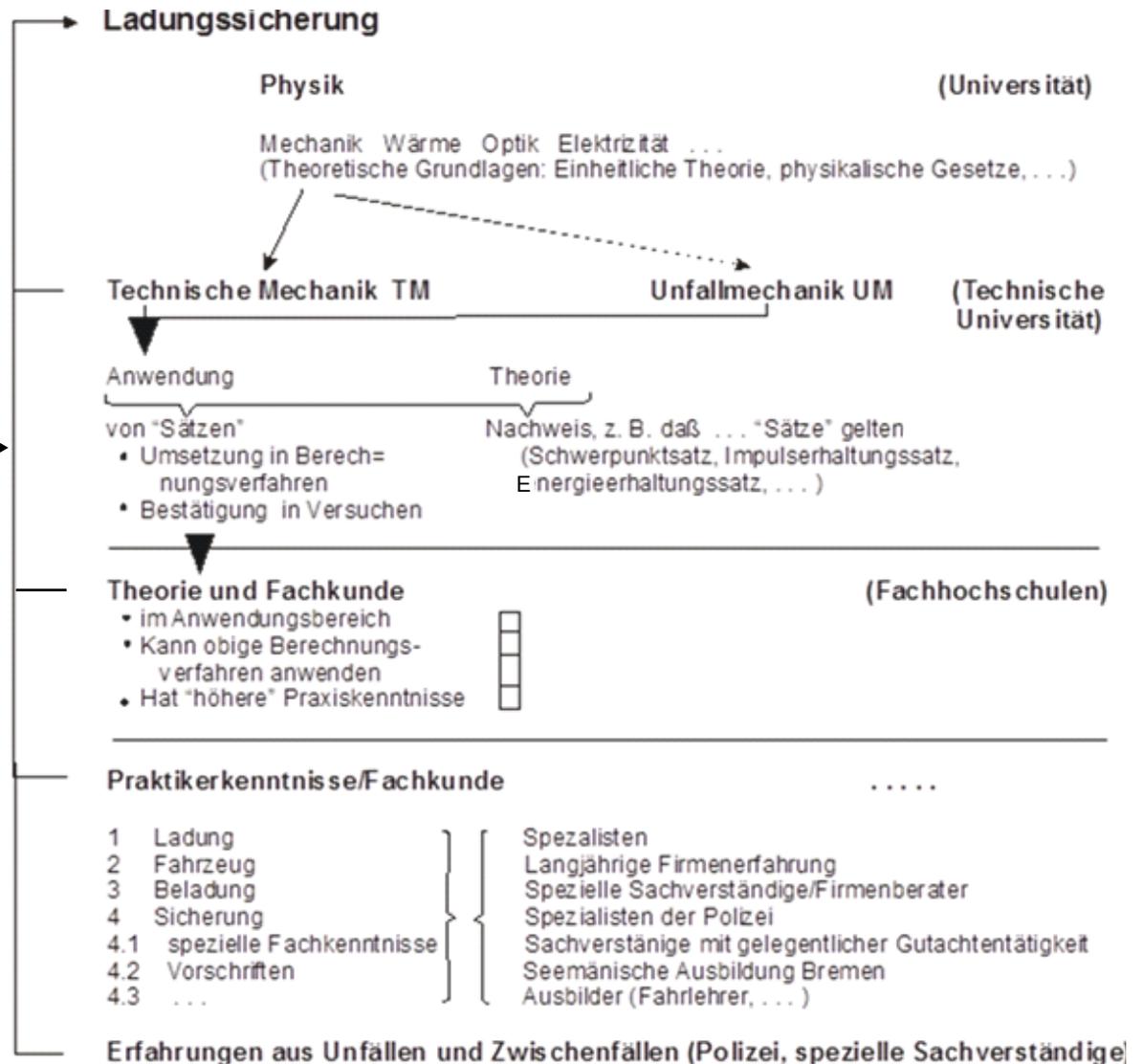
Themengebiete der Ladungssicherung

- Sicherheit im Transport
 - Theoretische Fragen
 - Sicherungstechniken
 - Festigkeiten, . . .
 - Verkehrsträgerspezifische Fragen
 - Fahrweg und Fahrer
 - Vorschriften (geschriebenes Recht - richterliches Recht)
 - Umsetzung (Richtlinien, Normen, Verbindlichkeit, was gilt wo)
 - Haftung (Versicherung, . . .)
 - Schulungsfragen
 - Schutzrechte und Patente
 - Wirtschaftlichkeit
 - Ökologische Fragen
 -
- Theoriestructur der Ladungssicherung

Theoriestructur Ladungssicherung

„Ebenen“ der Ladungssicherungstechnik:

- Technische Mechanik
- Angewandte Theorie
- Fachkunde
- Erfahrungen einzelner Praktiker



Berechnung vor Vermutung!

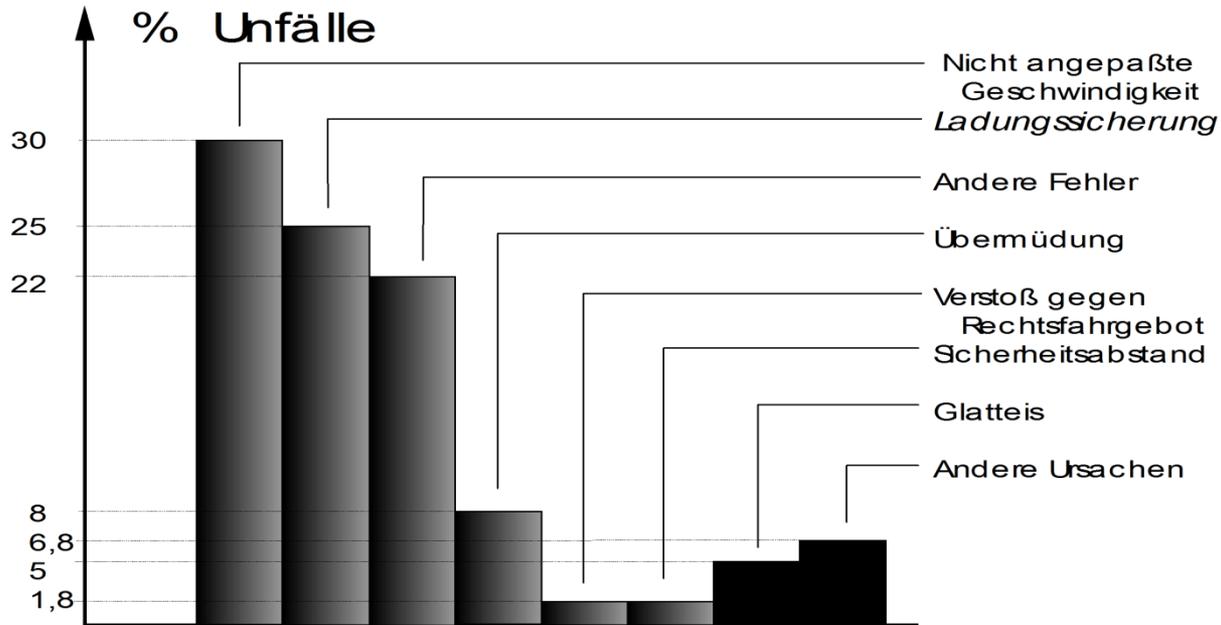
Ladung sichern heißt, die Technische Mechanik richtig anwenden können. Sicherungen müssen berechnet werden können!

Berechnen können bedeutet,

- **wissen, daß eine vorhandene „Theorie“ richtig ist,**
- **ermöglicht neue Fälle „billig“ und zuverlässig „vorher“ lösen zu können,**
- **Alternativen bewerten können,**
- **daß eine Lösung optimiert werden kann und**
- **daß nach einem Unfall recherchiert werden kann, wo die Ursache lag.
(Recherchieren können bewirkt, daß die Unfallzahlen sinken!)**

Die in den folgenden Vorlesungen zugrunde gelegte Technische Mechanik zieht es nach sich, daß eine neuartige Struktur und Einteilung verwendet wird.

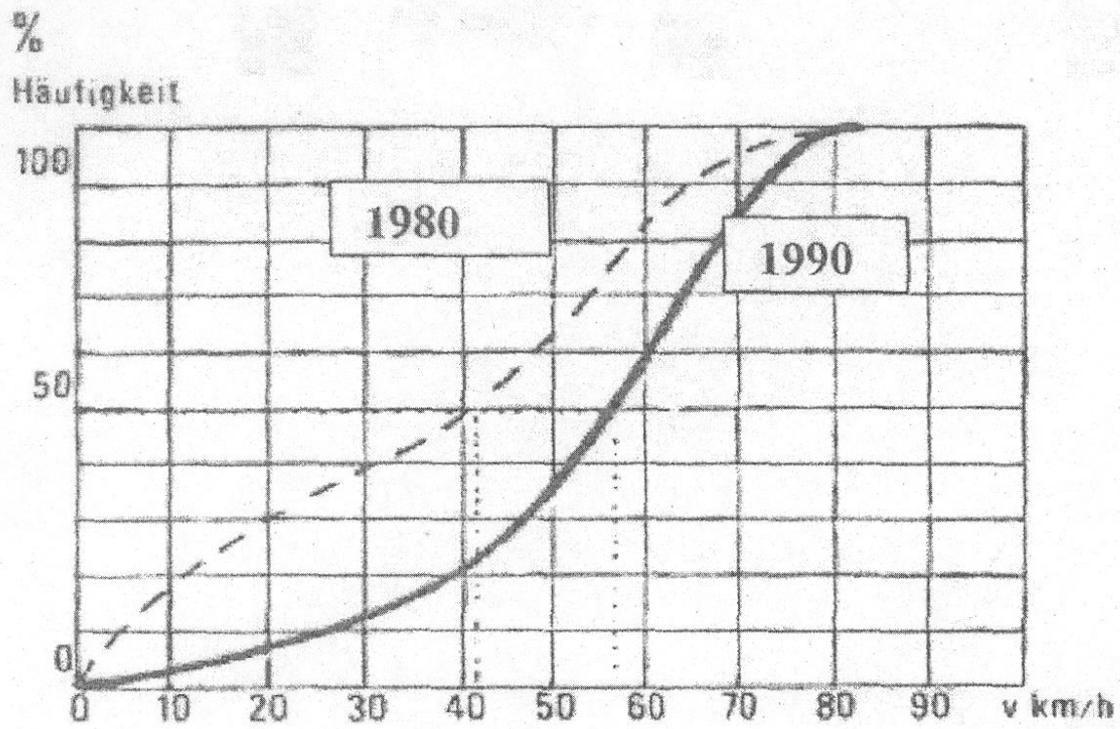
Unfallzahlen Straßentransport



Unfallursachen bei Gefahrgutunfällen in den Jahren 1987 bis 1899 mit Freisetzung von Gefahrgut

Unfallzahlen

Unfallzahlen Straßentransport (Hungariocamion)



„Kippen von LKW-Zügen“ Dr. G. Kövalvi, IdB Hungary
Referat 45. MAS-Fachtagung 4.10. bis 6.10.2002, München

Schadenssummen

Gesamtverband der Deutschen Schadensversicherer (GDV)

Für das Jahr 2000:

Unfälle mit Nutzfahrzeugen	ca.	440 000
Schaden	ca.	3,31 Mrd. DM
Ladungssicherungsunfälle		57 200
Unfallkosten HP/Vk	ca.	430 Mill. DM
Ladungssicherungsschäden	ca.	500 Mill. DM

HP/Vk Volkasko/Haftpflicht

Dekra-Symposium, 30.-31.10.2001, Neumünster

Fragen zur „Sicherheit“ von Ladungen

- Ist das ausreichend gesichert?
- Gegen welche Kräfte muß gesichert werden?
- Mit welcher Methode wird gesichert?
- Gibt es alternative Methoden?
- Kann eine gegebene Sicherungstechnik optimiert werden?
- Welcher „Wirkmechanismus“ wird zur Sicherung eingesetzt?
-

Mögliche Begründungen von Praktikern für die Anwendung einer Sicherungstechnik.
Diese Begründungen zeigen die Praktikervorgehensweise bei Fragen auf!

- Das machen „wir“ schon immer so! \longrightarrow Einzelerfahrung
- Das ist „beste *Fuhrmannspraxis*“! \longrightarrow Erfahrungen einer Branche (Holz)
- Mit anderen Methoden hatten wir
Vorkommnisse! \longrightarrow „Versuch und Irrtum“ bei neuen
Sicherungstechniken
-

**Erfahrungen gehen aber oft auch verloren!
Und optimiert werden kann auch nicht!**

Zum Problem der Gutachtertätigkeit auf dem Gebiet der Ladungssicherung

- **Große Praktikerkenntnisse nötig**
- **Es muß die Technik des Recherchierens bekannt sein.**
- **Kenntnisse, wie Gutachten (Aufbau) begonnen werden kann.**
- **Umfangreiches und teilweise schwieriges Theoriefeld**
- **Gemeinschaftsgutachten versuchen (Netzwerk aufbauen)**
- **...**

Tätigkeitsfelder für Kfz.-Gutachter zur Ladungssicherung

- **Unfallanalytische Gutachten nach Verkehrsunfällen**
- **Unfallursachen ermitteln**
- **Beurteilung der Fahrzeugeignung**
- **Vorschriftenkonformität untersuchen**
- **Zum Gefährdungspotential eines Transports**
- **Gutachten für Gerichte in Zivilprozessen**
- **Firmenbegehungen zu Ladungssicherungsmaßnahmen**
- **Schulungen (Fahrer, Beauftragte, . . .) durchführen**
- **. . .**

Voraussetzungen für Gutachtertätigkeit

- **Kenntnisse über die Struktur der speziellen Ladungssicherungsmechanik**
- **Kenntnisse über Nutzfahrzeugtechnik**
- **Kenntnisse über Betrieb von Nutzfahrzeugen**
- **Kenntnisse zu Ladungen und Ladungstransport**
- **Öffentliche Bestellung sinnvoll**
 - Gutachtererfahrungen in Gerichtstätigkeit notwendig**
- **Zertifizierung als SV für Ladungssicherung**
- **Zugehörigkeit zu Vereinigungen (z. B. KLSK sinnvoll**
 - (KLSK Königsberger Ladungssicherungskreis)**
- **Kenntnisse über das deutsche Tagungs- und Schulungsangebot kennen**
- **...**

Kursziel

Einstieg in Gutachtertätigkeit ermöglichen

Erforderlich für die Tätigkeit:

- **Kenntnisse der Ladungssicherungstheorie**
- **Praktikerkenntnisse nötig**
- **Sachkundig recherchieren können**
- **Kenntnisse und Ertüchtigung zur Gutachtenerstellung**
- **Erfahrungen in einfachen Schulungen sammeln (z. B. Führerscheinkurse)**
- **Methodisch vorgehen können**
- **Netzwerk aufbauen (Kooperationen und Gemeinschaftsgutachten anstreben)**
- **...**

Allgemeines zu den theoretischen Grundlagen der Ladungssicherung

Ist Theorie notwendig?

Eythelweinsche Gleichung für
„Umschlingung“ (Gurtsicherung)
ist nicht anwendbar, weil der Gurt
schräg über die „Ladung“ und
nicht rechtwinklig verlegt wurde!
Wirksamkeit gegeben, aber nicht
nachrechenbar! Eine Sicherungs-
technik muß berechenbar sein!



Zum Problem

Ladungssicherung ist
eine „Praktikerdisziplin“



Ladungssicherung ist
„angewandte Mechanik“

Einzelenerfahrungen → Unfälle/Zwischenfälle/. . .
Erfahrungen einer Branche → „Das macht man so oder so nicht!“
Erfahrungen Transporteure → Richtlinien (Normen)

Problem? Ladungssicherungrichtlinien fehlt in der Regel die
theoretische Grundlage.

Heutiger Zustand Praxis, vielfach ohne Theorie!

Nichts ist praktischer, als eine gute Theorie!

**Theoria sine praxis
est rota sine axis**

**Theorie ohne Praxis
ist wie ein Rad ohne Achse.**

**Sed praxis sine theoria
est asinus in academia**

**Aber Praxis ohne Theorie
ist der Esel in der Schule.**

**Die deutsche Ingenieurpraxis hat diese römische Erfahrung
aufgenommen und in den letzten 150 Jahren angewendet!**

**Übersetzung E. Kant: Theorie ohne Praxis ist leer,
aber Praxis ohne Theorie ist blind.**

3 Grundlagen der Ladungssicherung

Inhalt

- Teil I Grundlagen der Mechanik
- Teil II Gesetze der Mechanik
- Teil III Mathematik

3 Mechanische Grundlagen

Physik geht von Erfahrungstatsachen
in der Natur aus.

Von unseren Sinne erkennt

das Auge

Sichtbares

→ Optik

das Ohr

Hörbares

→ Akustik

...

ein Muskelgefühl

“eine Anstrengung”

= eine Kraft → Mechanik

oder

“eine Ermüdung”

= eine Arbeit → Mechanik

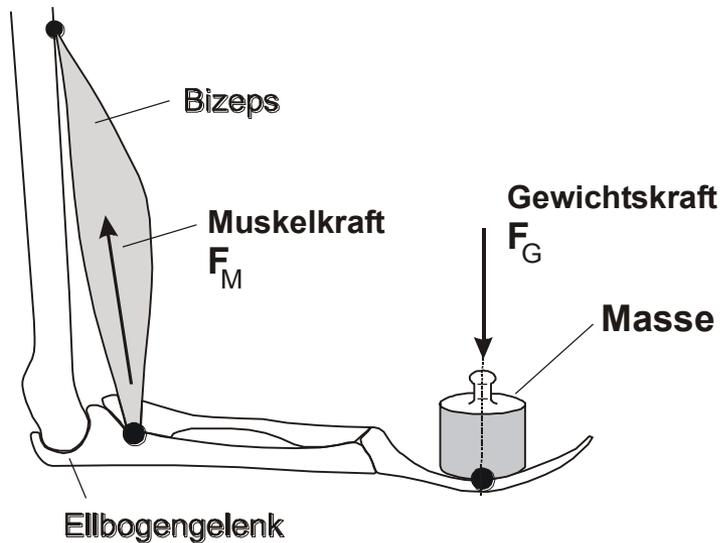
Die Begriffe Kraft und Arbeit sind in der Umgangssprache
unbestimmt und mehrdeutig. Deshalb gibt es in der Me-
chanik als einem Teilgebiet der Physik eigene Festlegungen.

Begriffsfestlegungen = Definitionen

Kraft

Der Begriff der Kraft leitet sich aus dem Gefühl einer Muskelanspannung ab!

Es entsteht keine Bewegung an der Hand.
Im Muskel wird eine „Schwere“ gespürt.



F (von force) steht für Kraft, der Index G für Gewicht .

Kraft gleich Gegenkraft (Muskel), also wird die Masse keine Bewegung ausführen.

→ Statische Kraft (Statik)

Definition einer Kraft

Eine Kraft wird in der Mechanik über die Wirkungen festgelegt (definiert):

Kraft ist Ursache entweder für Verformungen und Bewegungen (= Beschleunigung) oder beides.



Deformation



Beschleunigung
(nach Ladungsverschub)

Definition einer Kraft

als Ursache für Bewegungen:

Isaac Newton (1643 - 1727)

Jeder Körper setzt einer Geschwindigkeitsänderung einen Widerstand entgegen:
Die Massenträgheit.

Es gilt:

Die Trägheitskraft F_T einer Masse ist proportional der Beschleunigung a_B .

$$F_T \sim a_B \quad (1)$$

oder

$$F = m \cdot a_B \quad (2)$$

Masse m ist der Proportionalitätsfaktor zwischen der Beschleunigung und der Kraft.

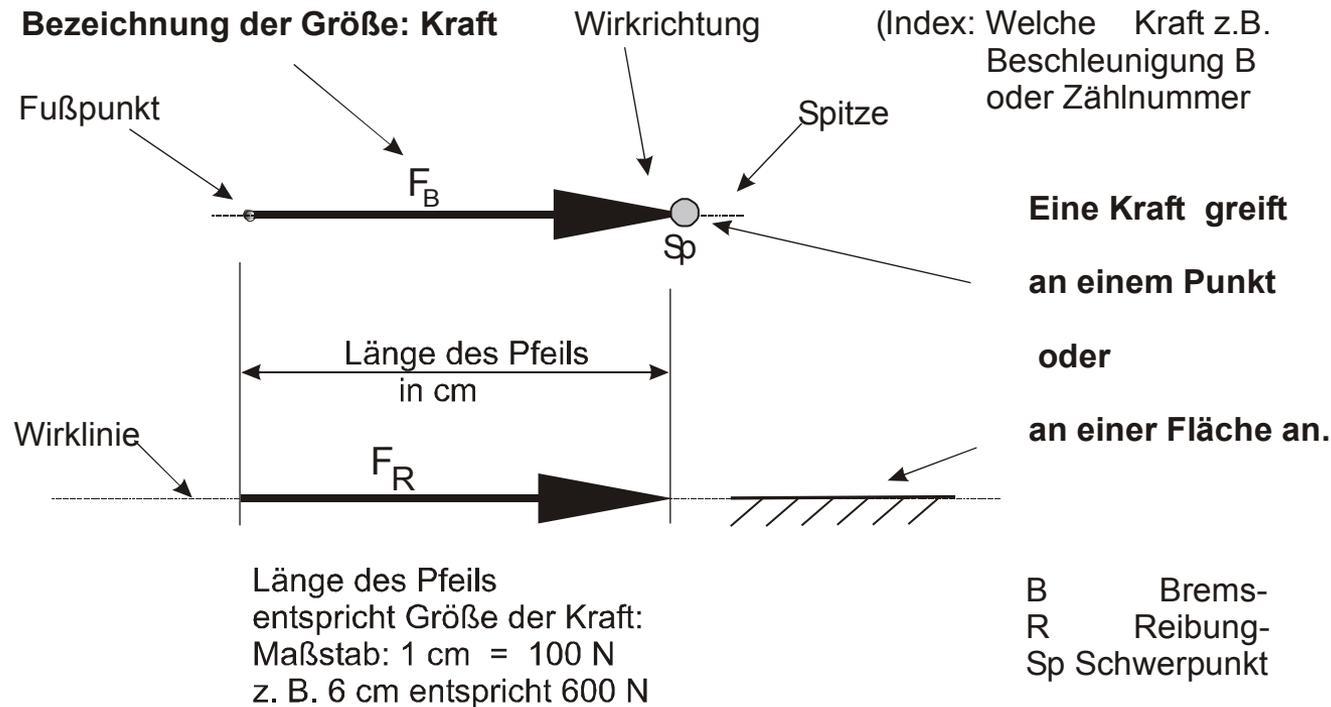
Gilt nur bei starrer Masse!

Achtung: Bigbag, geschichtete Platten und ähnliches sind keine starren Massen.

Darstellung einer Kraft

Kraft ist eine „gerichtete Größe“ und kann mit einem Pfeil dargestellt werden.

Wichtig: Richtung, Größe und Angriffspunkt (Punkt oder Fläche)
„Schwerpunkt“ an Masse, an einer Fläche bei Reibung



Physikalische Größen

Darstellung

Pfeile bezeichnen:

Kraft



**Größe, Richtung,
Angriffspunkt**

Geschwindigkeit



Zeichen v

Beschleunigung



Zeichen a_B

B Beschleunigung

V Verzögerung

Einheit der Kraft

Einheiten:

Begriff	Bezeichnung	Einheit
Masse	m	kg
Beschleunigung a		m/sec ²

Es gilt:

$$F = m \text{ [kg]} \cdot a \text{ [m/sec}^2\text{]}$$

$$\implies F \text{ [kg m/sec}^2\text{]}$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/sec}^2$$

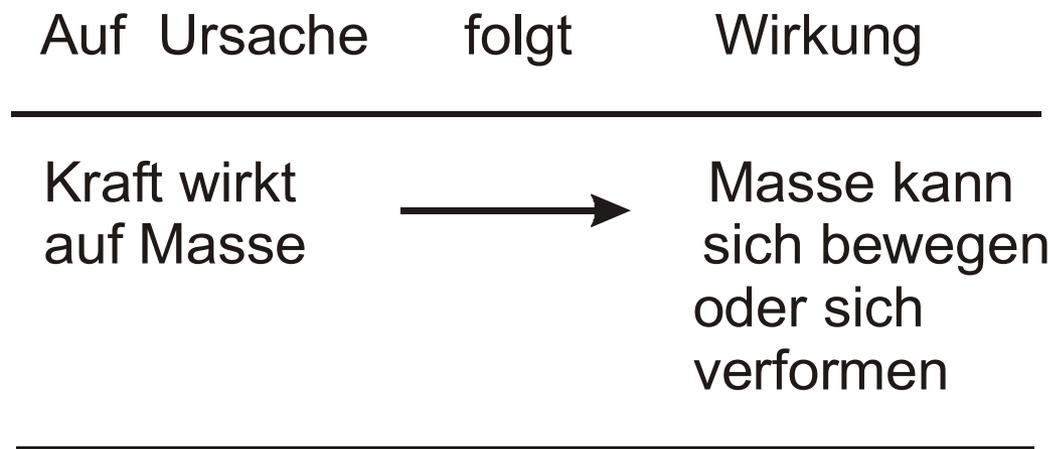
$$10 \text{ N} = 1 \text{ daN (Dekaneuton)}$$

1000 daN entspricht zahlenmäßig der nicht mehr gültigen Bezeichnung Tonne (= 1000 kg).

Für horizontale Beschleunigung und vertikale Anziehung Trägheit Anwendbar.

(„Äquivalenzprinzip“ von Trägheit und Schwere)

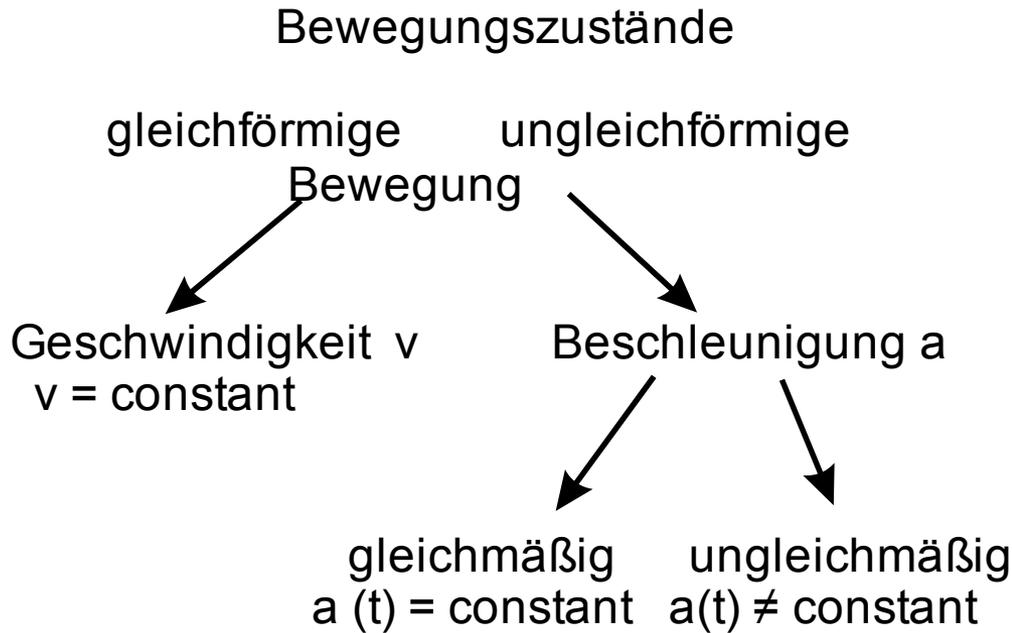
Wenn-dann-Prinzip der Mechanik



Es ist kritisch Ladungssicherungsunfälle nach der Häufigkeit zu bewerten.

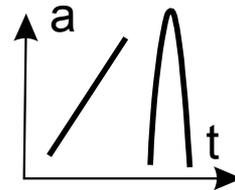
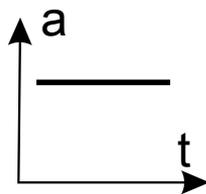
In der Mechanik der Ladungssicherung kann es keine Bewertung nach Ereignishäufigkeit nach Regeln der Statistik geben.

Bewegungszustände



Beschleunigung, konstant

Beschleunigung, ungleichmäßig



Masse

Definitionen einer Masse:

- **Urmeter in Paris**
- **Über den Proportionalitätsfaktor**
- **.....**
- **Eigenschaften einer Masse in der Mechanik:**

Trägheit

horizontale Krafteinwirkung beim Beschleunigen

Widerstand gegen Bewegung: Masseträgheit

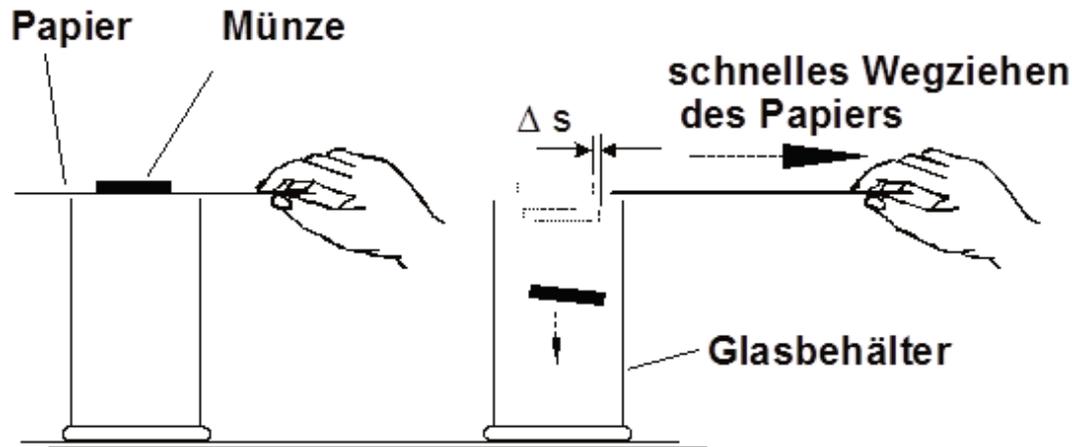
Schwere

vertikale Krafteinwirkung durch Erdanziehung mit g

(mit oder ohne Bewegung)

..... (Chemie, ...)

Zugversuch zur Masseträgheit



Horizontal: Verharren aus der Eigenschaft „Trägheit“ (Masseträgheit)

Vertikal: Fallen aus der Eigenschaft „Schwere“
(Auch die Schwereeigenschaft kann eine Bewegung zur Folge haben!)

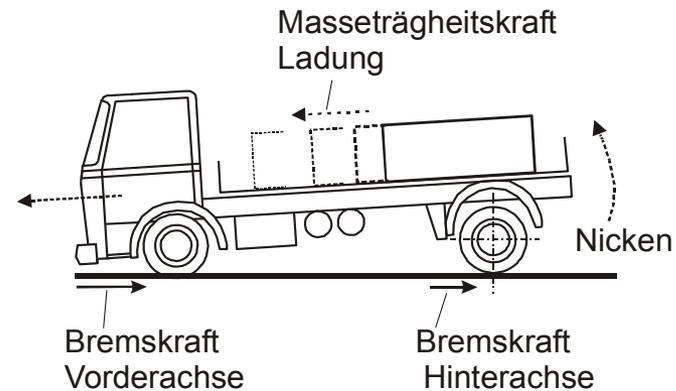
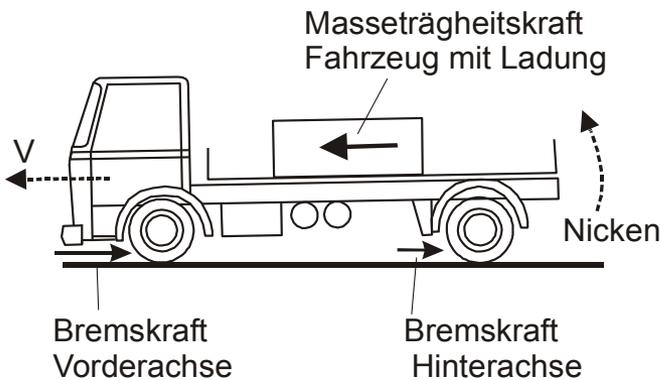
**Masseträgheit setzt immer eine Bewegung voraus und die ist beschleunigt.
Bewegung in Bezug zu was?**

Masseträgheit

Bewegung in Bezug zu was?

Zu einem bremsenden Fahrzeug

Masseträgheitskraft wird nicht erkennbar, weil z. B. die Reibungskraft eine Bewegung verhindert. Sie wird erst erkennbar, wenn die Reibhaftung nicht mehr reicht!



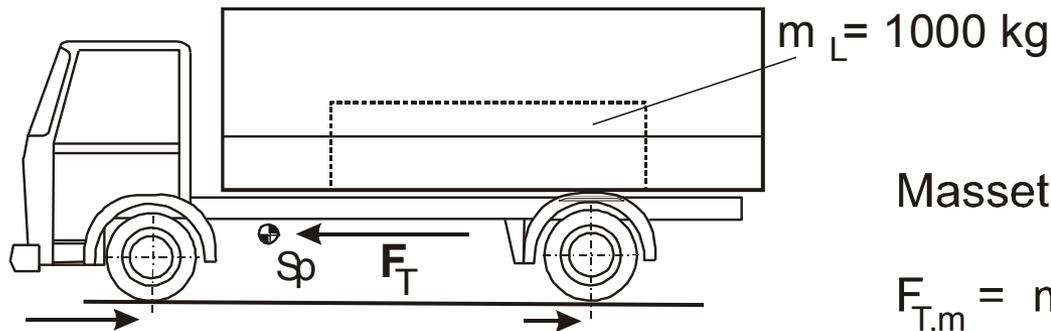
Masseträgheitskraft Ladung

geht in die Masse der Fahrzeugs ein.

(VDI 2700)

Ladung in Bewegung

Berechnung Masseträgheit beim Bremsen



Masseträgheitskraft an der Ladung

$$F_{T,m} = m_L \cdot a_V = m \cdot 0,8 g$$

$$= 1000 \text{ kg} \cdot 0,8 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} = 800 \text{ daN}$$

Fahrzeug mit Ladung $m_L = 1$ Tonnen,
gebremst mit 8 m/sec^2

Wenn die Reibhaftung größer als $\mu = 0,8$ ist
wirkt am Schwerpunkt S_p eine Masseträg-
heitskraft F_T Fahrzeug- und Ladungsmasse.

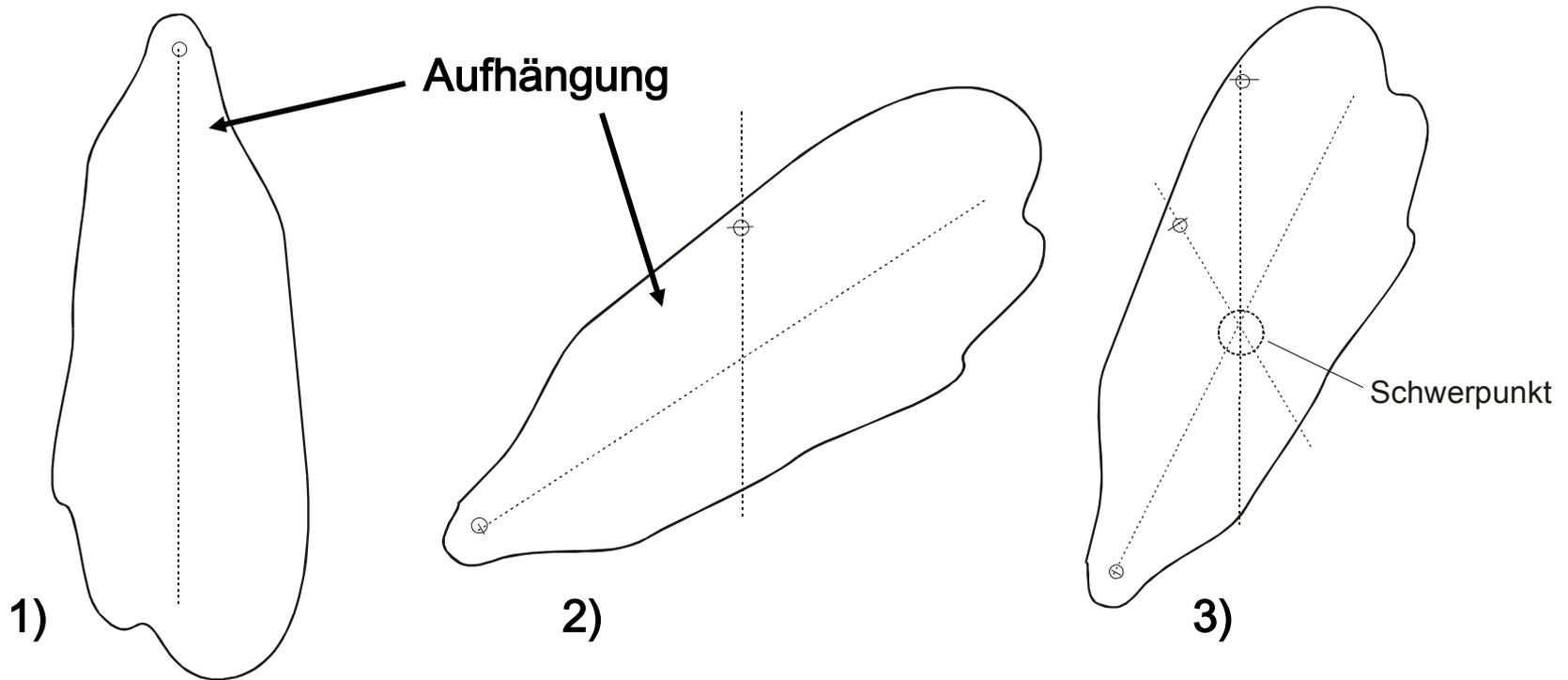
Schwerpunkt einer Masse

Schwerpunkt ist

- ein „fiktiver Punkt“ (gedachter Punkt)
- wichtig für Behandlung von Kräften an einer Masse
- ist wichtig bei Ladungsbewegungen

Greifen an einem Körper äußere Kräfte an, so richtet sich die Bewegung des Gesamtkörpers nach der Bewegung des Schwerpunktes, bzw. in Bezug zu diesem Punkt bei Drehbewegungen einer Masse.

Schwerpunkt einer Fläche



Den Schwerpunkt einer Fläche kann man ermitteln, indem die Fläche an verschiedenen Punkten aufgehängt wird und jeweils eine Falllinie gezogen wird. Der Schwerpunkt ergibt sich dann aus dem Schnittpunkt der Falllinien. (Annahme: Platte mit konstanter Dicke!)

Schwerpunkt einer Ladung



Schwerpunktsermittlung

Ein Schwerpunkt kann aus dem Ankippen einer Ladung aus der Geometrie des Kippens ermittelt werden.

Ein Schwerpunkt kann durch messen der Auflagerkräfte in der Ebene und nach einseitigen Anheben ermittelt werden, bzw. aus der Winkelmessung bei der Anhebung.

Schwerpunkt Ladung

Schwerpunkt Fahrzeug

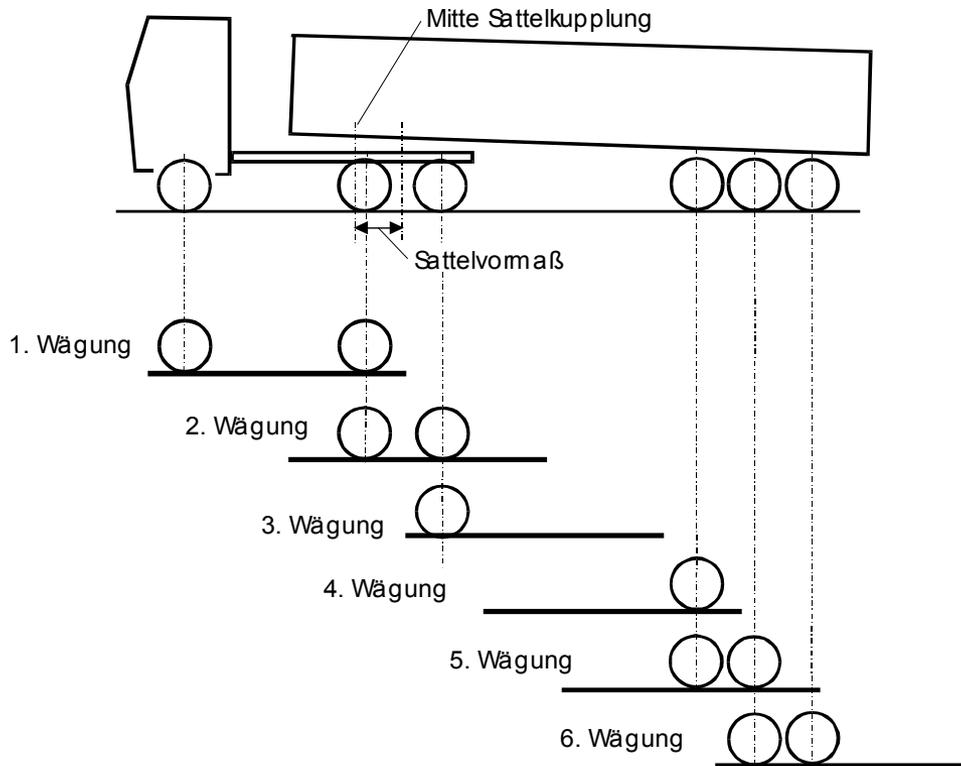


Angabe Lage
Ladungsschwer-
punkt bei Maximal-
last auf dem
Fahrzeug

Bei 28 Tonnen
Ladungsmasse muß
der Schwerpunkt
hierliegen!

Schwerpunktsermittlung in Längsrichtung

Schwerpunktsermittlung aus Verwiegen eines Leerfahrzeugs



Hebelgesetz:

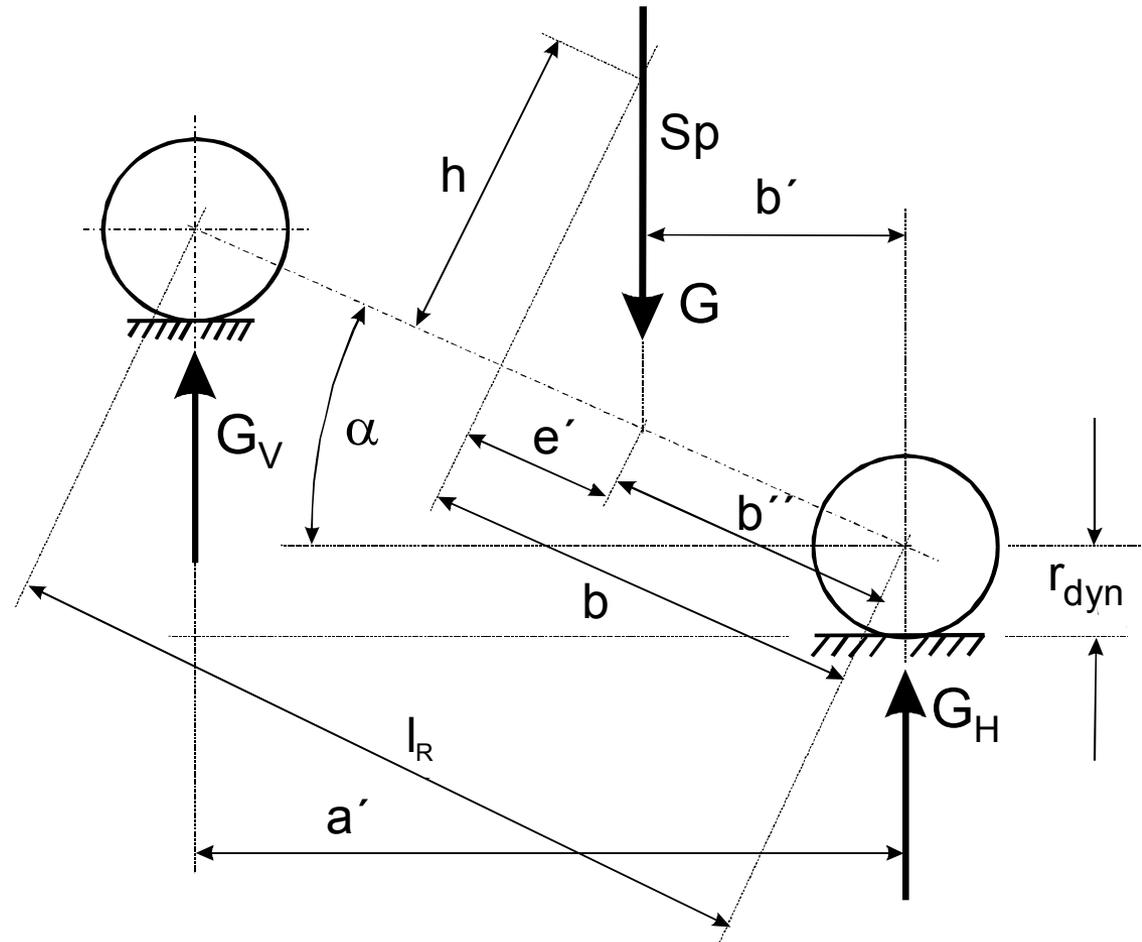
$$F_{\text{Res}} \cdot x_{\text{Res}} = \sum_i F_i \cdot x_i$$

$$x_{\text{Res}} = \frac{\sum_i F_i \cdot x_i}{F_{\text{Res}}}$$

Aus den einzelnen Wägungen kann mittels mehrerer Gleichungen die Last auf den einzelnen Achsen aus dem Leergewicht errechnet werden.

Vertikale Lage Gesamtschwerpunkt LKW

Das Fahrzeug wird angehoben. Dabei werden die Achslasten gemessen. Mit dem Anhebungswinkel α und den Achslasten auf Vorder- und Hinterachse bei dieser Anhebung kann die Schwerpunkthöhe h des Fahrzeugs in diesem Auslastungszustand ermittelt werden.



$$\tan \alpha = \frac{e}{l} \quad l = e / \tan \alpha$$

$$e = b - b''$$

$$\cos \alpha = b' / b''$$

$$= a' / l_R$$

$$a = l_R \cdot \cos \alpha$$

Moment um D

$$G (a' - b') = G_{H'} - a'$$

$$G a' - G b' = G_{H'} a'$$

$$- G \cdot b' = a' \cdot (G_{H'} - G)$$

$$\tan \alpha = (b - b'') / l$$

$$l = (b - b'') / \tan \alpha$$

$$= \frac{b - b' / \cos \alpha}{\tan \alpha}$$

$$= \frac{\tan \alpha (b \cos \alpha - a' - G_{H'} a' / G)}{\cos \alpha}$$

$$\cos \alpha = a' / l_R$$

$$\cos \alpha = a' / l_R$$

b ist Abstand Sp von Hinterachse

$$G (l_R - b) = G_H \cdot l_R$$

$$b = \dots\dots\dots$$

$$= \frac{l_R (G - G_H)}{G}$$

$$b = l_R - l_R G_H / G$$

$$l = \operatorname{ctan} \alpha (l_R - l_R G_H / G - l_R + G_H' / G l_R)$$

$$l_R \operatorname{ctan} \alpha (G_H' - G_H) / G$$

$$h_S = l + r_{\text{dyn}}$$

Arbeit - Energie

Energieformen:

Arbeit, elektrische Energie, Wärme (Strom), chemische Energie (Sprengstoffe),
optische Energie (Laser), Kernenergie, . . .

Mechanische Arbeit und Wärme sind zwei verschiedene, ineinander umwandelbare
Formen der Energie.

Mechanik kennt Arbeit von Lageenergie
und
Bewegungsenergie

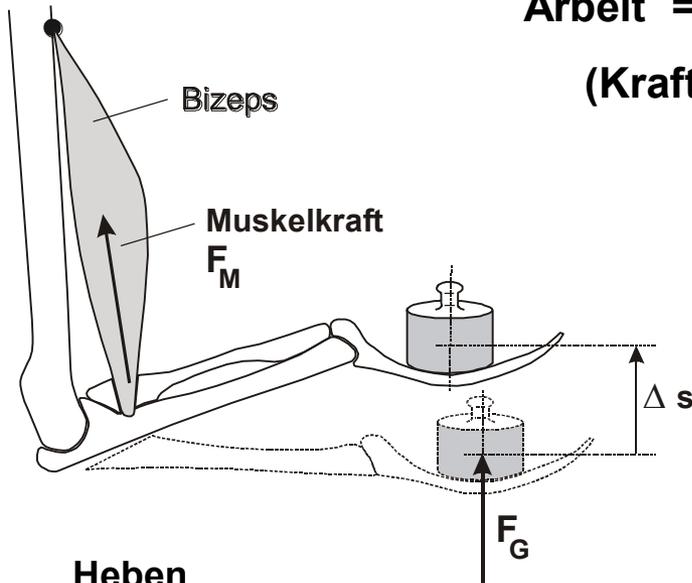
(Reibungsenergie gehört zur Wärmelehre der Physik!)

Lageenergie - Bewegungsenergie

Arbeit = Kraft F mal Weg Δs

(Kraft längs des Weges!)

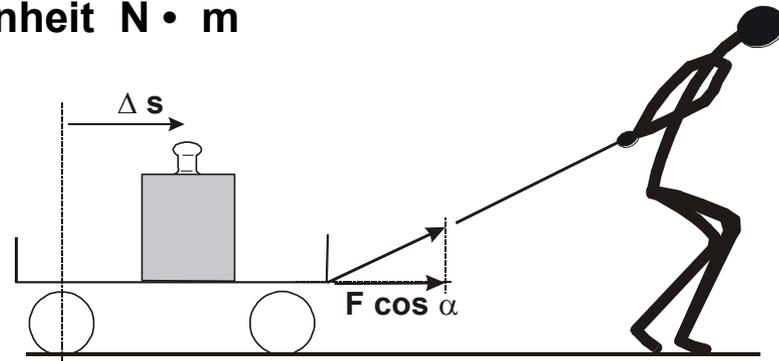
Einheit $N \cdot m$



Heben

Energie der Lage

$$E = F_L \cdot \Delta s$$



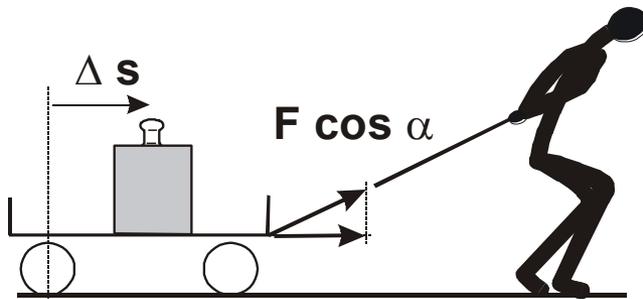
Ziehen

horizontale Bewegung

$$E = F \cos \alpha \cdot \Delta s$$

Abgrenzung Arbeit und Moment

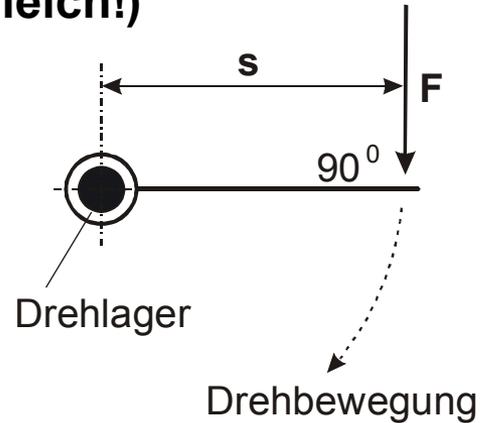
Einheit N m (In beiden fallen gleich!)



Definition Arbeit

Arbeit = Kraft mal Weg

Einheit : N m



Definition Moment

Moment = Kraft mal Abstand

N m

Schreibweise in beiden Fällen Nm, mN!

Ladungsmasse

Masseeigenschaften: Starr, elastisch, plastisch

Ladungsmasse prallt auf → kinetische Aufprallenergie

$$E_{\text{kin}} = m_L \cdot v_A^2$$

Aufprallgeschwindigkeit

$$v_A = \sqrt{2 s_L (a_{\text{LKW}} - \mu_G \cdot g)}$$

bei Bremsung

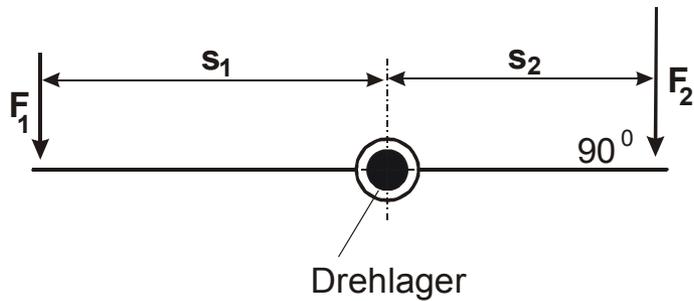
$$v_A = \left(\frac{v^2}{R} \cos \alpha - \mu_G \cdot g \cdot \sin \alpha \right) \cdot t$$

bei
Kurvenfliehkraft

α Ladeflächenneigung

Teil II Gesetze der Mechanik und Mechanismen

Hebelgesetz

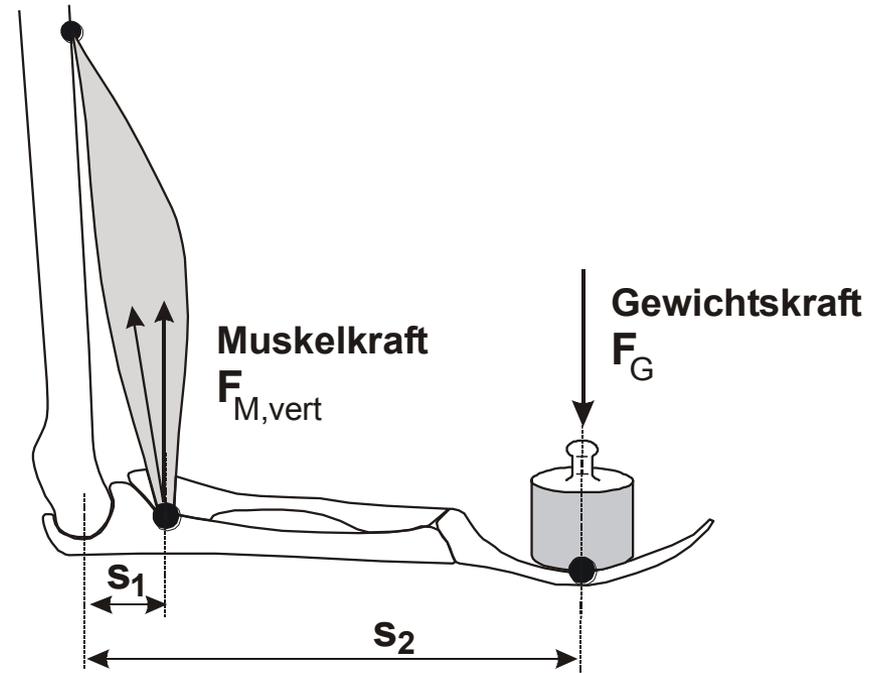


Wenn die Momente aus F_1 mal s_1 und F_2 mal s_2 gleich groß und entgegen gerichtet sind, wird das System ohne Bewegung sein.

Archimedes

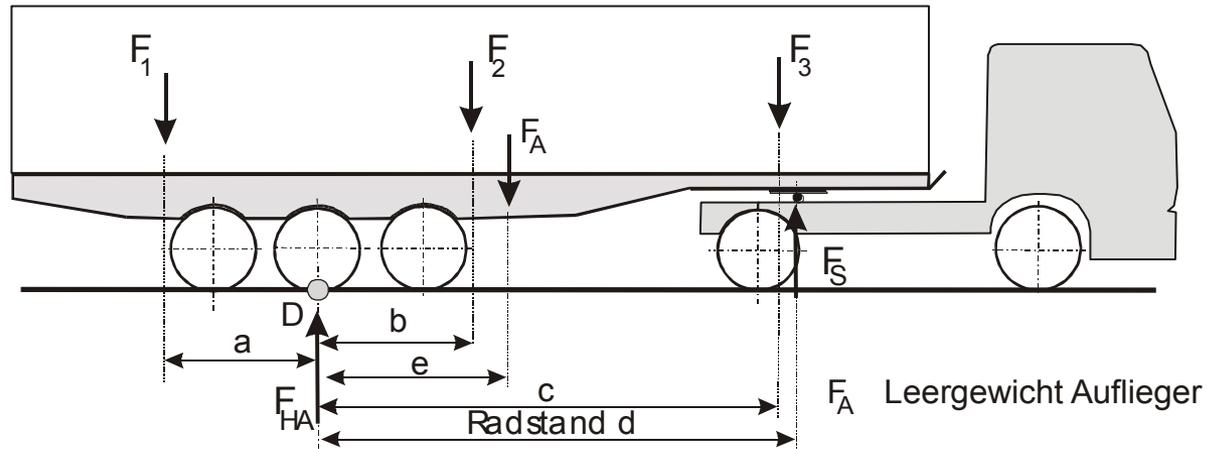
$$F \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$

$$F_G \cdot s_2 = F_{M,vert} \cdot s_1$$



Achslastermittlung

Beispiel



$$F_1 = F_2 = F_3 = F \text{ (z.B. = 7500 daN)}$$

$$\text{Vertikales Kräftegleichgewicht: } \cdot F_{HA} = 3 F + F_A \quad (1)$$

$$\text{Um Drehpunkt D: } F \cdot b - F \cdot a + F \cdot c - F_S \cdot d + F_A \cdot e = 0 \quad (2)$$

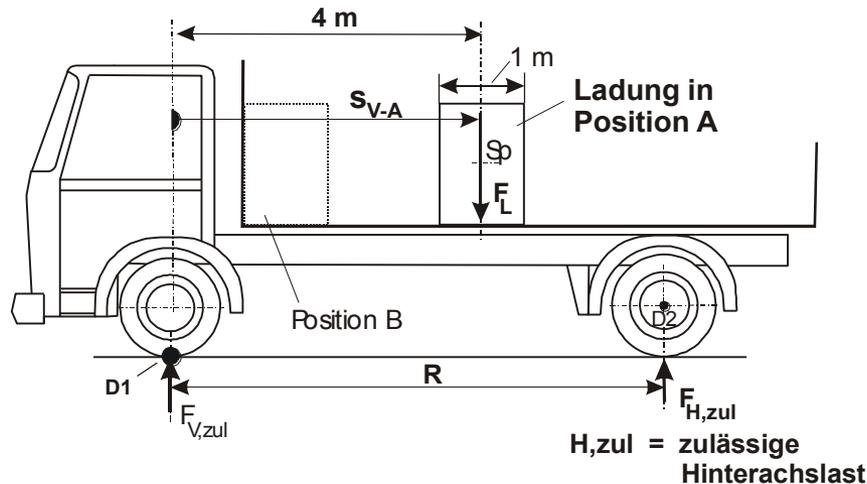
F_A einsetzen und (2) nach F_S auflösen.
(2) errechnen.

Mindestachslast vorn: 20 % von der Gesamtmasse

Antriebsachse/n hinten: 20 % von der Gesamtmasse

Hebelgesetz

Beispiel



Annahme: Ladung in der Mitte des Fahrzeugs positioniert

Zulässige Hinterachslast: 10 Tonnen

Ladung: 1000 daN

bekannt sind noch:

Radstand R: 6,3 m

Abstand s_{V-A} : 4 m

Hinterachsbelastung aus Lage Ladung?

Hebelgesetz

Bei Drehung um D

ergibt sich: $\overset{D1}{\curvearrowright} F_{H,zul} \cdot R = F_L \cdot s_{V-A}$

Tatsächliche

Hinterachsbelastung:

$$F_{H,tat} = \frac{F_L \cdot s_{V-A}}{R}$$

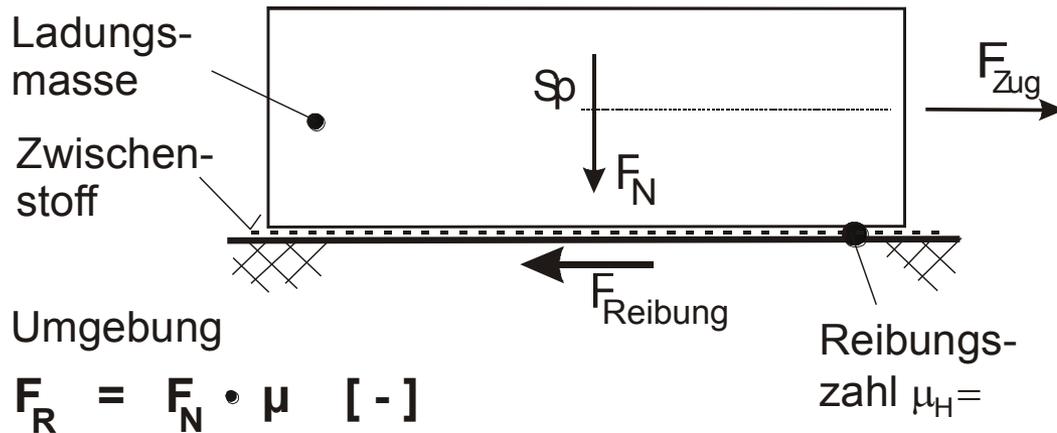
in Zahlen:

$$F_{H,tat} = \frac{1\,000 \text{ daN} \cdot 4 \text{ m}}{6,3 \text{ m}}$$

Die tatsächliche Hinterachslast beträgt: $F_{H,tat} = 635 \text{ daN}$

Die Hinterachse ist also nicht überlastet!

Reibungsgesetz – horizontale Fläche



$$F_R = F_N \cdot \mu \quad [-]$$

Reibungskraft ist gleich Normalkraft mal Reibungszahl.

μ kleines griechisches "m" (mü)

μ_H Haftreibungszahl (keine Einheit)
Haftreibungskoeffizient
Reibbeiwert

μ_G Gleitreibungszahl (keine Einheit)

Coulombsche Reibung

Einflußgrößen:

Aufstandsfläche Ladung

Gegenfläche

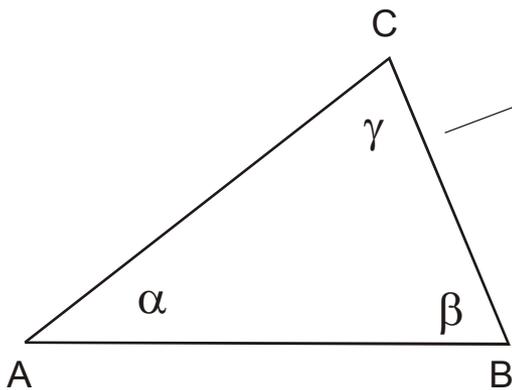
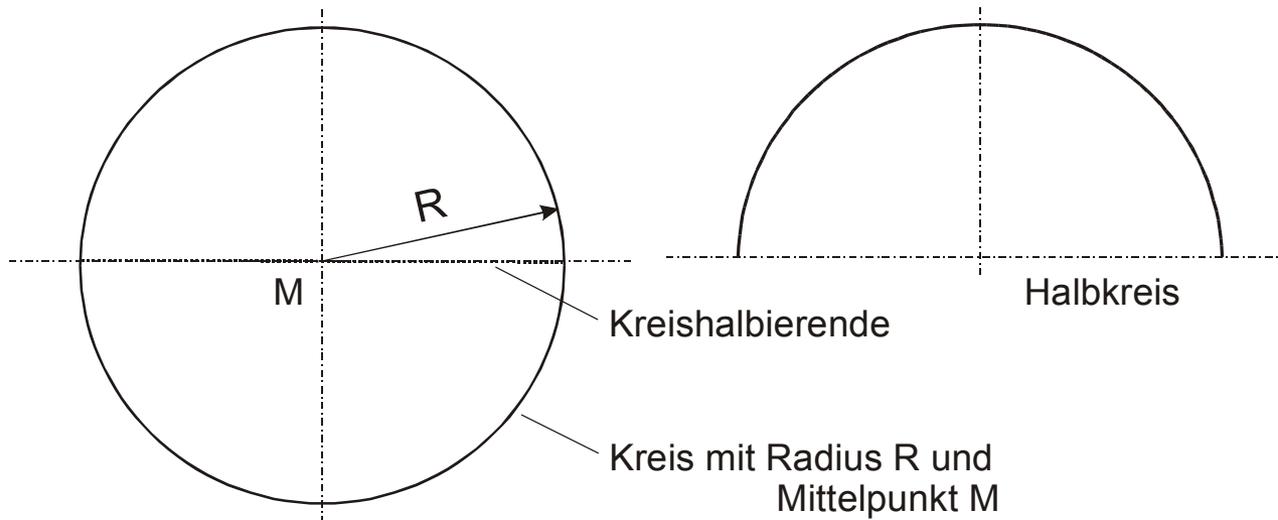
Zwischenstoff

Umgebung

Reibungsgesetz

Berechnungsgrundlagen

Kreis und Dreieck

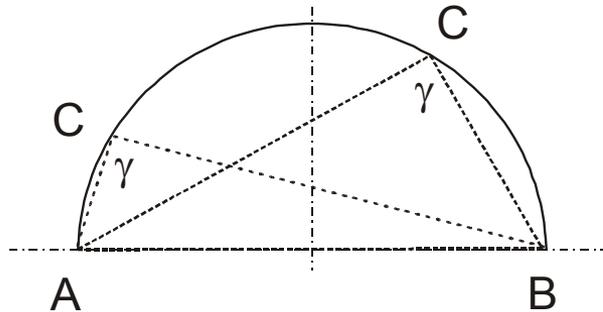


Dreieck mit den Eckenbezeichnungen
A B C
und
den Winkeln $\alpha, \beta \gamma$

Kreis

Dreieck

Dreieck im Halbkreis



Für alle Punkte C gilt, wenn sie auf dem Halbkreisbogen liegen, daß der Winkel γ stets 90 Grad beträgt!

Eigenschaften:

Der Winkel γ hat immer 90 Grad, wenn alle Dreieckspunkte (A, B, C) auf dem Halbkreis, A und B auf der Kreishalbietenden liegen!

Ein 90 Grad-Dreieck wird als rechtwinkliges Dreieck bezeichnet.

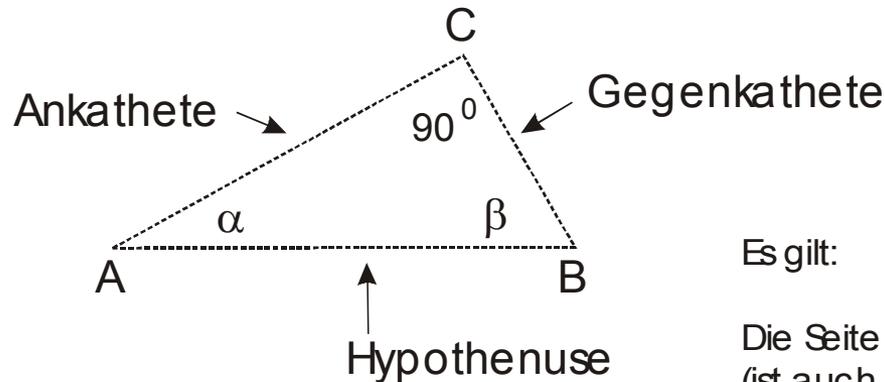
Winkelsumme aller Winkel im "rechtwinkligen" Dreieck ist 180 Grad.

α, β, γ
A, B, C

Phytagoras
Rechtwinkliges Dreieck

Rechtwinkligen Dreieck

Bezeichnungen



Winkelfunktionen

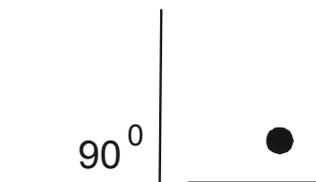
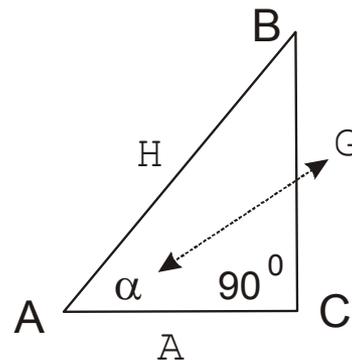
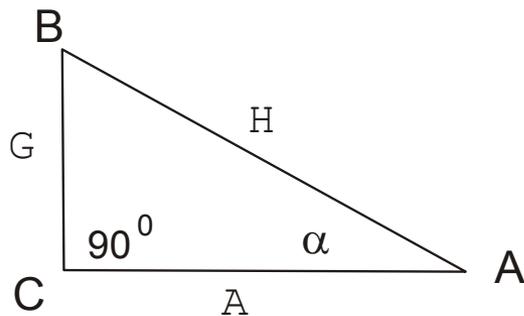
Sinus

Cosinus

Es gilt:

- Die Seite gegenüber C heißt Hypothenuse H (ist auch stets die längste Seite im Dreieck)
- Die Seite gegenüber A heißt Gegenkathete G
- Die Seite gegenüber B heißt Ankathete A

$$\gamma = 90 \text{ Grad}$$



Winkelfunktionen

$$\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypothenuse}}$$

sin Sinus

$$\cos \alpha = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypothenuse}}$$

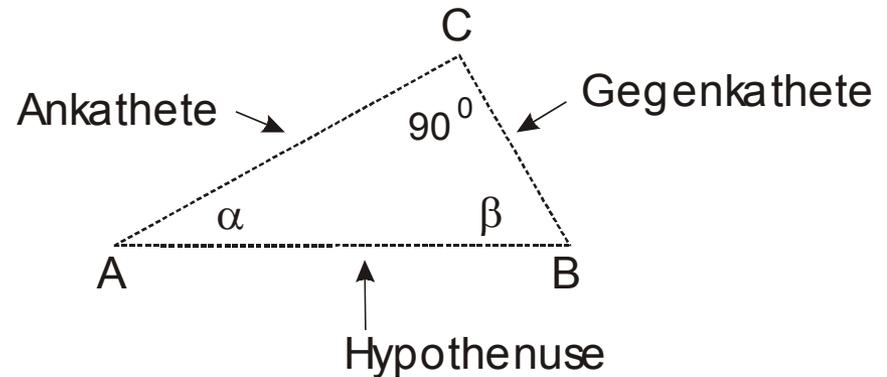
cos Kosinus

$$\tan \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$$

tan / tg Tangens

$$\text{ctan } \alpha = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}$$

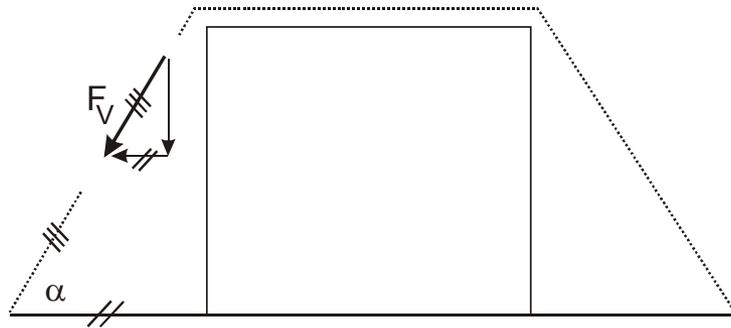
ctan / ctg Kotangens



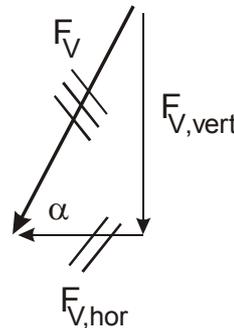
Streckenmessung vor Winkelmessung!

Kraft im Zurrmittel

Zurrwinkel



// } Bedeutet:
 ≡ } Liegen parallel



$F_{V,hor}$ und $F_{V,vert}$ ersetzen
 die Kraft F_V .

Da bestimmte Strecken
 parallel liegen, sind auch
 die Winkel (α) gleich, so
 auch Alpha.

Wird nun die Kraft F_V mit 100 % angenommen,
 so ergibt sich für die Vertikalkomponente von
 $F_{V,vert}$:

$$\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{F_{V,vert}}{F_V}$$

$$\sin 60^\circ = 0,8660 \Rightarrow F_{V,vert} = 100 \% \cdot \sin 60^\circ$$

$F_{V,vert} = 86 \%$ Von 100 % einer Kraft sind nur 86 %
 vertikal wirksam.

45 Grad	70 %
60 Grad	86 %
75 Grad	95 %
90 Grad	100 %

4 Ursachen für Ladungssicherungsunfälle

Ladungssicherungsunfall - Begriff

Ein Unfall ist ein „Ereignis“ 1)
mit einem Schaden
im normalen Ladungstransport
aus fehlender oder unzureichender Sicherung oder
der falscher Stauung der Ladung
auf einem Fahrzeug.

Schaden muß bleibend,
sichtbar und
bekannt geworden sein.

Ladungssicherungsunfall, Definition

Ladungssicherungsunfall, Ursachen

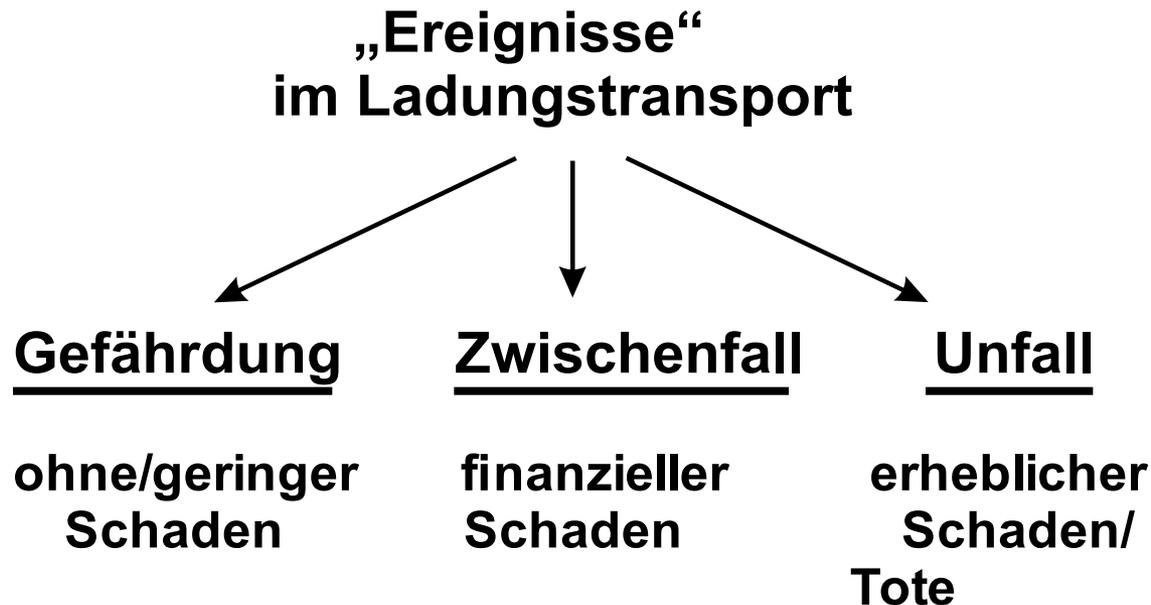
Ladungssicherungsunfall, Schaden

„Ereignis“ 

1) „Unvorhersehbares Ereignis“: Bei falscher, unzureichender Ladungssicherung wäre ein Ereignis vorhersehbar!

Warum Ladungssicherung?

Mit einer „Sicherung“ sollen „Ereignisse“ im Ladungstransport und ihre Folgen verhindert werden!



„Ereignisse“ im Holztransport



Abladung ohne Schaden.

Ursache: Eigenbewegung der Ladung



Hoher Sachschaden:
2 LKW, 3 PKW
verunglückt.

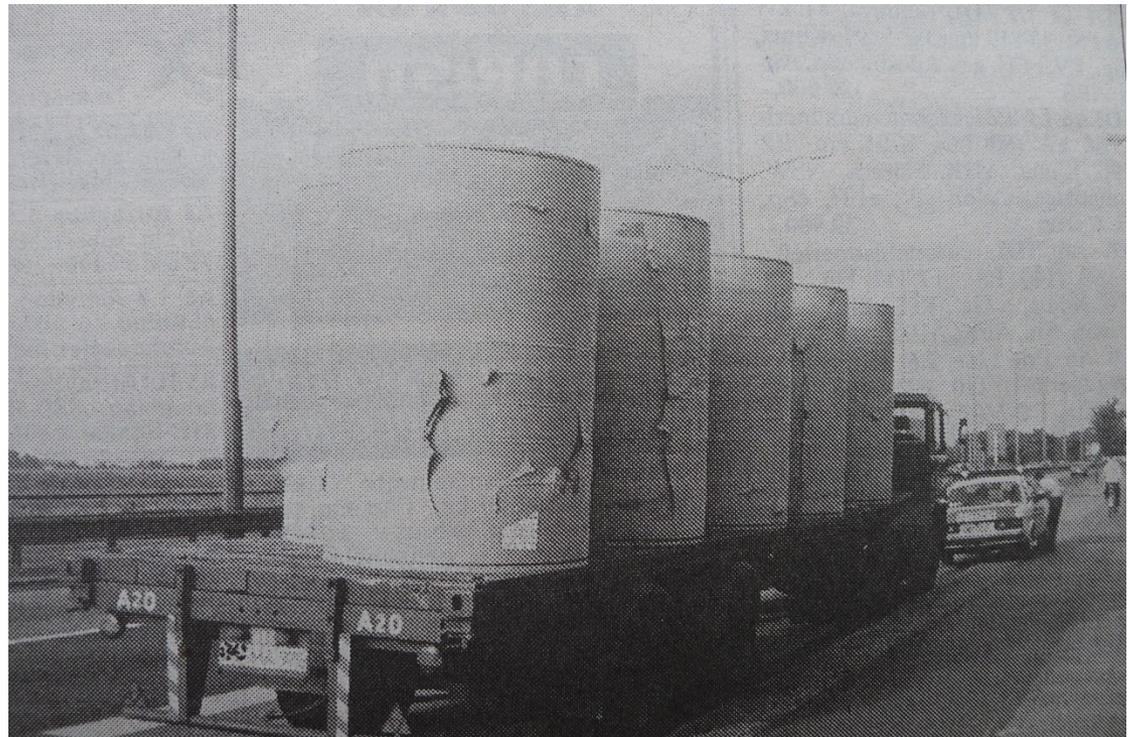


2 Tote!

Unfälle und Zwischenfälle aus ungesicherter Ladung

**Nur über Aufstandsflächenreibung gesicherte
Ladung ist nicht
gesichert!**

Ladung kippgefährdet!

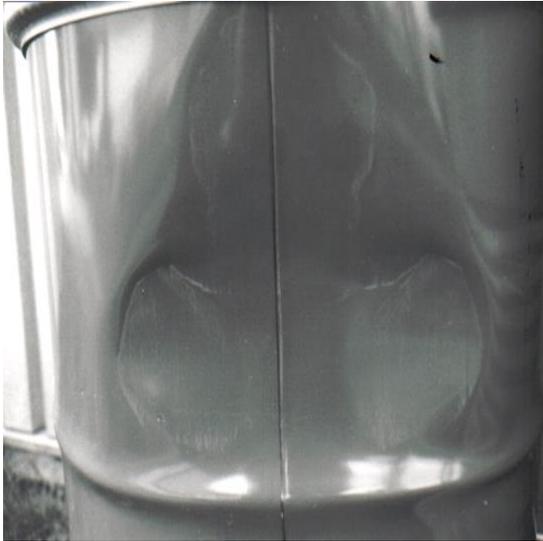


Schäden

- Personenschäden
- Sachschäden
- Verkehrsstörungen



Schäden aus Eigenbewegungen der Ladung



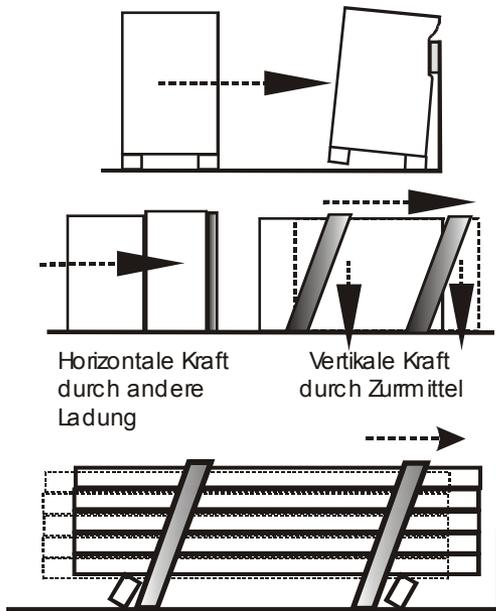
Aufprallschaden auf Bordwand

Druckkraft auf Ladung



Ladungseigenbewegungen - Folgen

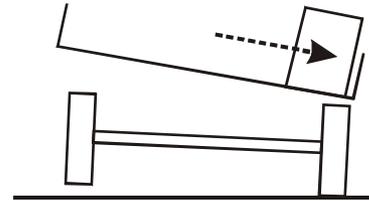
(Ladungsbewegung heißt: Die Ladung bewegt sich in Bezug zum Fahrzeug)



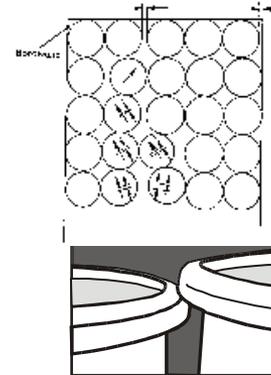
1. Stoßvorgang
Ladung prallt auf . . .

2. Druckkraft
auf die Ladung

3. Versagen von
Scherungsmitteln
(Niederzurkraft am
Gurt wird unwirksam)



4. Seitliche Ladungsverlagerung mit
Erhöhung der Fahrzeug-
kippgefährdung

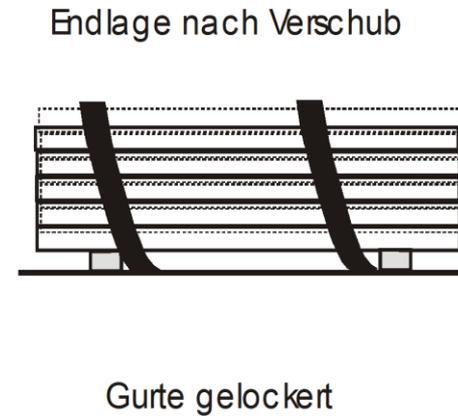
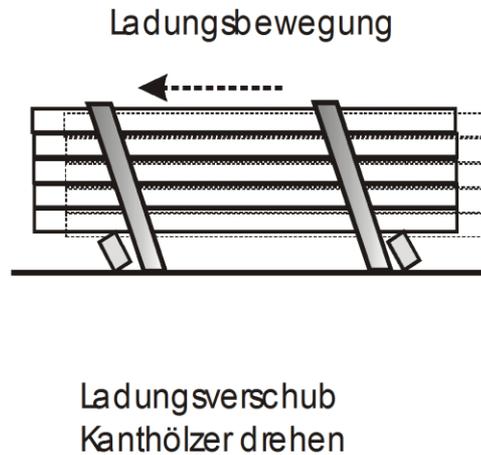
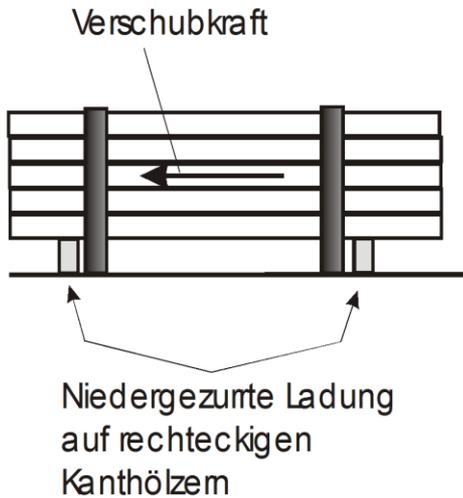


5. Ladungsverlagerung
durch Wanderungs-
bewegungen der
Ladung.
Fässer stehen dichter,
Freiräume entstehen.
Umsturzgefahr!

Ladungseigenschaften, Folgen

Eigenbewegungen

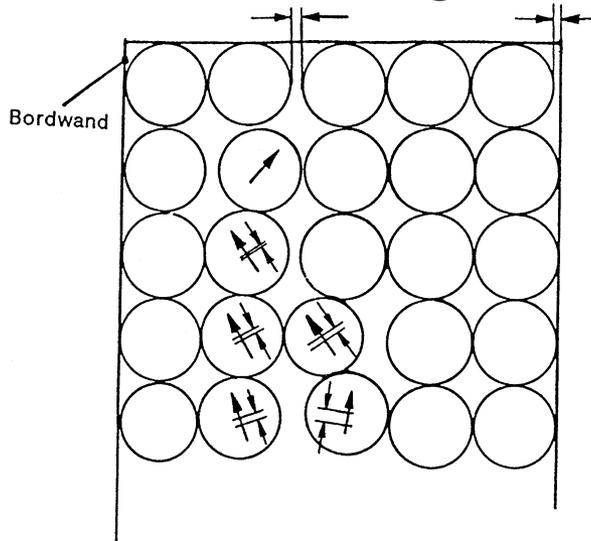
Versagen von Sicherungsmitteln



Balken vor Sicherung flach legen!

Eigenbewegungen

Freiraumbildung durch Wandern



Freiräume aus Staunotwendigkeit



Freiräume aus dem Aufgleiten eines Fasses

Freiräume durch Wanderungsbewegungen



Herabfallen

Ladung verrutscht und fällt vollständig vom Fahrzeug

Schwere Einzelladung: Coil
Abrollen nach schräg vorn



Coil rollt auf Gegenfahrbahn



Umsturz des Trägerfahrzeugs
großflächige Streuung
der Fahrbahn durch Rohholzstämmen

Herabfallen

Ladung fällt auf Fahrbahn

Großflächige Streuung der Ladung



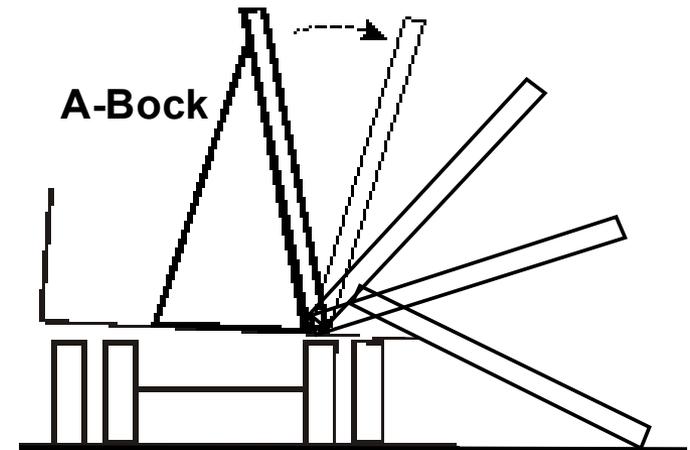
Seitliche Ladungsbewegung
durch Anfahren an
Leitplanke

Ladungsverlust - Herabfallen

Herabkippen schwerer Teile



Foto: Münchner Merkur 25.11.04



Ladungsverlust durch
seitliches Abkippen von Beton-
platten von A-Böcken

Ladungsbewegung nach vorn mit Fahrzeugschäden



Foto: KLSK

Kräfte an der Ladung aus Masseträgheit beim Bremsen,
nur Reibschluß gesichert

Ladungsbewegung nach hinten



Foto: KLSK

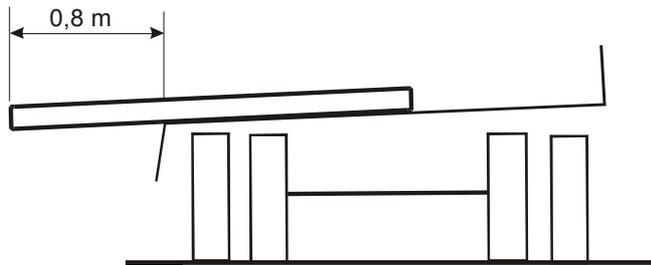
**Bigbagabsturz nach Öffnen
der Hecktür.
Abkippen!**



Foto: M. Lang, KLSK

Ladungsbewegung seitwärts ohne Herabfallen

Ladung verrutscht und steht seitwärts weit heraus



Plattenverschub



Schwall in Fässern

Eigenbewegung aus Schwall



**Schwall schwerer pastöser
Abfälle in Fässern
Fässer überstaut (Folie 421)
Ladung kippt um**

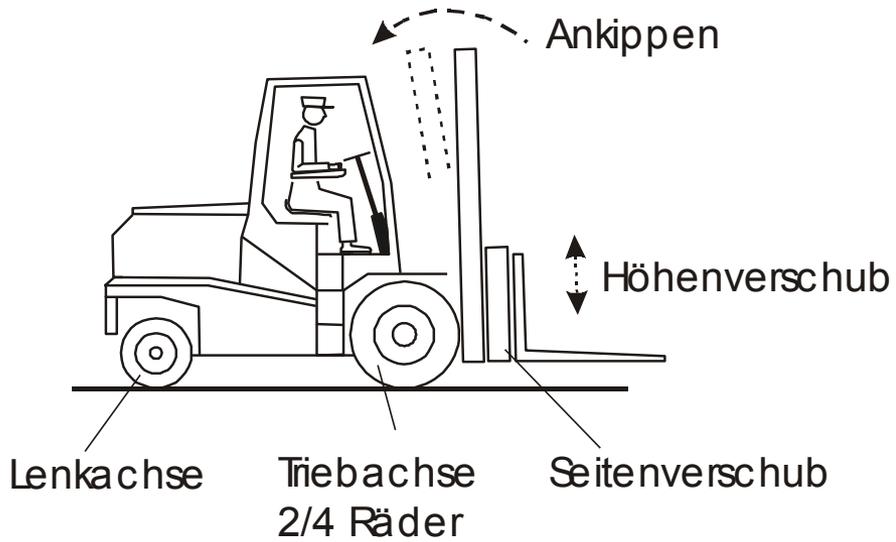
**Bremmung hangabwärts
mit kleiner werdendem
Kurvenradius!**

Zwischenlagerung



Im Freien ermöglicht Regen- und Kälteeinwirkung an der Aufstandsfläche Vereisung!

Transport mit Gabelstaplern



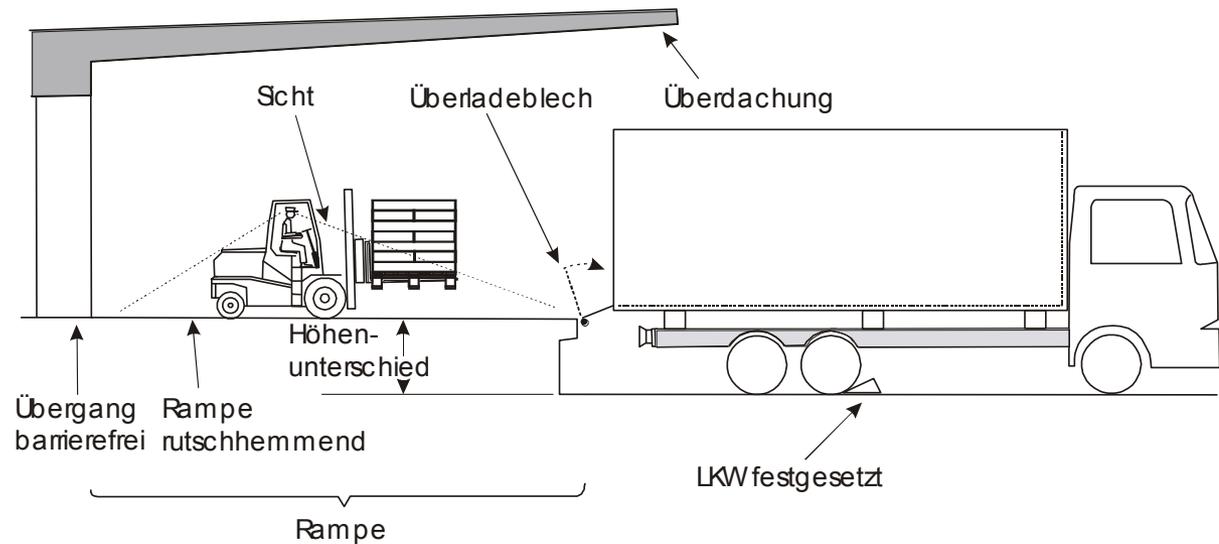
Gabelstaplertransport

Innerbetrieblicher Transport und Beladung



Beladung von der Seite von der Fahrbahn

Beladung vom Heck und über Rampe



Innerbetrieblicher Transport

Unebene Fahrbahn - Vorschädigung

Ladeeinheit wird durch horizontale Stöße vorgeschädigt.



Gabelstapler haben Voll-Gummireifen, starke horizontale Stöße beim Überfahren



Ladung beschädigt sich selbst

Eigenbewegung der Ladung führt nach Anstoß zu
Ladungsbeschädigung



Ladung - Schädigung

Folge:

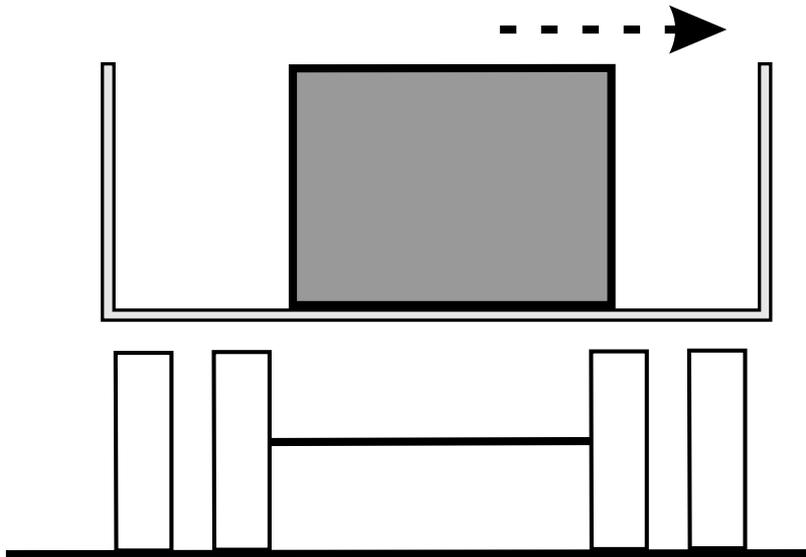
Undichtigkeit - Pulverfreisetzung

Säcke nach Aufprall an Rungentasche

Ladung beschädigt Fahrzeug



Ladung kippt Fahrzeug

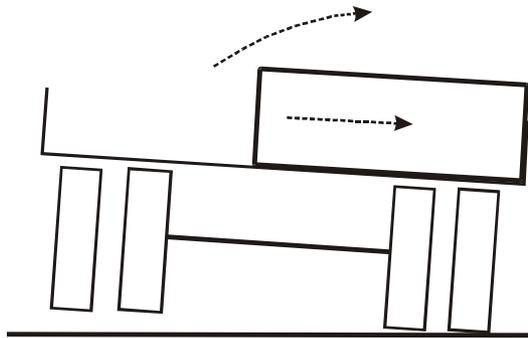


**Kriterien, die
Fahrzeugumsturz befördern:**

**Seitliche Ladungsbewegung
Schwere Einzelladung
Steife Seitenwände (Mulden-
fahrzeug in Baufirmen)
seitlich großer Ladungsweg
möglich
glatte
Ladungsaufstandsfläche**

Umsturzgefahr, Kriterien

Umturzgefahr Fahrzeug aus verrutschender Ladung



Umsturzgefahr verrutschende Ladung



Umsturzunfälle

Ladungseinfluß möglich



Hohe Ladung reißt Zug in Kurve um
Auflieger torsionssteif
Papierrollen
Umsturz, Fahrzeugeinfluß



Torsionselastischer Auflieger
Umsturz über das Heck
Zugmaschine steht aufrecht
Aufstandsflächenreibung durch
Verdrehung der Ladefläche gestört.
IBC

Umsturzunfall



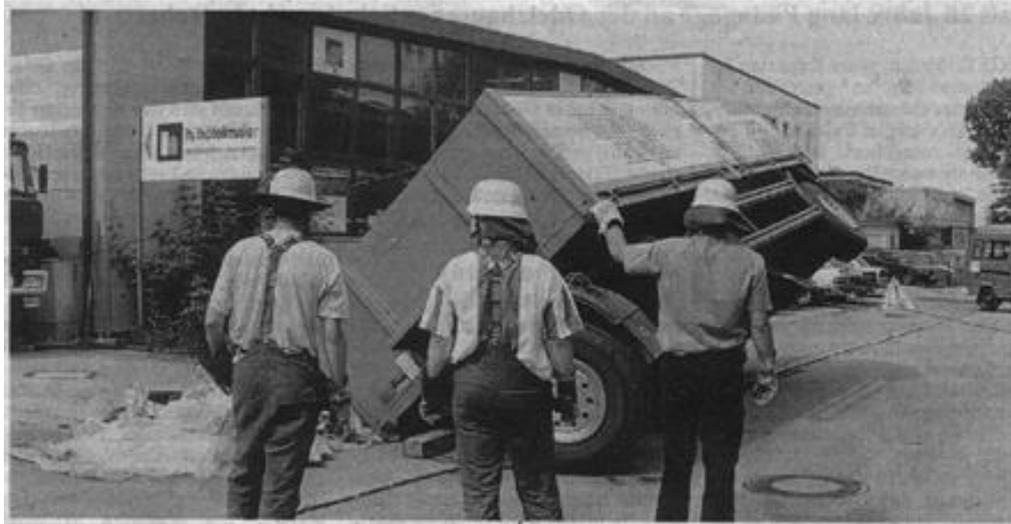
Ladung: Aluminium, flüssig

Behälter bleiben fest mit dem Fahrzeug verbunden

Behälter undicht, ausgehärtetes Aluminium auf der Fahrbahn

Quelle: Gefährliche Ladung 10/2015

Umsturzunfall aus der Ladung



**Ladungsverteilung – Kippkante Fahrzeug durch
Drehkranzmitte**

Kippen, Ladungsschwerpunkt



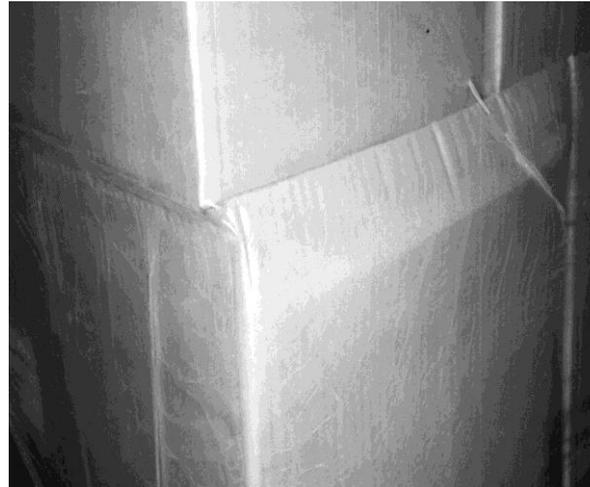
**einseitig geladen
Ladungsschwerpunkt hoch**

Nichtmechanische Schäden

Überdruck



Feuchtigkeitseinfluß



Schaden, nichtmechanisch

Fahrzeugeignung

Vorderteil aufrecht

Heck umgestürzt



Torsionselastische Rahmen

und Unebenheit der Ladefläche

fördern:

Umsturzneigung

(Torsion der Ladefläche - Aufstandsflächenreibung wird gestört!)

Fahrzeugeignung



Foto: Anatoly Shmeljev

**Umsturz torsionssteifer
Aufleger
(Rußland)**

Unfalltypen

Nicht ausreichend „gesicherte“ oder falsch gestaute Ladung kann:

- **Vom Fahrzeug herabfallen,**
- **Nachfolgenden Verkehr gefährden (Herausragen um mehr als 0,8 m), große Verkehrsfläche „belasten“ (großflächige Streuung),**
- **Das Transportfahrzeug in eine kritische Situation bringen (Umsturz aus Ladungsverteilung/Schwerpunktshöhe)**
- **In kritischen Situationen die Manövrierbarkeit des Fahrzeugs verschlechtern (Brems- und Lenkvorgänge),**
- **Das Fahrzeug beschädigen,**
- **andere Ladung beschädigen (u. U. Gefahrgut) oder**
- **sich selbst beschädigen.**

Unfallursachen im Vor- und Abauf einer Beförderung „Vorlaufursachen“

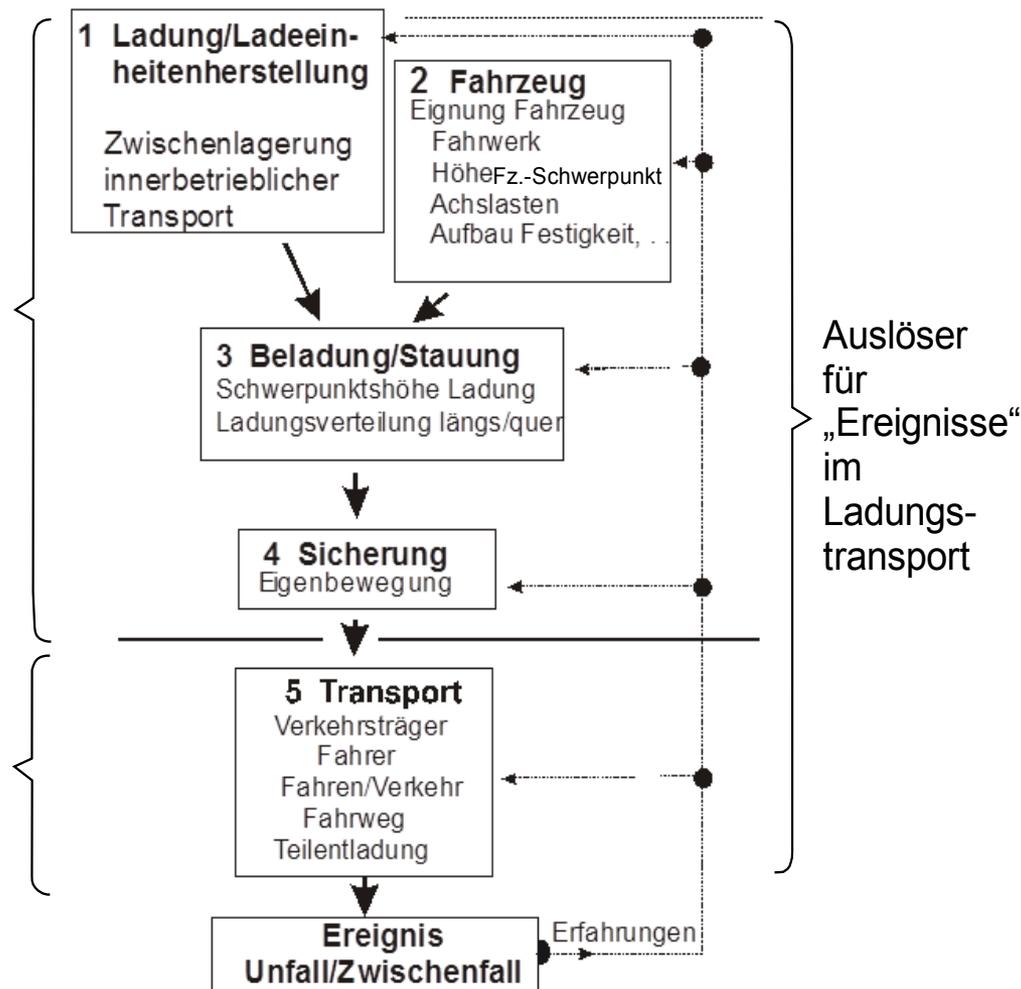
Die Unfalltypen lassen
sich systematisieren:

Die Ursache für Unfälle
lassen sich auf Fehler
und Mängel zu einem
der Punkte von 1 bis 5,
bzw. auf ein Zusammen-
treffen von mehreren
Punkten zurückführen.

Ladung sichern heißt,
Ursachen nach Punkten
1 bis 5 zu vermeiden.

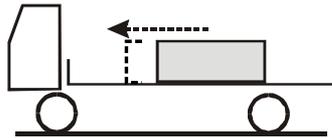
Vorlauf-
ursachen

Transport
bedingte
Ursachen

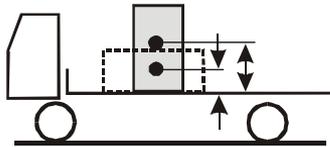


„Mechanische“ Unfallursachen

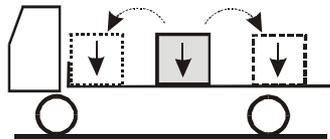
1. Vermeidung von gefährdenden Ladungsbewegungen



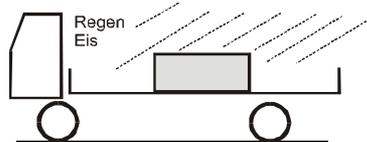
2. Höhe des Gesamtschwerpunkts niedrig halten



3. Horizontale Ladungsverteilung quer und längs



4. Vermeidung von nicht-mechanischen Schadensursachen



**Eigenbewegung
der Ladung**

Standsicherheit

Ladungsverteilung

Sonstige

Anmerkungen zu den Ursachen „Vorlauf“ und „Mechanik“:

Die beiden Aufstellungen sind abgeleitet aus einer Vielzahl von dokumentierten Unfällen.

Die „mechanischen Ursachen“ wurden getrennt aufgeführt, obwohl sie eigentlich zum Punkt „Transport“ gehören, weil damit die Abgrenzung von Theorie und Praxis deutlich gemacht werden soll.

Diese Typisierung stellt für eine systematische Untersuchung, z. B. nach Unfällen oder für Gutachten, die Inhalte zusammen, die bei der Bearbeitung stets beachtet werden sollten.

Die Unterscheidungen in „Vorlaufursachen“ und „mechanische Ursachen“ sind notwendig und hinreichend.

Weitere Punkte, wie z. B. biologische Ursachen, erscheinen für Landungstransporte als nicht relevant.

Unfallursachenermittlung

Sicherung (fester Aufbau) versagt.



Großflächige
Ausstreuung

(KLSK, 7/2003, Orthen)

Ursachenanalyse

Ereignis Unfall

Ursache „mechanischer Art“

Ursache „Vorlauf“



Ladungsabladung

A Eigenbewegung

B Schwerpunktshöhe

C Ladungsverteilung

D Sonstige

1 Ladung

2 Fahrzeug

3 Beladung

4 Sicherung

5 Transport

Säulenstapelung/
LE-Bildung

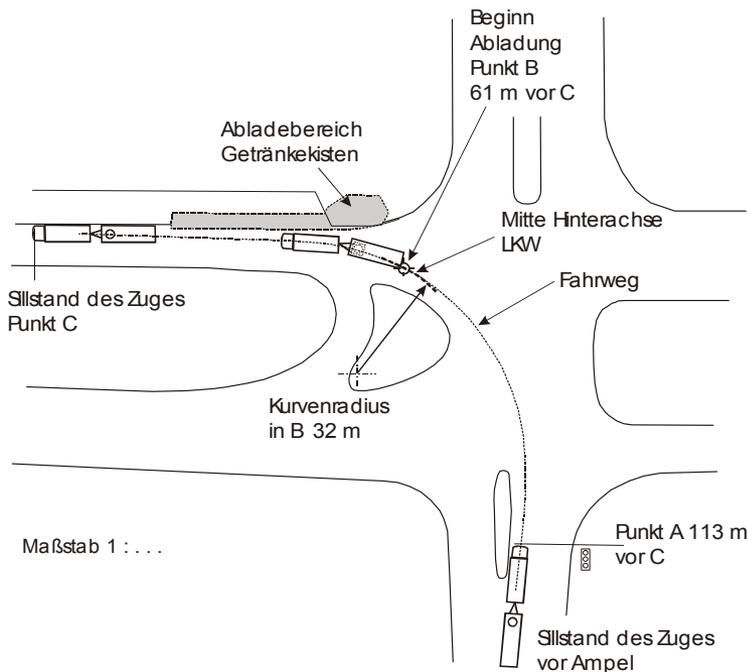
Aufbaueignung
Neigung Ladefläche

Beladung im Freien
Ladung vereist

Klappen Seitenwand

Kurvengeschwindigkeit?

Teilentladung
Transport

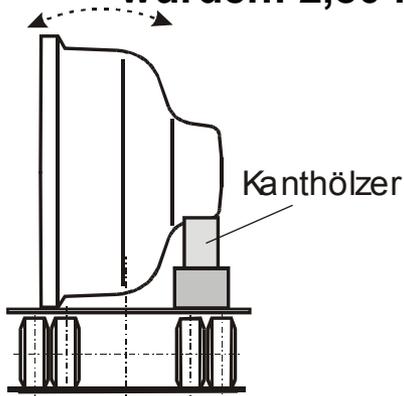


Unfallskizze eines Getränkeboxenabwurfs

„Anknüpfungstatsachen“ für Gutachten zur Sicherungstechnik

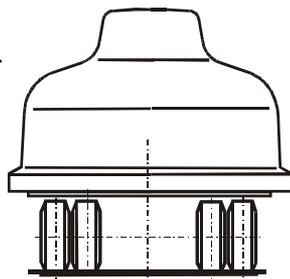
Ursache: Konstruktionsfehler
an Ladung und Staufehler

Ladung nicht sicherungsfähig,
da bei Konstruktion und
Herstellung keine
Anschlagpunkte vorgesehen
wurden! 2,80 m Breite!



Instabil

gelagert



stabil

Glocke
(Stahlgußteil)
Durchmesser
2,80 m

Plattformfahrzeug,
gekröpfter Tieflader



**Staufehler: Hoch gestaut, um Ausnahmege-
nehmigung zu vermeiden (Überbreite).**



**Anschlagösen müssen bereits bei
der Konstruktion vorgesehen werden!**

5 Gesetze, Verordnungen und Richtlinien zur Ladungssicherung

Gesetz – Vorschriften – Richtlinien

„geschriebenes Recht“

Vorschriften - Richtlinien - Empfehlungen
(Deutsches Recht)

Straßenverkehrsgesetz

Personenbeförderungsgesetz ...

↓
Straßenverkehrsordnung
StVO

↓
StVZO ...

↓
Par. 22 Ladungssicherung

1991 Urteil OLG Koblenz 6.9.1991, Ss 265/91

2006 „(1) Die Ladung einschließlich Geräte zur Ladungssicherung sowie Ladeeinrichtungen sind so zu verstauen und zu sichern, daß sie selbst bei Vollbremsung oder plötzlicher Ausweichbewegung nicht verrutschen, umfallen, hin- und herrollen, herabfallen oder vermeidbaren Lärm erzeugen können. Dabei sind die anerkannten Regeln der Technik zu beachten.“

„Richterliches“ Recht Urteile von Obergerichten

Par. 22 StVO – zur Auslegung

(Absatz 1 in der Fassung von 2006)

„Die Ladung einschließlich Geräte zur Ladungssicherung sowie Ladeeinrichtungen sind so zu verstauen und zu sichern, daß sie selbst bei Vollbremsung oder plötzlicher Ausweichbewegung nicht verrutschen, umfallen, hin- und herrollen, herabfallen oder vermeidbaren Lärm erzeugen können. Dabei sind die anerkannten Regel der Technik zu beachten.“

- Was ist zu machen? **Stauen und Sichern**
- Was ist Ladung? **Ladung, Geräte, Ladeeinrichtungen**
- Welche Gefährdungen? **Vollbremsungen, Ausweichmanöver, . . .
gegen verrutschen, . . .**
- Wie? **Nach den anerkannten Regeln der Technik**
- Wer? **Par. 23: Der Fahrer.**

Umsetzung StVO durch Richtlinien

§ 22 StVO Abs. 1

„(1) Die Ladung einschließlich Geräte zur Ladungssicherung sowie Ladeeinrichtungen sind so zu verstauen und zu sichern, daß sie selbst bei Vollbremsung oder plötzlicher Ausweichbewegung nicht verrutschen, umfallen, hin- und herrollen, herabfallen oder vermeidbaren Lärm erzeugen können. Dabei sind die anerkannten Regel der Technik zu beachten.“

22. Dez. 2005

Anerkannte Regel der Technik z. B.: VDI 2700, Nov. 2004

Die Ladung muß so gesichert sein, daß unter *verkehrsüblichen* Fahrzuständen weder einzelne Ladegüter noch die gesamte Ladung *unzulässig verrutschen*, umfallen, verrollen, sich verdrehen oder herabfallen kann. Zu den *üblichen bzw. normalen Gegebenheiten* des Straßenverkehrs gehören auch *Vollbremsungen*, *Ausweichmanöver* und *Unebenheiten* der Fahrbahn.

(Anmerkung: *Kursiv* unbestimmte Sachverhalte)

Kommentar zu § 22 Abs. 1 StVO

Darüber hinaus wird nunmehr auch ausdrücklich in der Verordnung selbst auf die anerkannten Regeln der Ladungssicherungstechnik verwiesen. Das sachgerechte Verstauen und Sichern der Ladung erfordert die Beachtung der in der Praxis anerkannten Regeln des Speditions- und Fuhrbetriebes. Dies sind vor allem DIN- und EN-Normen sowie VDI-Richtlinien, gegenwärtig z. B. VDI-Richtlinie 2700 „Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen“.

§ 23 (1) StVO – Sonstige Pflichten des Fahrzeugführers

„Der Fahrzeugführer ist dafür verantwortlich, daß seine Sicht und das Gehör nicht durch die Besetzung, Tiere, die Ladung oder den Zustand des Fahrzeugs beeinträchtigt werden.“

Pflichten des Fahrzeugführers

Fahrer strafrechtlich verantwortlich!

Er muß dafür sorgen, daß das Fahrzeug, der Zug, das Gespann durch die Ladung oder die Besetzung nicht leidet.“

Par. 32 (1) StVO – Verkehrshindernisse

(1) Es ist verboten, die Straße zu beschmutzen . . . oder Gegenstände auf Straßen zu bringen oder dort liegen zu lassen, wenn dadurch der Verkehr gefährdet oder erschwert werden kann. . . .

Par. 31 (2) StVO - Verantwortung für den Betrieb der Fahrzeuge

Der Halter darf die Inbetriebnahme nicht anordnen oder zulassen, wenn ihm bekannt ist oder bekannt sein muß, daß der Führer nicht zur selbstständigen Leitung geeignet oder das Fahrzeug, der Zug, das Gespann, die Ladung oder die Besetzung nicht vorschriftsmäßig ist oder daß die Verkehrssicherheit des Fahrzeugs durch die Ladung oder die Besetzung leidet.

Ladungssicherung im ADR

Auszug ADR 7.5.7, Stand 2015

Die Fahrzeuge . . . müssen gegebenenfalls mit Einrichtungen für die Sicherung und Handhabung gefährlicher Güter ausgerüstet sein. Versandstücke, die gefährliche Güter enthalten, und unverpackte gefährliche Gegenstände müssen durch geeignete Mittel gesichert werden, die in der Lage sind, die Güter im Fahrzeug oder Container so zurückzuhalten (z. B. Befestigungsgurte, Schiebewände, verstellbare Halterungen), daß eine Bewegung während der Beförderung, durch die die Ausrichtung der Versandstücke verändert wird oder die zu einer Beschädigung der Versandstücke führt, verhindert wird. Wenn gefährliche Güter zusammen mit anderen Gütern (z. B. schwere Maschinen oder Kisten) befördert werden, müssen alle Güter in den Fahrzeugen oder Containern so gesichert werden oder verpackt werden, daß das Austreten gefährlicher Güter verhindert wird. Die Bewegung der Versandstücke kann durch das Auffüllen von Hohlräumen mit Hilfe von Stauhölzern oder durch Blockieren und verspannen verhindert werden. Wenn Verspannungen wie Bänder oder Gurte verwendet werden, dürfen diese nicht überspannt werden, so daß es zu einer Beschädigung oder Verformung kommt. ¹⁾

Die Vorschriften dieses Unterabschnitts gelten als erfüllt, wenn die Ladung gemäß der Norm EN 12 195-1:2010 gesichert ist.

“Untergesetzliches Recht” aus “privater Regelsetzung” (“Generalklauseln”)

Anerkannte Regeln der Technik Stand der Technik Stand von Wissenschaft und Technik

Richtlinien und Normen

Anerkannte Regeln der Technik	Stand der Technik	Stand von Wissenschaft und Technik
Richtlinien/Normen wer “Aussschüsse” Arbeitskreise	Technische Richtlinien TR. . .	Dienstanweisungen DA
	Bundesverkehrsministerium Bundesländer (BLFA . . .)	Bundesverkehrsministerium Bundesländer (BLFA . . .)
Beispiele VDI Richtlinien VDE Richtlinien	TRS 001 ...	DA 93 ...
Normen: ISO DIN ISO DIN EN DIN	“antizipierte Gutachten”	
Normen einer Branche (Chemie, Auto)		

Regeln der Technik
“Verladeempfehlung” (Rohholz)
(Vorstufe für Richtlinie)
Teilnehmerkreis: offen

Verladeanweisung
Verband für seine
Mitglieder
interne Lösung

Arbeitsanweisungen
Firmeninterne Anweisungen
auf Grundlage von Einzelgutachten

Untergesetzliches Recht
Generalklausel
Richtlinien

Anerkannte Regeln der Technik

(nicht „allgemein anerkannte Regeln der Technik“)

Richtlinien - VDI 2700

1.1 Anwendungsbereich der Richtlinie

Die Richtlinie gilt für alle in Abschnitt 1.2 genannten Fahrzeuge. Die Richtlinie ist bestimmt für Fahrer, Fahrzeughalter und Verlader. Schienen-, See- und Lufttransport sind mit Ausnahme der Transporteinheiten des kombinierten Verkehrs (vgl. VDI 2700, Blatt 7) aus dem Anwendungsbereich ausgenommen und weiteren Richtlinien und Normen vorbehalten.

Anmerkungen:

Richtlinie existiert seit 1975.

Mit der Formulierung „ist bestimmt für Fahrer . . .“ soll ausgedrückt werden, daß eine Regel der Technik nicht unbedingt mit der Mechanik konform sein muß, sondern für Anwender ausgelegt ist.

Außerdem gilt sie nur für den Straßenverkehr. Der kombinierte Verkehr (CTU-Richtlinie) und der Schienentransport haben eigene Richtlinien.

Regeln der Technik

Beispiel Verladeempfehlung Rohholz

Verladeempfehlung Rohholz - quer

zur Ladungssicherung für den Straßentransport

Innenministerium des Landes Nordrhein-Westfalen

Ministerium für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen

Polizei Nordrhein-Westfalen

Polizei Niedersachsen

Bundesamt für Güterverkehr (BAG)

Berufsgenossenschaft für Fahrzeughaltung (BGF)

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV)

Arbeitsgemeinschaft Rohholzverbraucher e.V. (AGR)

Bundesvereinigung des Holztransportgewerbes e.V. (BdHG)

Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) e. V.

Deutscher Forstwirtschaftsrat e.V. (DFWR)

Gesamtverband Deutscher Holzhandel e.V. (GD Holz)

Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V. (VHI)

Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP)

Verband der deutschen Säge- und Holzindustrie e.V. (VDS)

Deutscher Holzwirtschaftsrat (DHWR)

Deutscher Forstunternehmer-Verband e.V. (DFUV)

Königsberger Ladungssicherungskreis e.V. (KLSK)

Wissenschaftliche Begleitung:

Fachhochschule München

TÜV-Nord Mobilität

Stand 9. Oktober 2006

Anmerkungen:

Die Verladeempfehlungen für die Sicherung von Rohholz sind als Beispiel für eine Nicht-VDI-Richtlinie zur Ladungssicherung eingefügt.

Sie enthält in einer Präambel die teilnehmenden Verbände, Organisationen usw., die abschließend an den Beratungen teilgenommen haben. Da nach einer abgestimmten Frist keine Einsprüche vorlagen, ist danach zu verfahren. Sie besitzt damit einen hohen Verbindlichkeitsgrad. Ein höherer Sicherheitslevel ist aber, wie auch bei anerkannten Regeln der Technik, jederzeit zulässig.

Die „Empfehlung“ sollte ursprünglich dazu dienen, Erfahrungen in der Umsetzung zu sammeln, um zu prüfen, was sinnvoll oder nicht sinnvoll ist. Danach sollte sie in eine VDI-Richtlinie umgewandelt werden.

Eine geringe allgemeine Verbindlichkeit haben Regeln, z. B. die, die von Verbänden aufgestellt werden.

Umsetzung der StVO durch Richtlinien

OLG Düsseldorf vom 18. Juli 1989 - 5 Ss (Owi) 274/89 (Verkehrsrechtliche Sammlung Bd. 77, S. 368 ff)

aa)

„Die Sicherung der Ladung muß so beschaffen sein, daß die Ladung nicht nur üblichen Verkehrsbetrieb einschließlich Kurvendurchfahrten und normalem Bremsen, sondern auch bei einer erforderlich werdenden Notbremsung nicht umkippt, verrutscht oder herunterfällt. Unter sachgerechter Ladung in diesem Sinne ist ihr Verstauen nach den in der Praxis anerkannten Regeln des Speditions- und Fuhrbetriebs analog den Regeln der Baukunst in § 323 StGB zu verstehen. Der Inhalt der VDI-Richtlinie 2700 „Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen“ umfaßt die gegenwärtig technisch anerkannten Beladungsregeln und ist deshalb allgemein zu beachten.“

Zum Problem der Richtlinien

Ladungssicherung ist
eine Praktikerdisziplin

Ladungssicherung ist
„angewandte Mechanik“

Einzelerfahrungen	—————→	Unfälle/Zwischenfälle/. . .
Erfahrungen einer Branche	—————→	„Das macht man so oder so nicht!“
Erfahrungen Transporteure	—————→	Richtlinien (Normen)

Problem?

**Richtlinien fehlenden in der Regel die theoretische
Grundlage.
Fehlende Grundlagenforschung.**

**Heutiger Zustand: Praxis vielfach ohne Theorie!
Nichts ist praktischer, als eine gute Theorie!**

VDI 2700

(November 2004 neu)

1.2.2 Anforderungen an das Fahrzeug

Je nach Ladegut ist ein geeignetes Fahrzeug mit entsprechendem Aufbau

und gegebenen falls Ladungssicherungseinrichtungen einzusetzen.

- **Tragfähigkeit Ladefläche**
- **Zurpunkte**
- **Aufbaufestigkeit (Festigkeit, Aufbauverschlüsse, Rungen, Zurrwinden)**

Die Richtlinie enthält keine Anforderungen an das Fahrwerk.

Zur Richtlinienarbeit 2015

zur Aufstellung von „anerkannten Regeln der Technik“

- **Anonyme Tätigkeit von willkürlich ausgewählten Teilnehmern, kein breiter Konsens angestrebt (Diskussionen in VCI, VdTÜV, in Verbänden, in den Feuerwehren, usw., . . .**
- **Texte für Verordnungen werden von Außenstehenden entworfen, da Verwaltungen keine Formulierungen liefern können.**
- **Entscheidungen: Einfache Mehrheit**
- **Arbeitskreise**
 - Teilnehmer oft ohne Sachkenntnis**
 - Teilnehmer keine Multiplikatoren**
(ohne „Streifungsfunktion“)
 - zuviel Lobby ohne Sachverstand**
 - wechselnde Teilnehmer**
 - Zusammensetzung einseitig**
(Praktiker, Polizei, Verwaltung,
 - Wissenschaft, ohne Technische**
 - Überwachung, PTB, BAM, . . .**
-

„Lobbyismus spiegelt die
Machtungleichgewichte wider“

Entscheidungen von großer Tragweite werden immer häufiger in kleinen elitären Zirkeln getroffen, in denen die Konzerne der Politik soufflieren, meint die Politikwissenschaftlerin Christina Deckwirth von LobbyControl. „Das trägt dazu bei, dass Politiker die Interessen finanzstarker Unternehmen über die Interessen kleinerer Unternehmen stellen.“ ▶ SEITE 2

VDI Nov. 2013

Sicherung der Ladung

(VDI 2700 neu)

Die Ladung muß so gesichert sein, daß unter verkehrsüblichen Fahrzuständen weder ein-zelne Ladegüter noch die gesamte Ladung unzulässig verrutschen, umfallen, verrollen, sich verdrehen oder herabfallen kann. Zu den üblichen bzw. normalen Gegebenheiten des Straßenverkehrs gehören auch Vollbremsungen, Ausweichmanöver und Unebenheiten der Fahrbahn.

.....

Bei Verwendung von rutschhemmenden Materialien ist auf Grund der Vibrationen im Fahrbetrieb eine ergänzende Sicherung mit form- oder kraftschlüssiger Wirkung anzuwenden.

Richterliches Recht

Beispiel

OLG Koblenz 6.9.1991, Ss 265/91

Aus den 1. a)

"Im § 22 StVO ist zwar nicht ausdrücklich geregelt, welche Anforderungen erfüllt sein müssen, damit eine Ladung als verkehrssicher verstaut und als gegen ein Herabfallen besonders zu sichern. Nach Sinn und Zweck der Vorschrift, Verkehrssicherheit im Straßenverkehr herbeizuführen und auch dem Verkehr benachbarte Personen und Gegenstände wie etwa Häuser, Brücken und Durchfahrten vor Gefahren zu schützen, sind jedoch Sicherungsmaßnahmen von der Art zu fordern, dass die Ladung nicht nur bei üblichem Transport mit Kurvenfahrt und normalem Bremsen, sondern auch bei starken Ausweichlenkungen, Bremsungen mit hohen Verzögerungen (sog. Vollbremsungen), Unebenheiten auf dem Fahrweg oder ähnlichen Gegebenheiten des Verkehrsablaufs nicht umkippt, verrutscht oder herunterfällt.

Anmerkung:

Neben dem „geschriebenen Recht“ gibt es für auslegungsbedürftigen Aussagen in den Vorschriften noch das „richterliche Recht“. Entscheidend sind hier die Urteile von Oberlandesgerichten (OLGs).

Europäische Vorschriften

zur Ladungssicherung seit 2000 (Auswahl)

Europäische Normen:

DIN EN 12 642

DIN EN 12 195-1:2004 Teil 1 Berechnung von Zurrkräften (in Dt. in Kraft)
Anhänge A bis D: „informativ“

Entspricht VDI 2703 (1990), später VDI 2700 Blatt 2, Nov. 2002 (in Dt. in Kraft)

DIN EN 12 195-1:2010 Teil 1 Berechnung von Zurrkräften
Anhang A informativ
Anhang B normativ Reibungszahlen!
Anhang C informativ
Anhang D normativ

Anhang normativ = verpflichtend
Anhang informell

DIN EN 12 195-1:2010

zur Umsetzung

- Die DIN wurde bei Veröffentlichung aufgrund von 27 Einsprüchen mit einer Präambel versehen veröffentlicht! (neuartig)
„Sicherheitsniveau sei niedriger als bestehende deutsche Richtlinien vorgeben.“
A-Abweichung: Sofortige Einführung in Deutschland verschoben.
(Aber: ADR schreibt 12 195-1:2010 vor.)
- Umsetzung in Deutschland uneinheitlich!
- Zur Zeit erhofft man, daß Betroffene vor Gericht gehen, um eine richterliche Entscheidung zu erzwingen.
Richterliches Recht (OLG-Urteil) steht gleichwertig neben gesetzlichem („geschriebenem“) Recht.

6 Ladungen

Inhalt

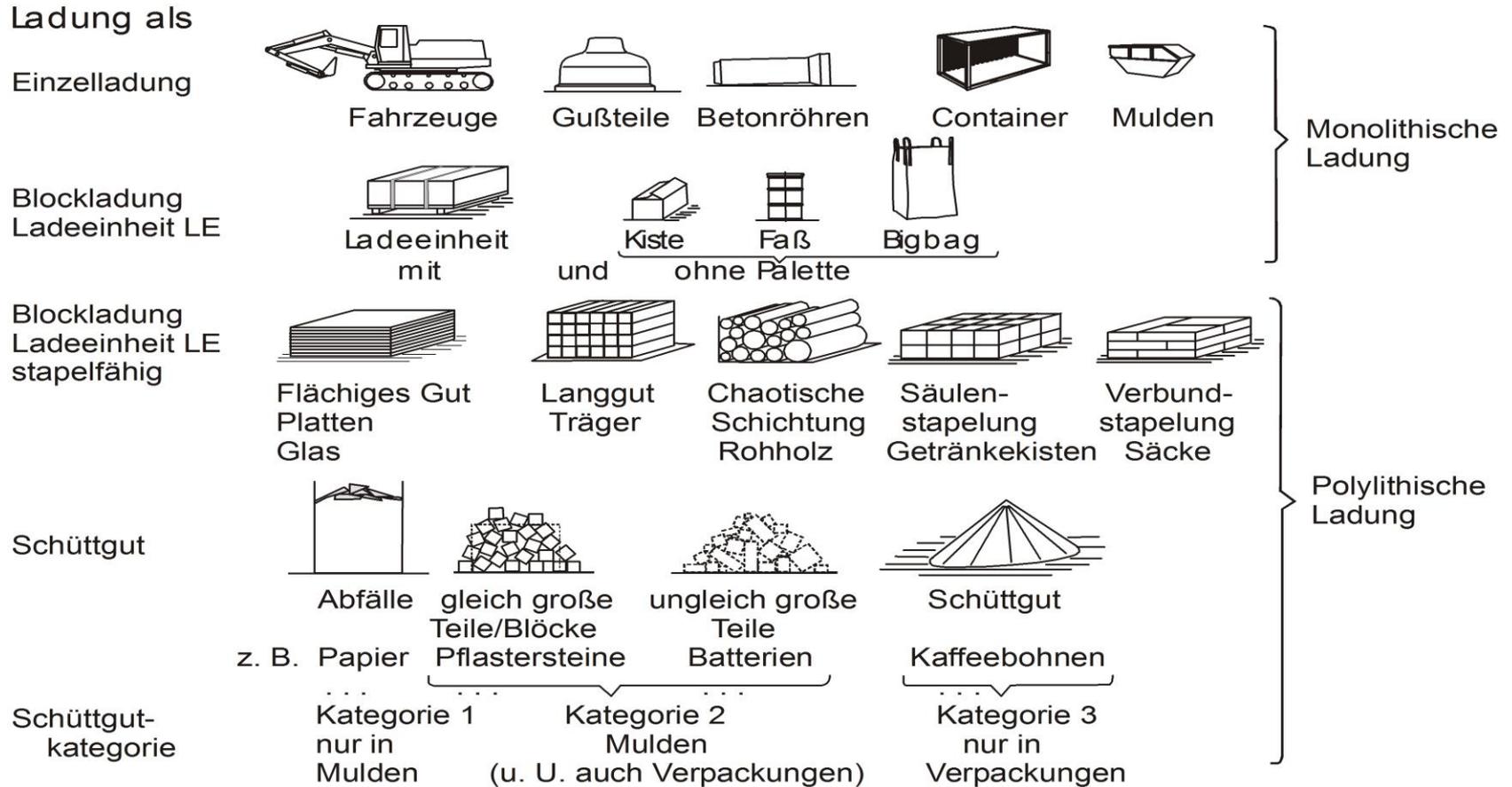
Einteilungen von Ladungen

Begriffe

Einzelne Ladungen

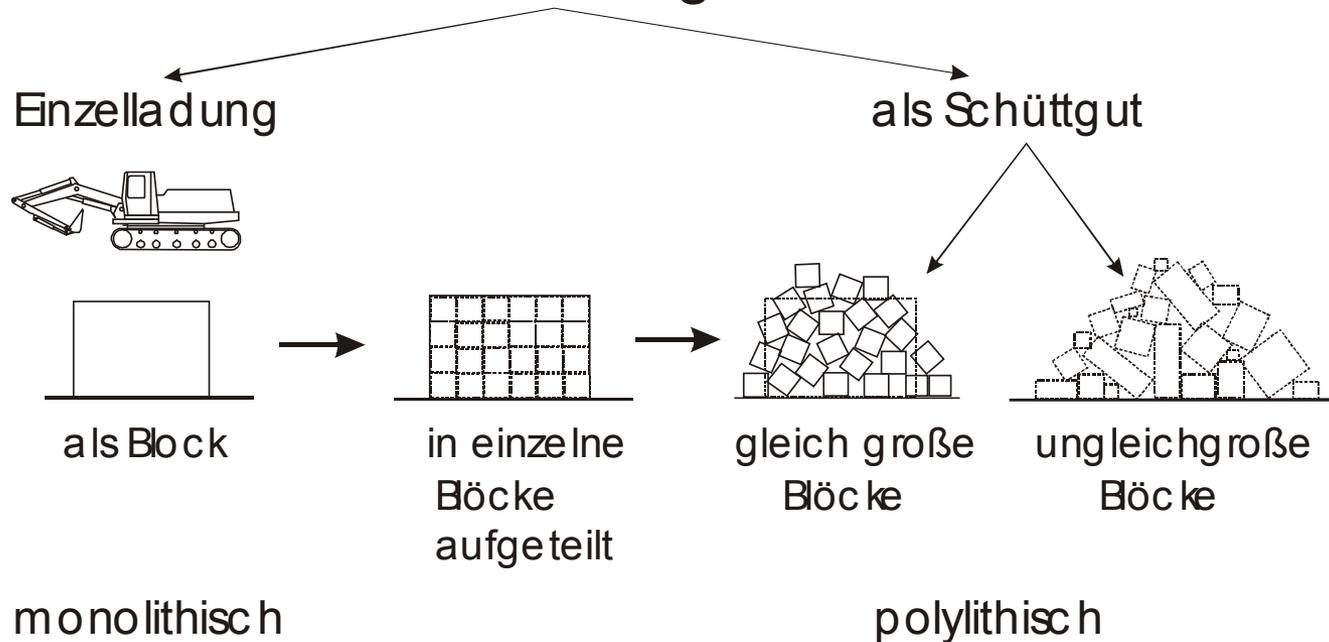
Ladungseigenschaften

Einteilung der Ladungen



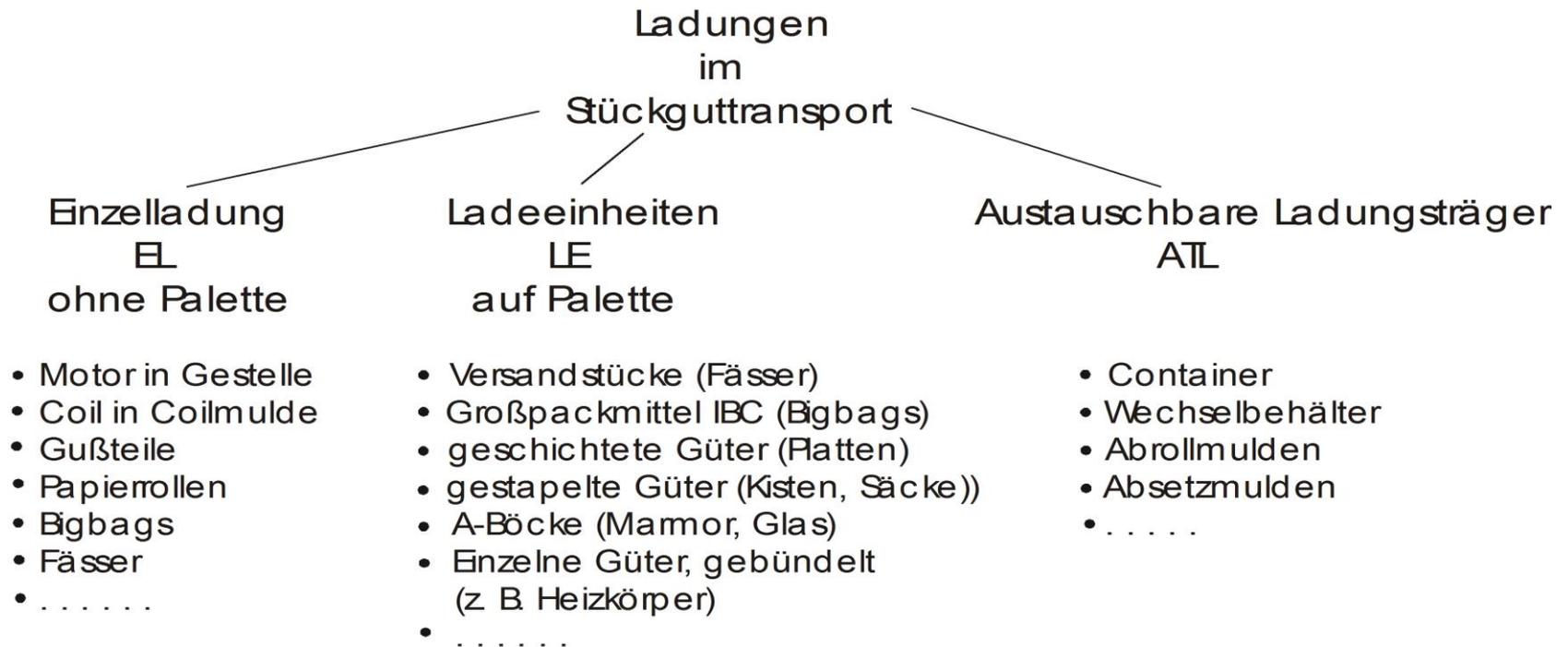
Monolithische – polyolithische Ladungen

„Starre“ Ladegüter



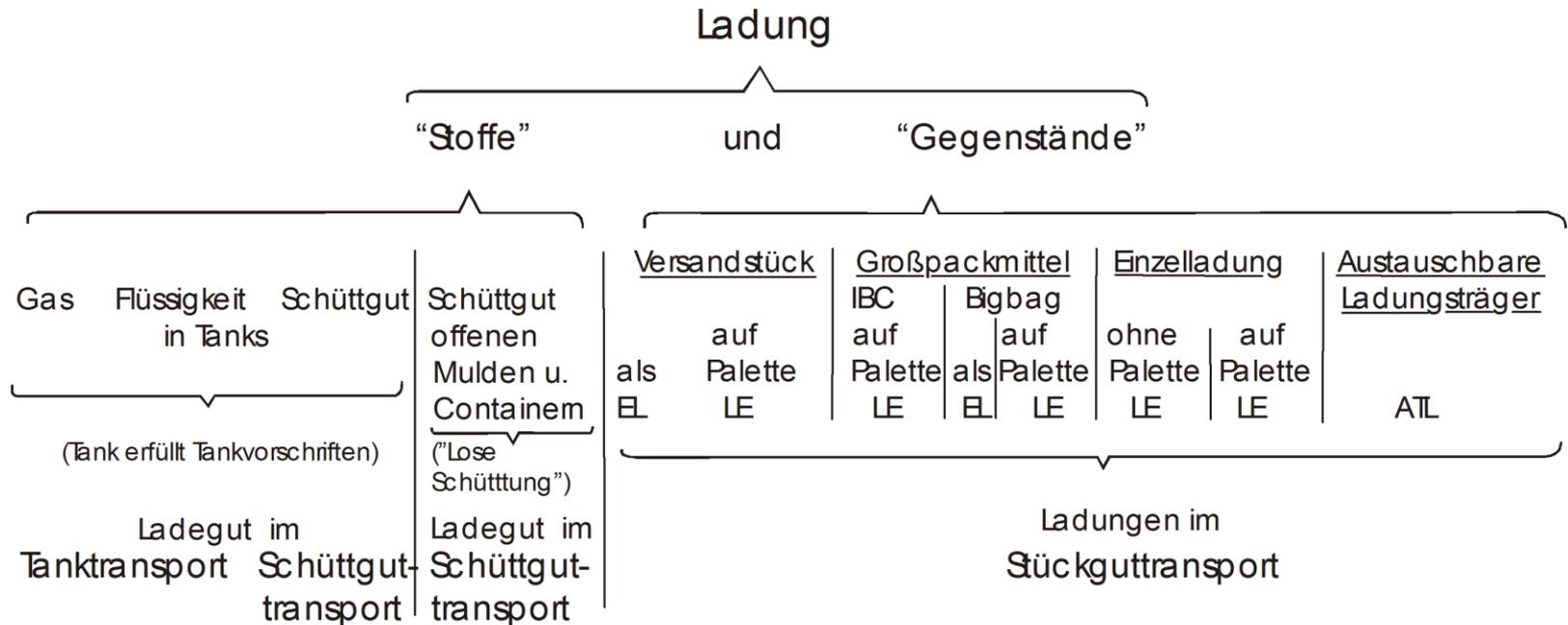
- Starre Ladegüter
- Monolithische Ladung
- Polyolithische Ladung
- Einzelladung
- Schüttgut

Stückgutladungen



Gefahrguttransportrecht (ADR)

Einteilung



EL Einzelne Ladung

LE Ladeinheit (CTU Packrichtlinie)

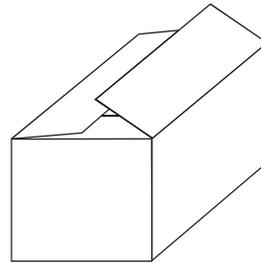
ATL Austauschbare Ladungsträger (SVZO)

Verpackungsarten (ADR)

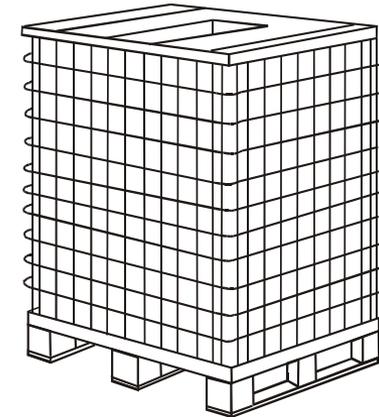
Begriffe nach dem Gefahrguttransportrecht



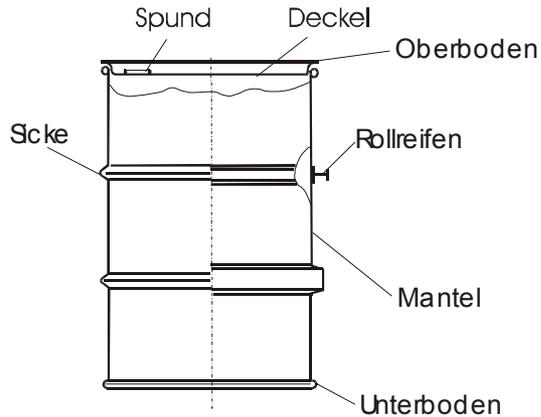
Kanister



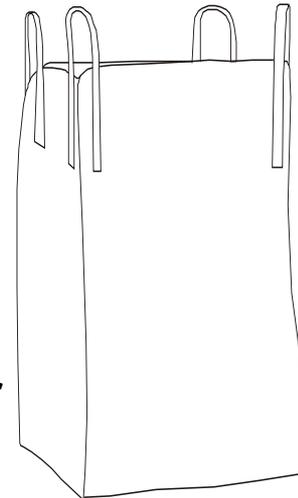
Kiste



Großpackmittel (IBC)



Faß



flexibler IBC



Ladung

Begriff

Ladung

(Der Begriff wird in der StVO benutzt, wurde aber in obergerichtlichen Urteile festgelegt.)

„Alle in oder an einem Fahrzeug untergebrachten und beförderten Sachen ¹⁾ und zwar in konkreten Zustand zum Zeitpunkt des Ladevorganges und des Transports ²⁾.“

1) OLG Hamm, VRR 2006, 193; BayObLG, NZV 1999, 479; Hentschel/König, StVR, 39

Auflage 2007, § 22 StVO Rdnr. 14 m. w. Nachw.

2) OLG Hamm aaO (o. Fn. 1)

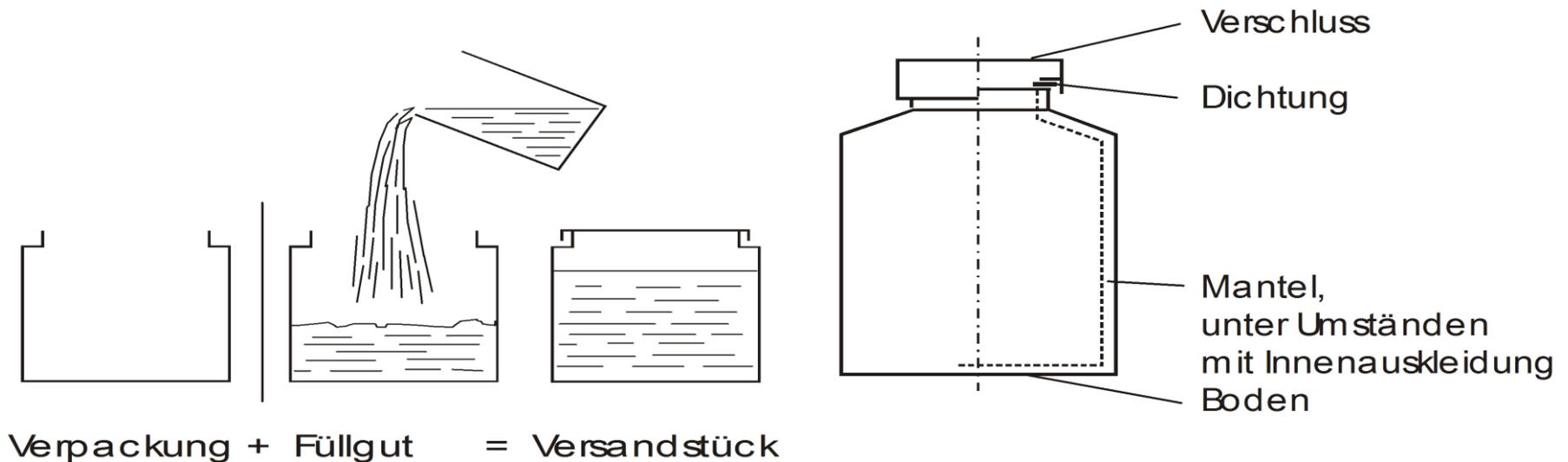
Austauschbare Ladungsträger ATL (Container oder Abfallmulden) sind Ladungen.

Begriffe

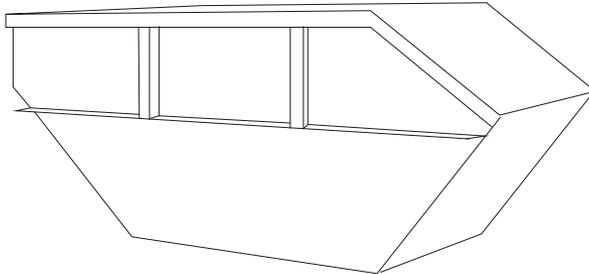
Transport

Als Transport im Sinne der Ladungssicherung solle jede Ortsveränderung von dem Zeitpunkt an gesehen werden, in dem die Ladung versandfertig ist, bis zu dem Zeitpunkt der Entladung.

Verpackung – Versandstück (ADR)



Austauschbare Ladungsträger ATL



Mulde

Wechselbehälter

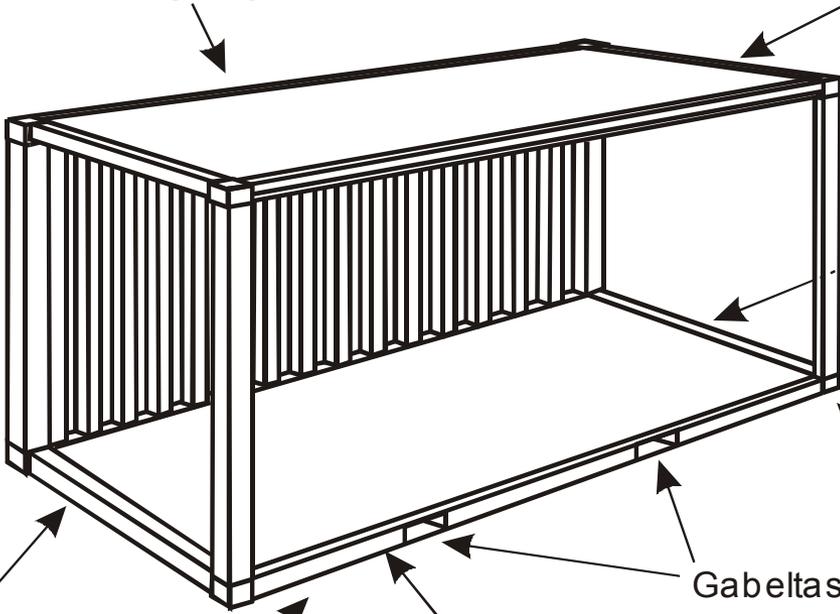
1. Wechselbehälter
2. Container
3. Absetzmulden und
4. Abrollmulden
5.



Container (ATL)

Oberer Seitenlängsträger
Dachlängsträger

Oberer Querträger
Dachquerträger



Eckständer
Unterer Querträger

Eckbeschlag

Gabeltaschen

Grundrahmen
eines Containers

Unterer Seitenlängsträger/
Bodenlängsträger

Container (Verbreitung seit 1966 in Deutschland)

Container

Wechselbrücken

Abrollmulden

Absetzmulden

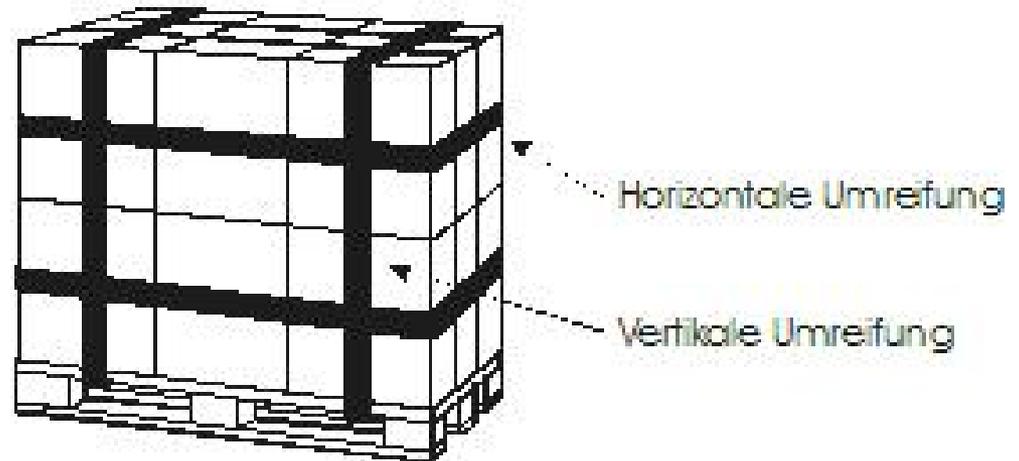
Ladungseinheit LE

als Ladung

(Feste Verbindung zwischen Palette und Ladung notwendig!)



Stückgutladung auf Palette, gewickelt



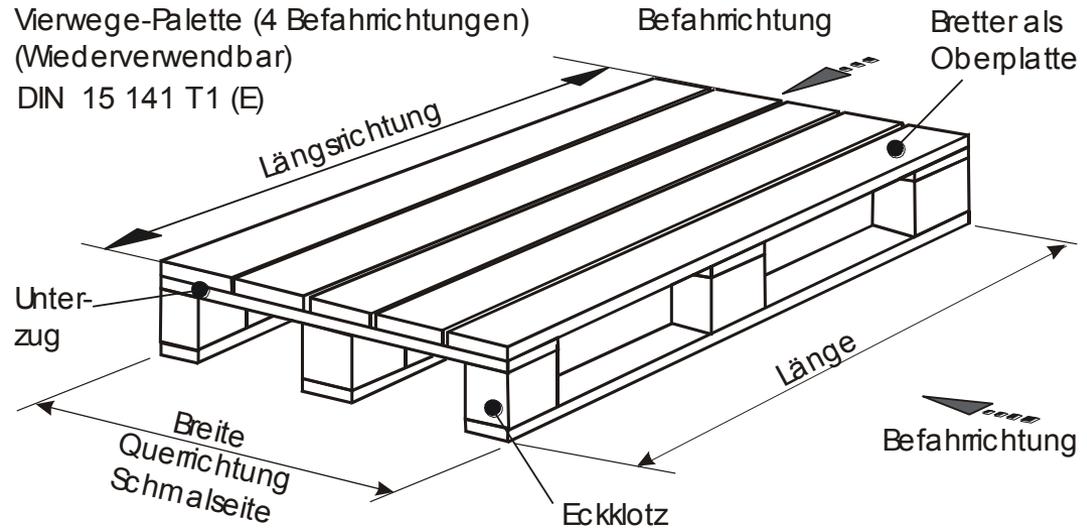
Nach DIN 30 781 wird unter einer Ladungseinheit verstanden:

„Als Ladeinheit bezeichnet man Güter, die zum Zwecke des Umschlags auf einen Ladungsträger (Palette) zusammengefasst sind.“

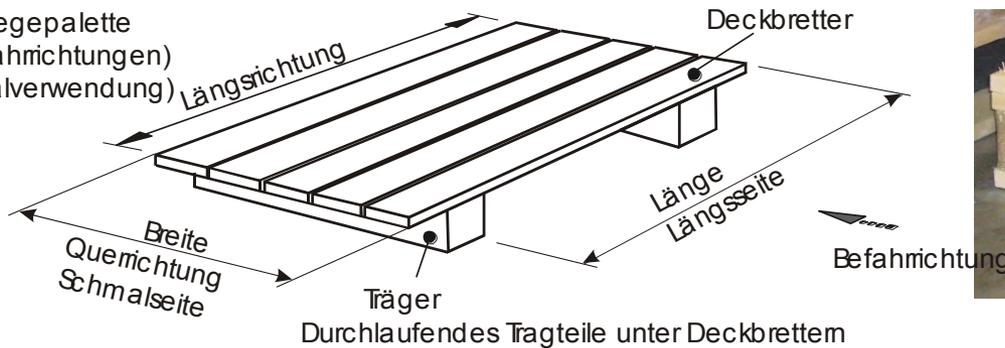
Ladeinheit

Palette als Träger für Ladungen

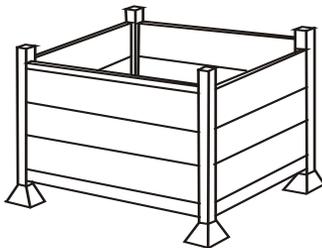
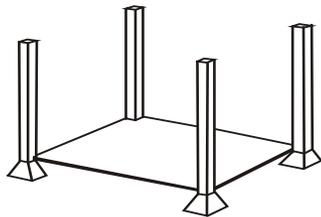
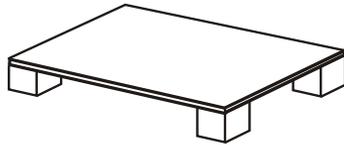
Vierwege-Palette (4 Befahrrichtungen)
(Wiederverwendbar)
DIN 15 141 T1 (E)



Zweiwegepalette (2 Befahrungen)
(Einmalverwendung)



Ladungsträger



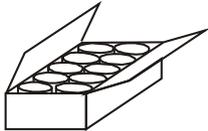
Ladungsträger können nach DIN 3968 sein:

**Flachpalette, Abb. 4.9,
Rungenpalette, Abb. 4.10,
Boxpaletten, Abb. 4.11,
Silopalette,
Tankpalette (IBC nach dem
ADR),
Palette für rollende oder
zylindrische Güter,
Rollbehälter oder
Klappbodenbehälter.**

Von der Dose zur Ladeinheit



Dosen



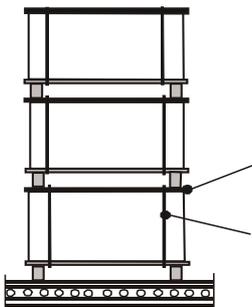
Kiste mit Dosen



Kiste in Säulen-
stapelung auf
Palette



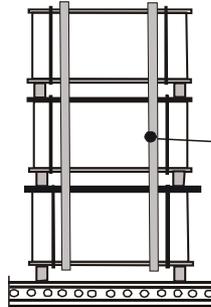
Ladungseinheit
vertikal und horizontal
umreift



Ladungseinheitenüberstapelung

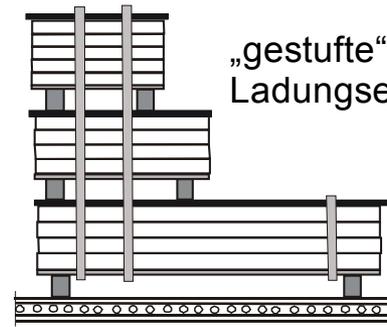
Deckbrett

vertikal gebündelt



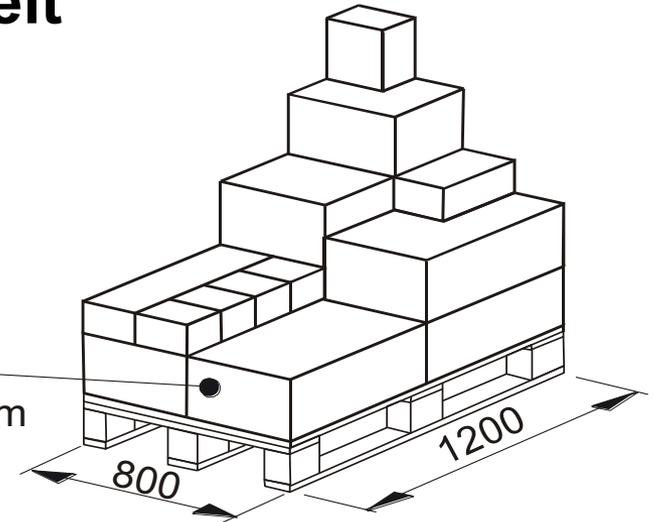
Ladeinheit

vertikal gebündelt



„gestufte“
Ladungseinheit

Grundfläche
Modul 600 x 400 mm

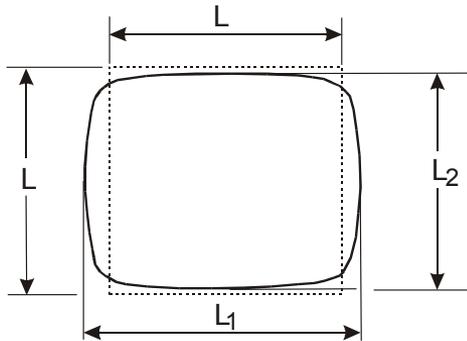


Das Modulsystem von Paletten

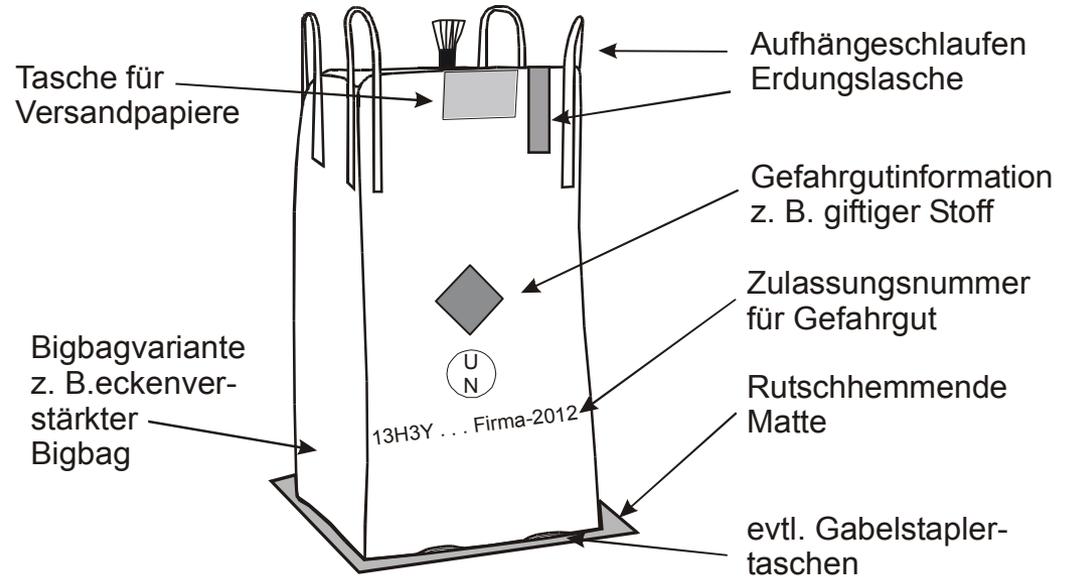
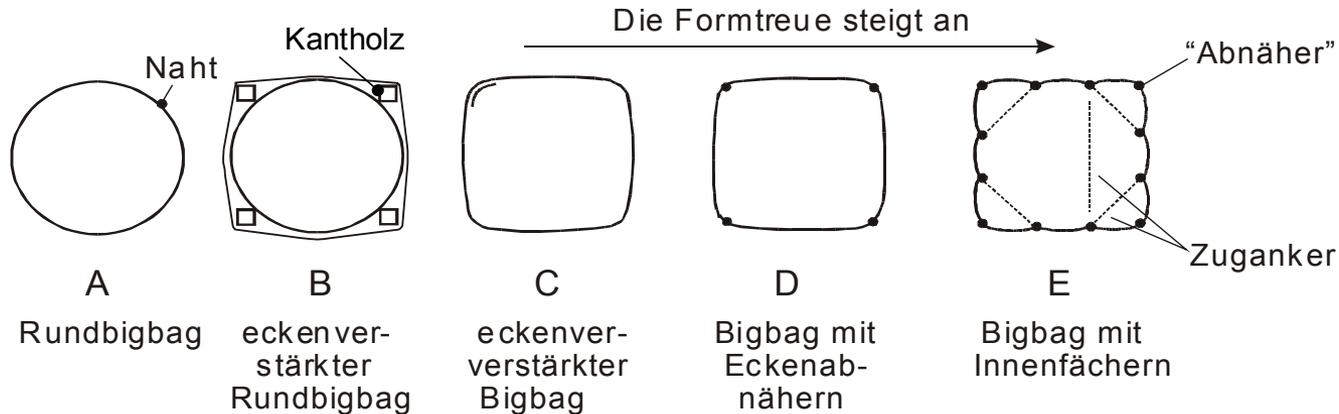
Ladeeinheiten mit Bigbags

(Bigbags / Großsäcke)

Abmessungen (Beispiel)



Querschnitte



Ladungseigenschaften

Aggregatzustand/Formstabilität

starr

elastisch

plastisch

Ladungsformen und Ladungsabmessungen

Starre Ladungen

Beispiel Betonteilen



Eigenschaften

Unter Umständen große Massen

Hohe Steifigkeit der Ladungsmasse

Überlängen

Unter Umständen hoher Ladungsschwerpunkt

Bei Bewegung große kinetische Energie möglich

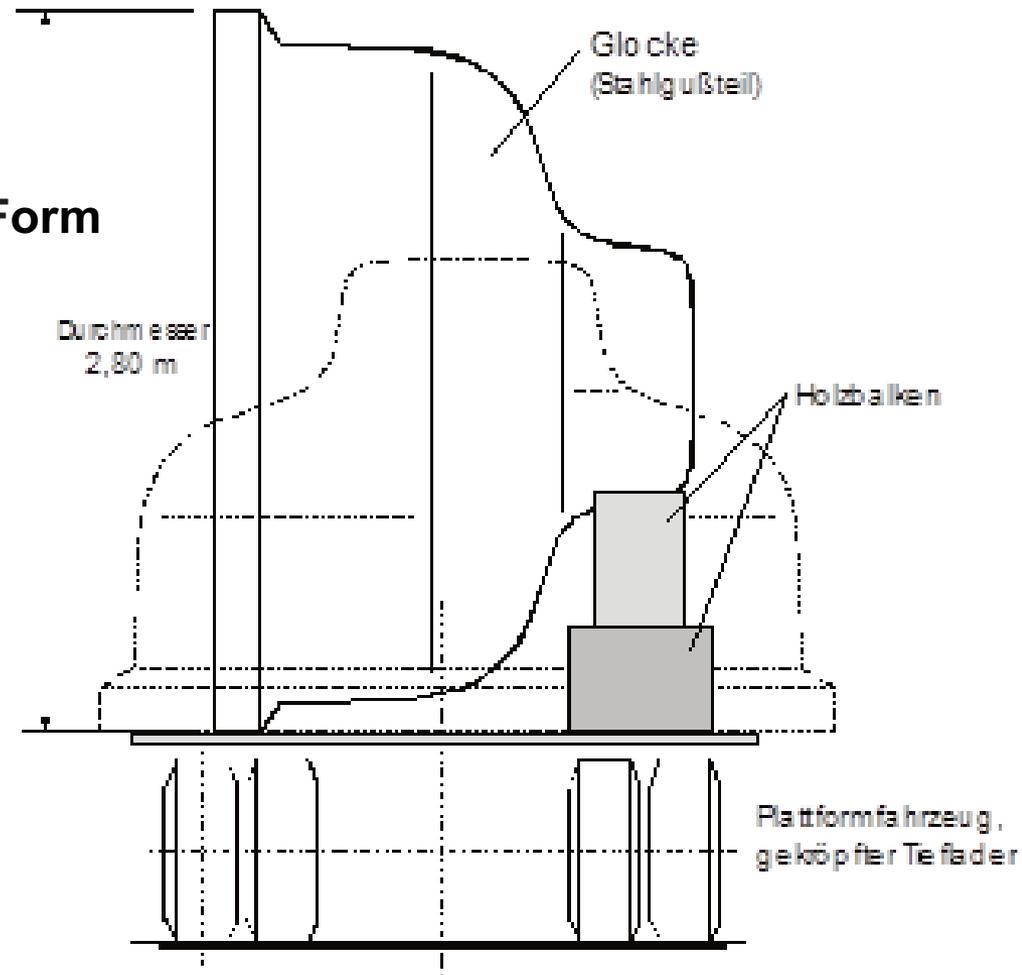
.....

Starre Ladungen

Gußteil

Eigenschaften

- Anschlagpunkte – vorhandene Form
- Lagerung („hoch“ oder „flach“) im Transport vorplanen
- Maximale Höhe und Breite auf dem Fahrzeug beachten
- Lage Ladungsschwerpunkt auf dem Fahrzeug prüfen (Ladungsverteilung)
-



Elastische Ladungen



Reifen

Eine Ladung soll dann als elastisch gelten, wenn sie sich nach Deformation vollständig, bzw. überwiegend zurückverformt.



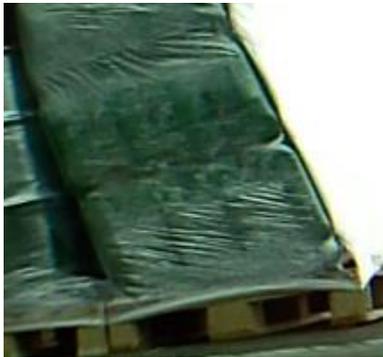
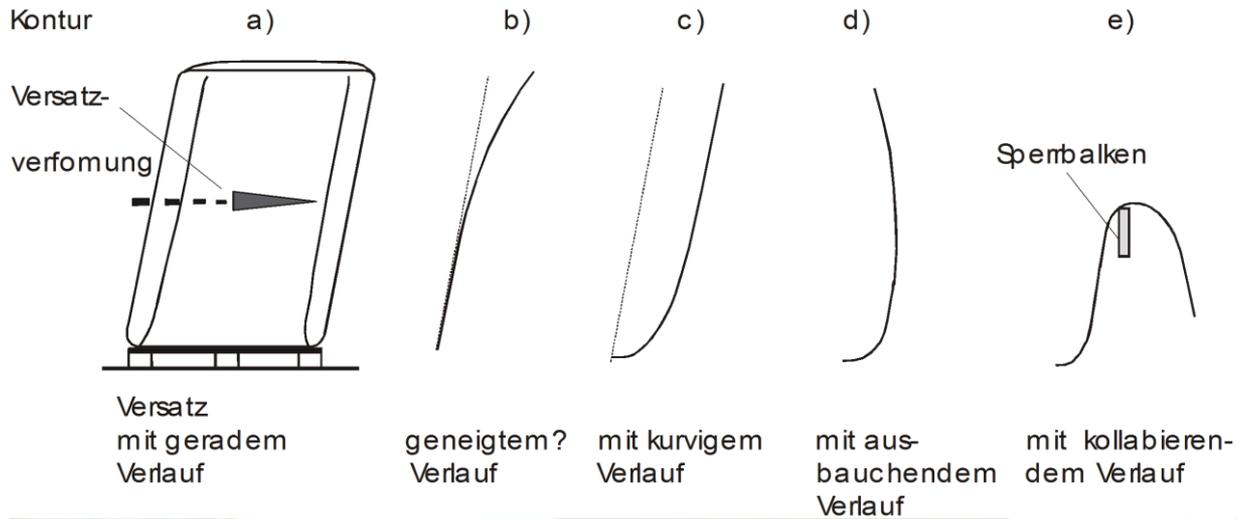
Plastische – nicht formstabile Ladungen

= Ladung hat keine oder nur geringe Rückstellung



Plastische Ladungen

Eigenbewegungen von Bigbags mit Verformung



Schwingender Bigbag



Versatz



kollabierter Bigbag

Plastische Ladeeinheiten

Säcke auf Palette stapeln und umreifen (wickeln, Schrumpffolie, . . .)

Chaotische
Stapelung



Säulen-
stapelung



Verbund-
stapelung



Ladungseigenschaften I

Masse: Schwere und Trägheit

$$F_G = m \cdot g$$

Einheiten | | |

 N kg m/sec²

Einheiten

$$m = V \cdot \rho$$

 | | |

 N m kg/dm³

Einheiten

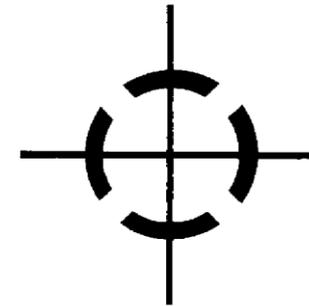
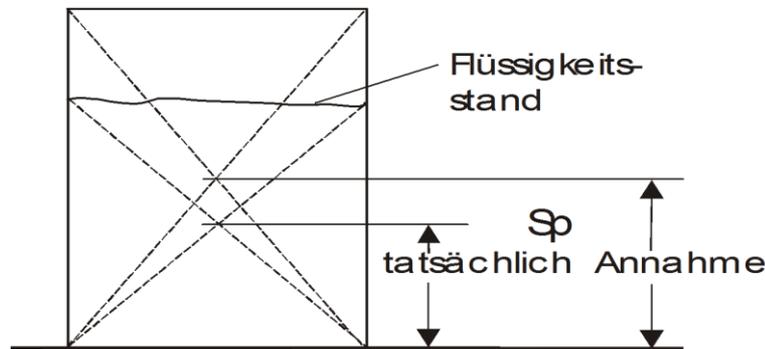
$$F_G = m \cdot a$$

 | |

 N kg m/sec²

Massenträgheitsmoment

Schwerpunkt



Ladungseigenschaften II

Aggregatzustand - fest

Stahlteile

Blechcoil

Güter in Rollenform (Betonrohre, Trommeln mit Kabel)

Flächige Güter (Glasscheiben, Pressspanplatten, Stahlmatten für Betondecken)

Maschinen

Anlagenteile für Chemieanlagen

Schaltgeräte für Hochspannungsanlagen

Rotorblätter für Windkraftanlagen

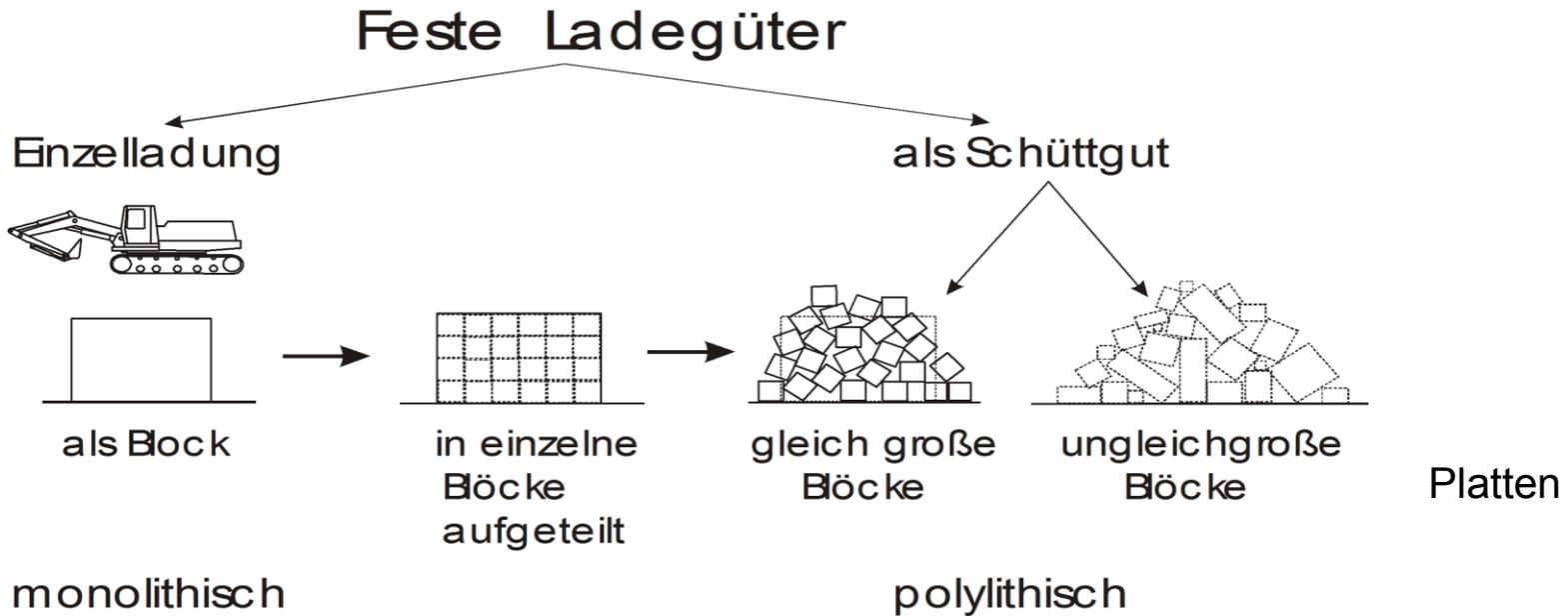
Fahrzeuge

...

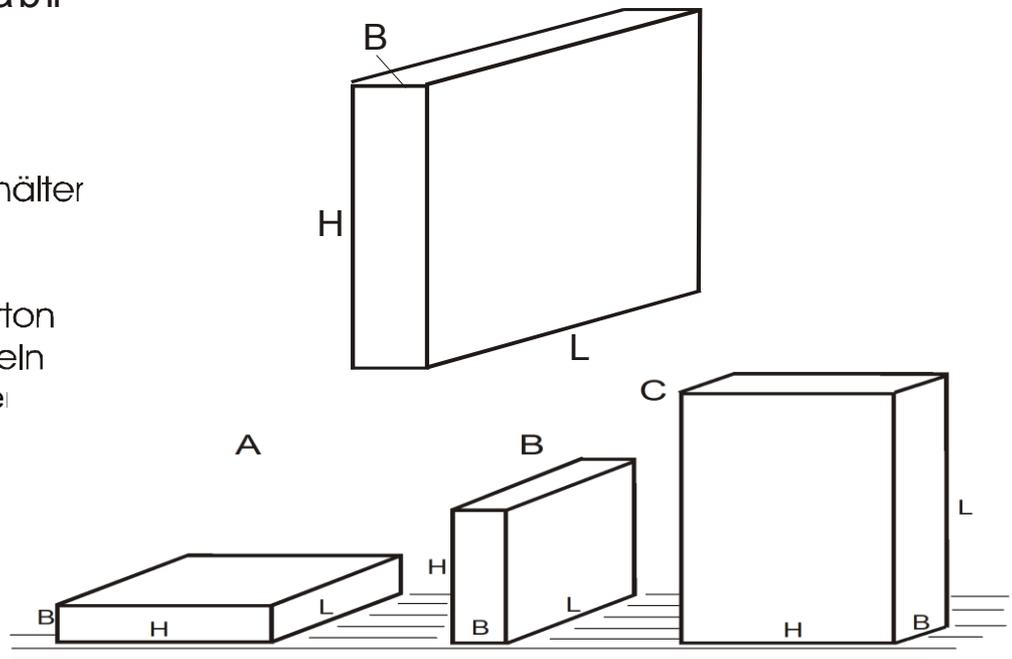
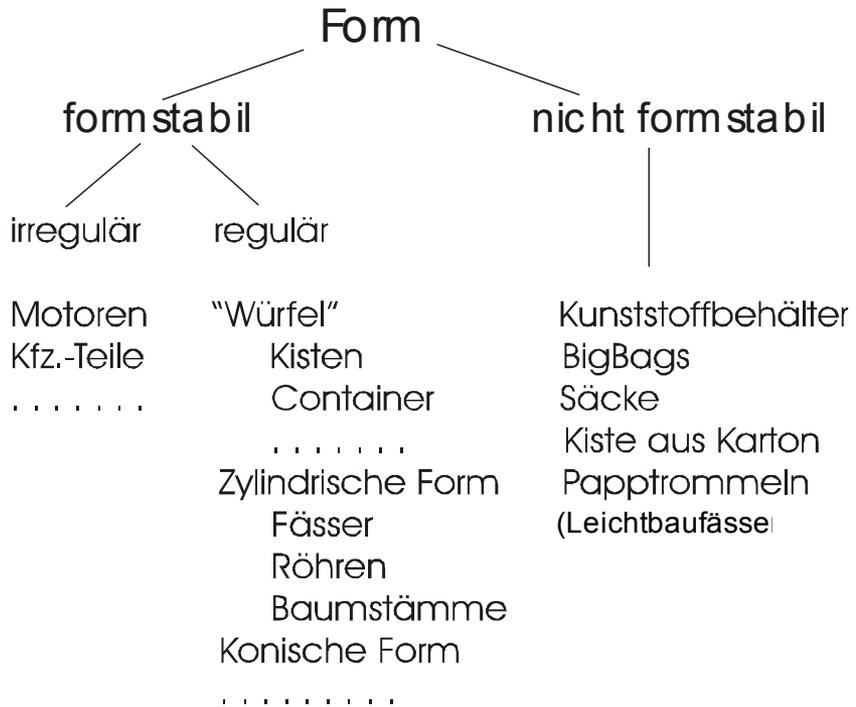
Aggregatzustand - flüssig (in Umschließungen)

Aggregatzustand - gasförmig (in Umschließungen)

Ergänzung „starre“ Ladungen



Ladungsform, Abmessungen



Form und Abmessungen bestimmen die Stauung auf einer Ladefläche und die Sicherungsnotwendigkeiten, z. B. zusätzlich gegen Kippen.

7 Fahrzeugseitige Einflußgrößen der Ladungssicherung

Fahrwerk

Aufbau

Anmerkungen zum Titel

Im Gegensatz zu der in den Richtlinien üblichen Vorgehensweise in der Ladungssicherungstechnik wird im Folgenden auch das Fahrwerk eines Nutzfahrzeugs mit in die Eignung des Fahrzeugs mit einbezogen und nicht nur der Aufbau. Dahinter steht die aus Versuchen gewonnene Erkenntnis, daß es ein Einfluß des Fahrwerks auf die Sicherung gibt.

Da eine Ladung in Eigenbewegung aus Längsstößen am Fahrzeugrahmen geraten kann, muß beim Überrollen eines Hindernisses nicht nur die vertikale Bewegung eines Rades betrachtet werden, sondern auch seine horizontale. Damit wird sich jede Achsanlenkung anders verhalten und in Folge auch ein Horizontalstoß am Rad.

Wesentliche Unterschiede in den Fahrwerken bestehen zwischen LKW und Sattelanhängern. Während an LKW Blattfeder geführte Achsen, aber auch Lenkeranlenkungen möglich sind, werden an mitteleuropäischen Aufliegern i. a. R. Kurbelachsen eingebaut.

**Die folgende Folie zeigt, daß neben der Radführung und der Höhe der Lade-
fläche auch die Abmessungen des Radstandes eine Rolle spielen.**

Einteilung Fahrzeuge und Kraftfahrzeuge



1) Fahrzeugdefinitionen: KBA-Verzeichnis, DIN 70010

2) Zugmaschinen haben keine oder eine nur sehr kleine Ladefläche

Fahrwerk Sattelaufleger

Begriff Fahrwerk

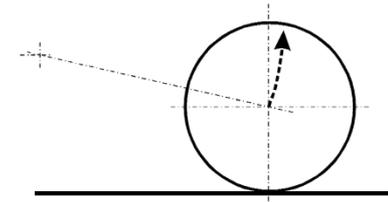
Ein Fahrwerk (Fahrgestell) ist die Gesamtheit aller Baugruppen eines Kraftfahrzeugs, die der Fahrfähigkeit dienen, wie z. B. Rahmen Federn, Achsen und Räder.

Fahrzeugseitige Einflußgrößen der Ladungssicherung

Anmerkungen:

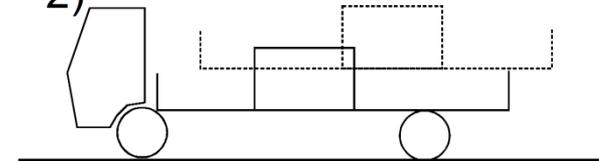
- 1) Das Fahrwerk wird beim Überrollen eines beidseitigen Hindernisses nicht nur eine vertikale Einfederungskraft hervorrufen, sondern auch einen Horizontalstoß.
- 2) Insbesondere für die Kippneigung eines beladenen Fahrzeugs spielt die Höhe der Ladefläche ein Rolle.
- 3) Die Hauptauslegungsabmessungen sind verantwortlich für die Achsbelastungen
- 4) Gegen Wettereinflüsse u. ä. muß der Aufbau schützen.

1)



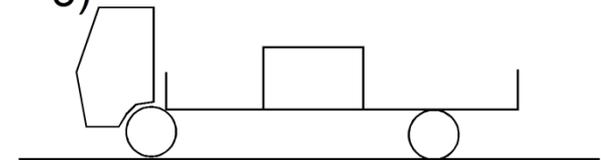
Einfluß Fahrwerk auf Ladungsbewegungen

2)



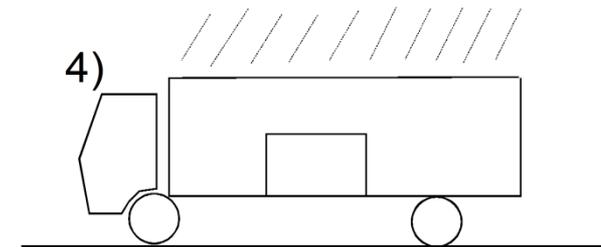
Höhe Ladefläche
(Höhe Gesamtschwerpunkt)

3)



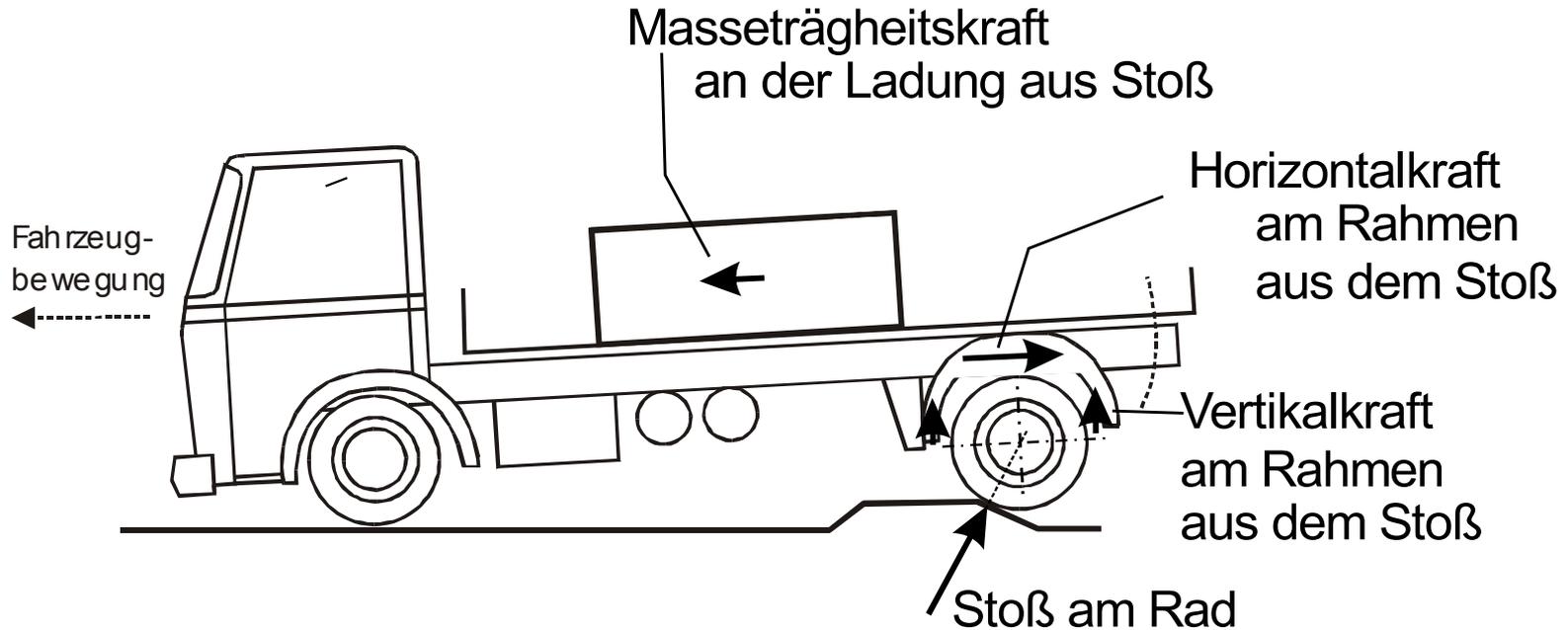
Beachtung der zulässigen Achslast

4)



Geeigneter Aufbau

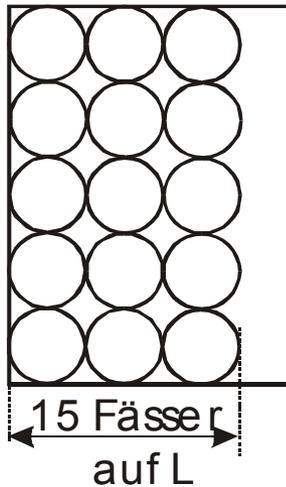
Horizontalstoß am Rad



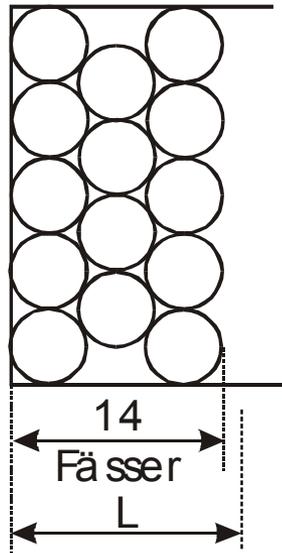
Aus einem Stoß am Rad kann eine geringe Ladungsbewegung entstehen, die im Folgenden als „Wandern“ bezeichnet werden soll. Dicht ausgestaute und homogene Ladungen können dann Freiräume aufweisen.

Freiraumbildung Faßladung

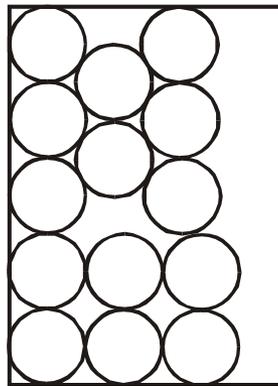
Reihen-
aufstellung



versetzte
Aufstellung

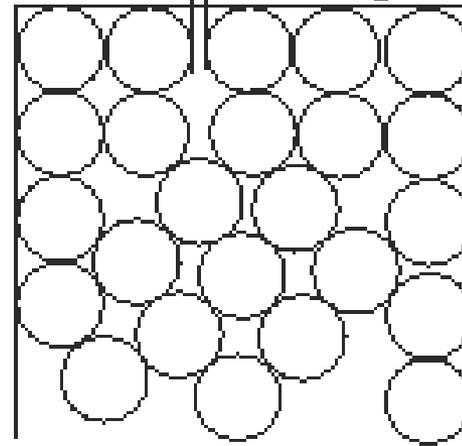


gemischte
Aufstellung



**Soldaten-
aufstellung**

Zum Beladen not-
wendiger Restfreiraum



Mechanismus der Freiraumbildung:

Restfreiräume aus der Stauung führen zur dichteren Stauung. Ab der 5. Reihe sind bei Standardfässern (200 l) größere Freiräume zu erwarten.

Folgen von Freiraumbildung bei Fässern

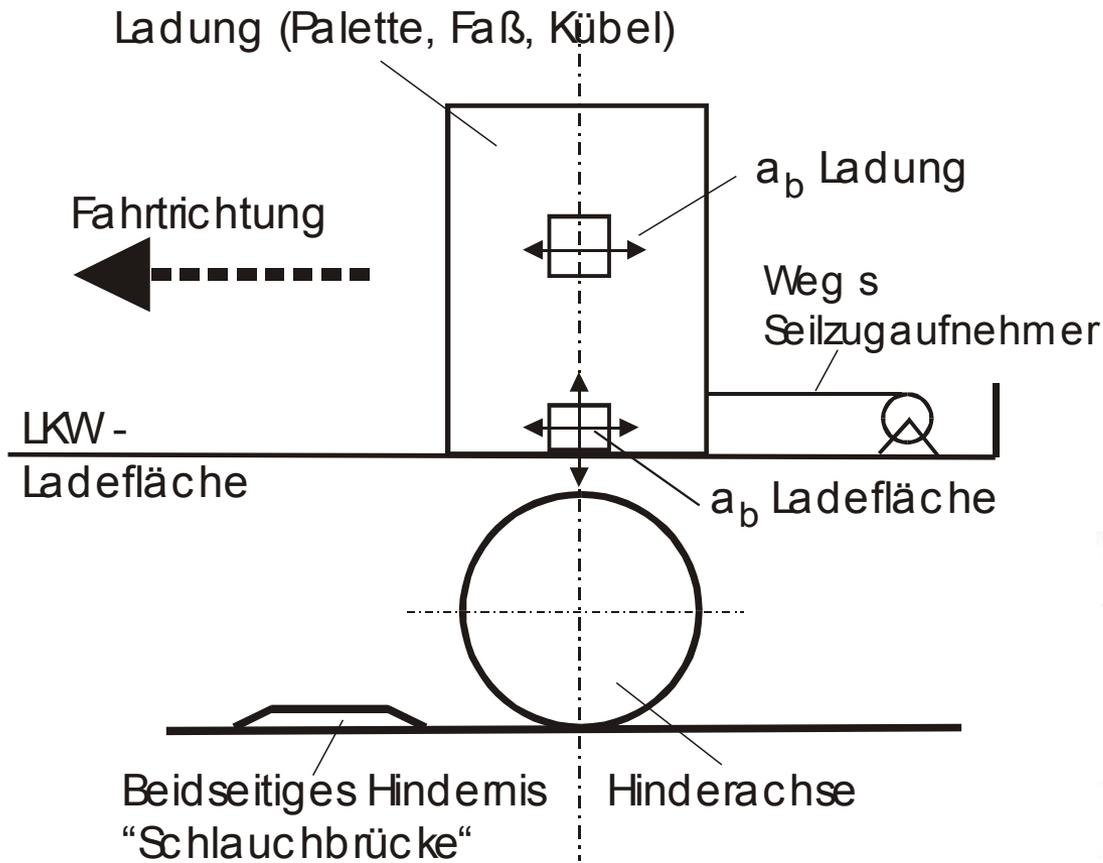


Auflösung einer ursprünglich dicht gestauten Ladung: Umsturzgefahr gegeben



Aufgleigten, Faßring durchstößt Mantelfläche

Versuche

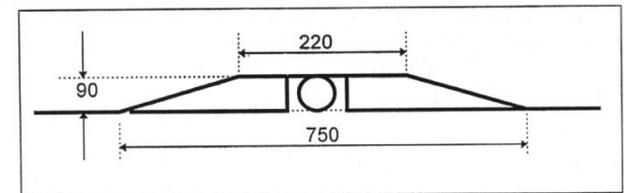


Meßeinrichtung für Hindernisfahrten

Faß in Versuchsgestell,
Faß über Mitte Hinterachse
eines LKW

[1]

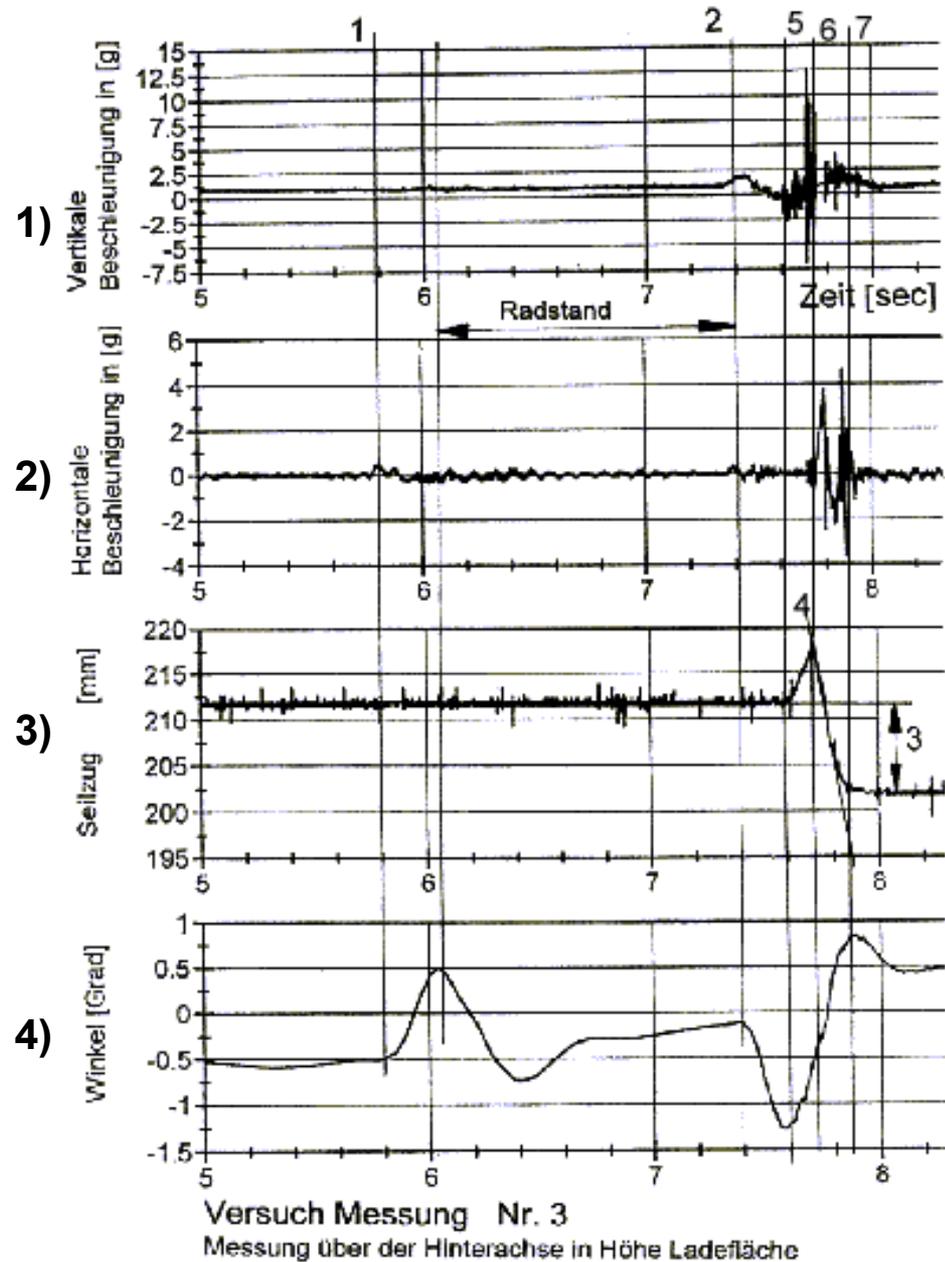
Abmessungen Fahrbahn "hindernis"
Schlauchrampe



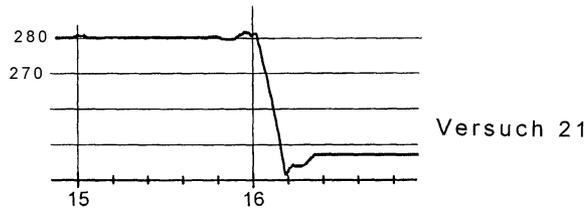
Meßergebnisse

- 1) Vertikale Beschleunigung am Faß
- 2) Horizontale Beschleunigung
- 3) Faßbewegung
- 4) Nickverhalten beim Überfahren des Hindernisses

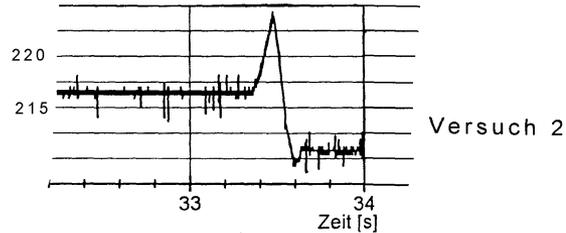
Erkennbar ist aus 1) und 2), daß eine vertikale Beschleunigung mit einer horizontalen nahezu parallel läuft.



Bewegungsabläufe verschiedener Ladungen

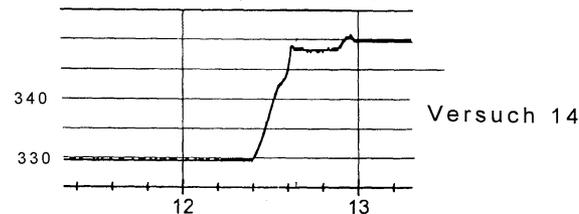


Bewegung nach hinten

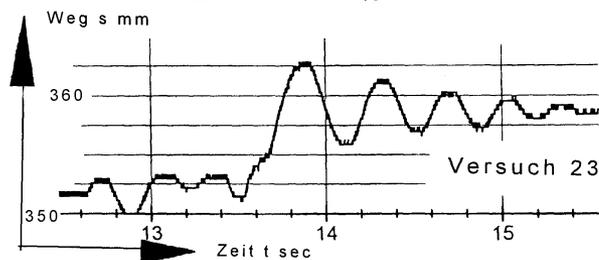


Nach vorn, dann nach hinten

Bewegungsverhalten mit Ankipptendenz

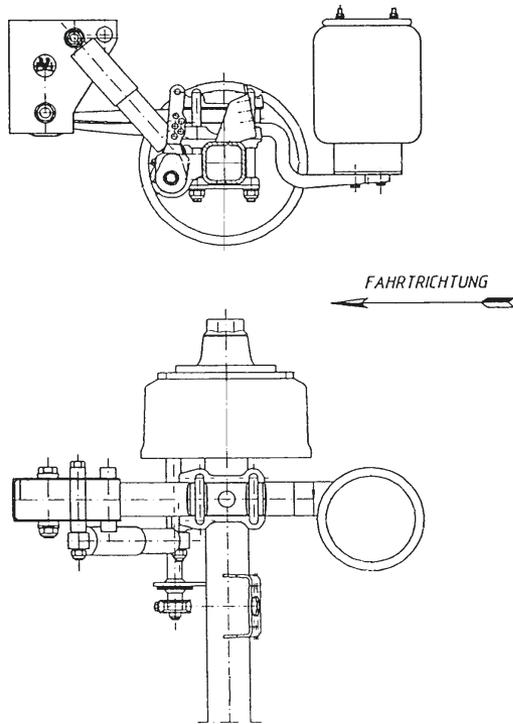


Nach vorn

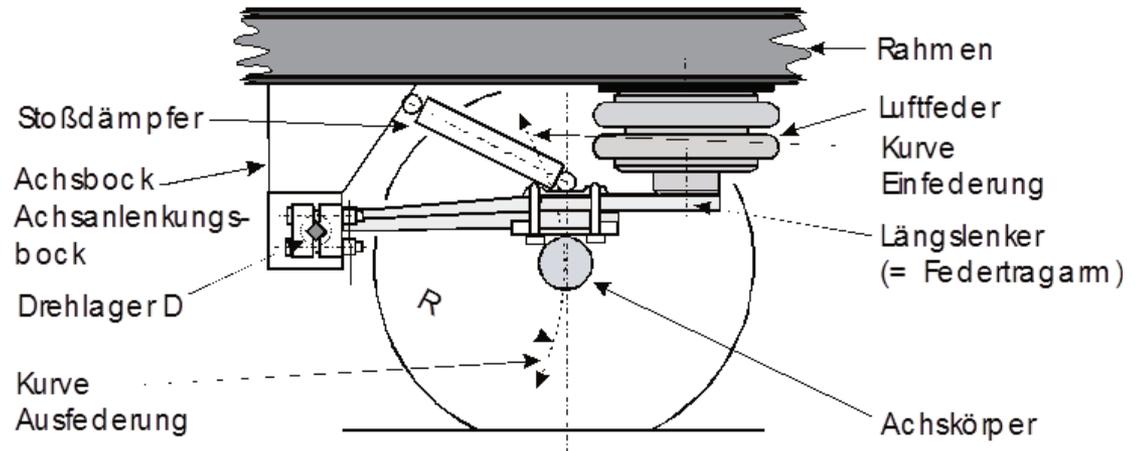


Nach vorn mit Schwingungen

Zur Entstehung des Horizontalstosses an der Ladefläche



von BPW

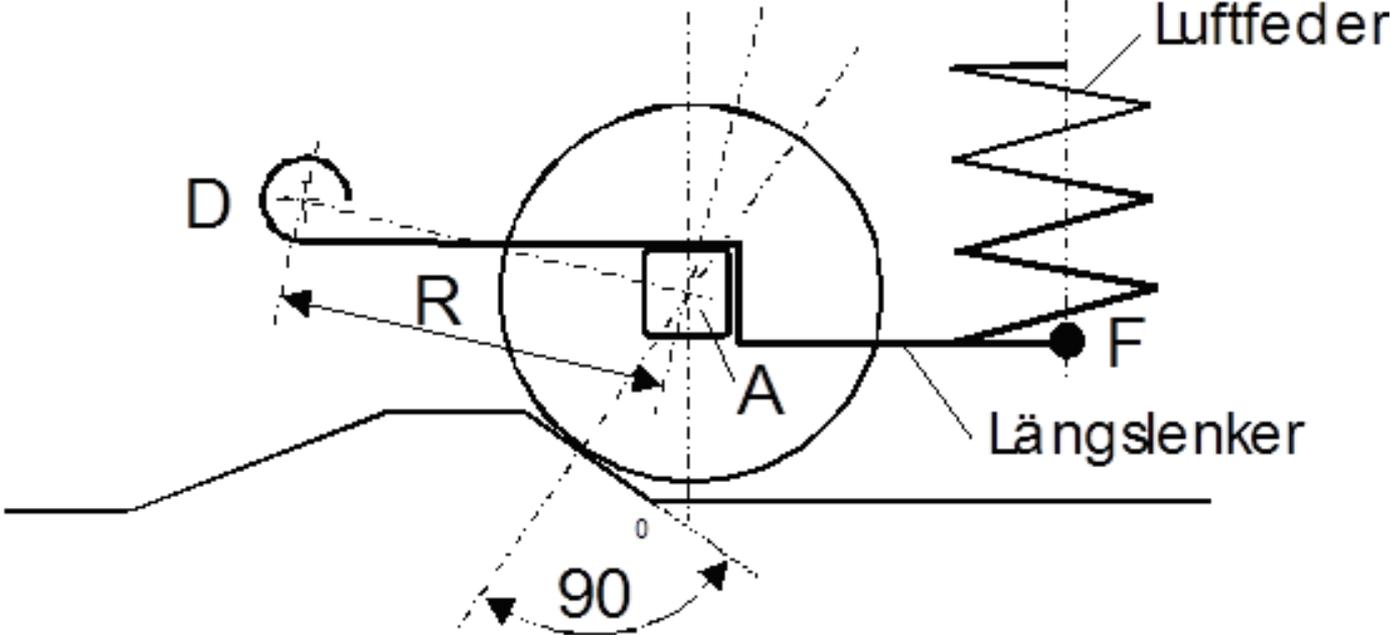


Aufliegerachsen von Kässbohrer

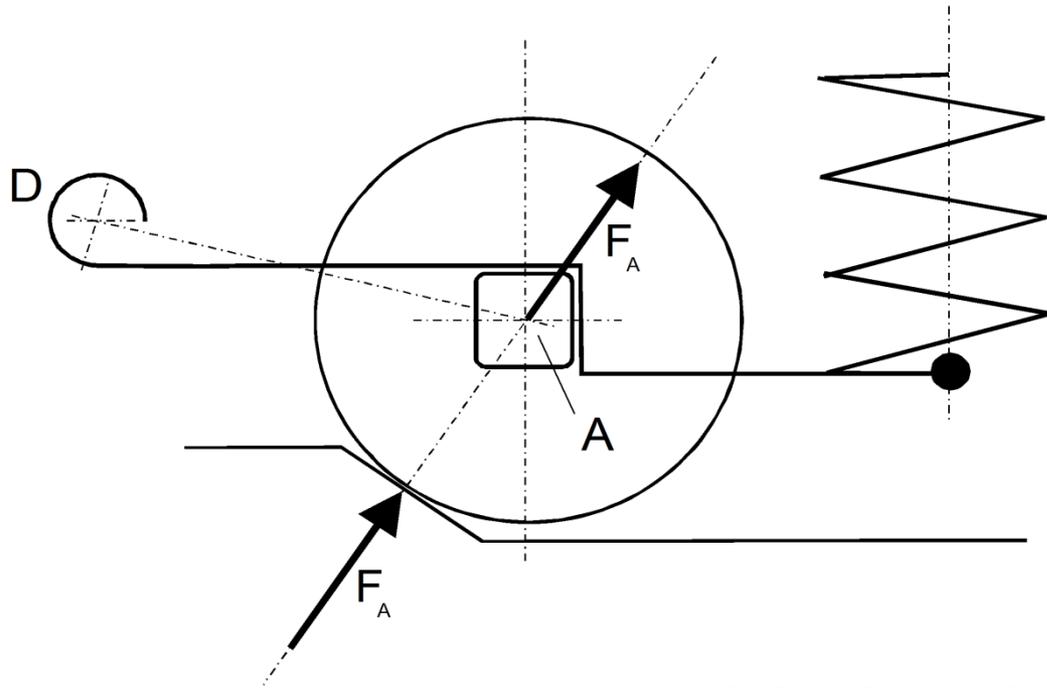
Typ: Kurbelachse

Achse überrollt beidseitiges Hindernis

Schema

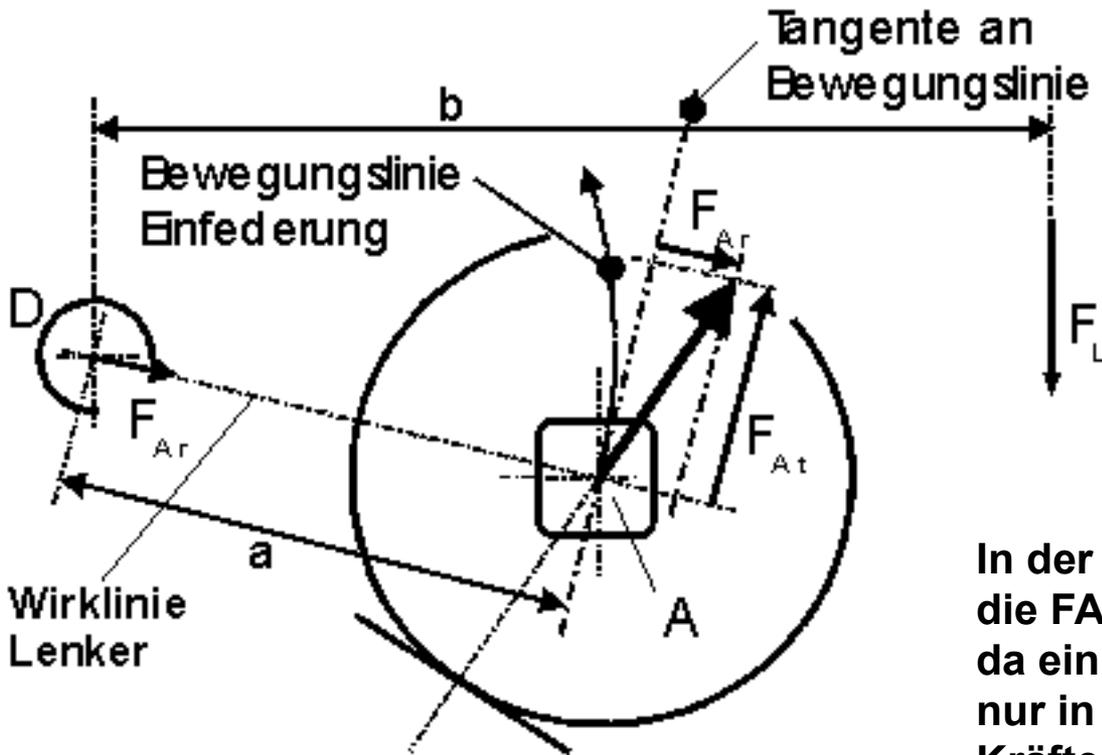


Krafteinwirkung vom Hindernis auf das Rad



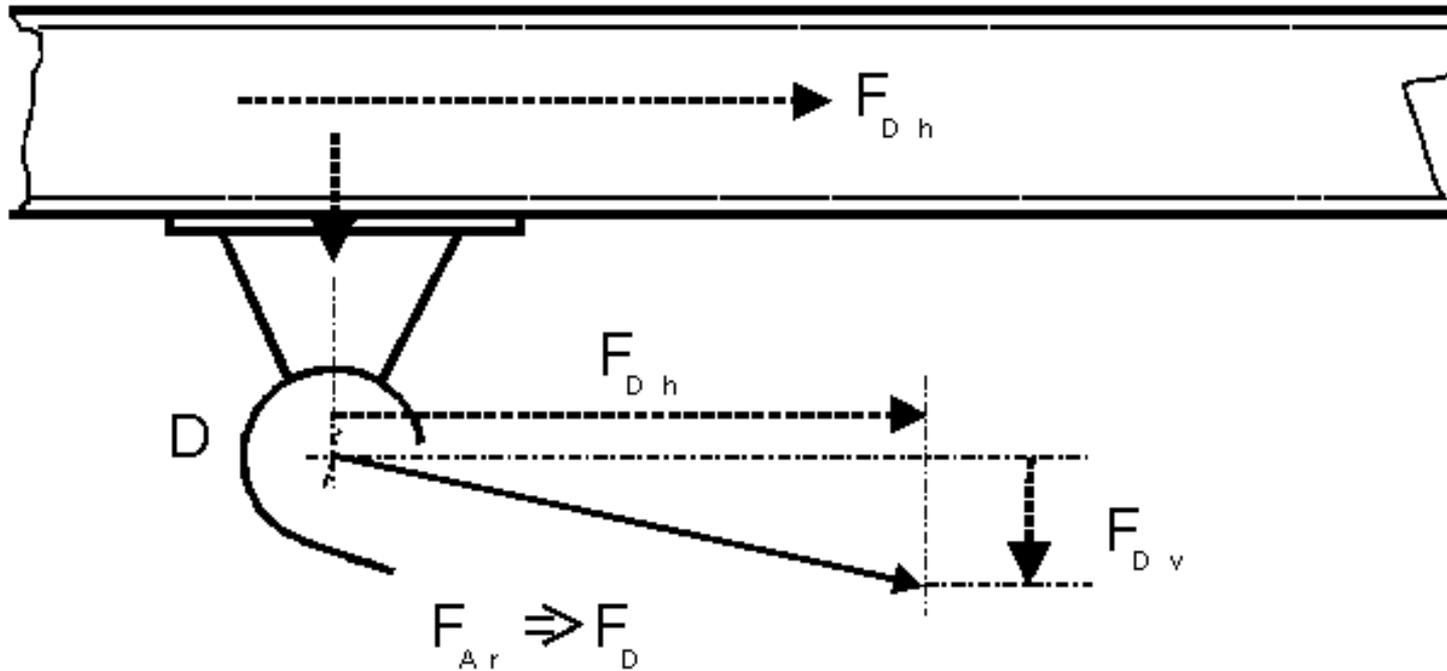
am Rad muß in Richtung Achsmitte laufen. Die Kraft wird mit einer vorgegebenen Pfeillänge in der maximalen Größe (= 100 %) angenommen.

Kraft im Lenker



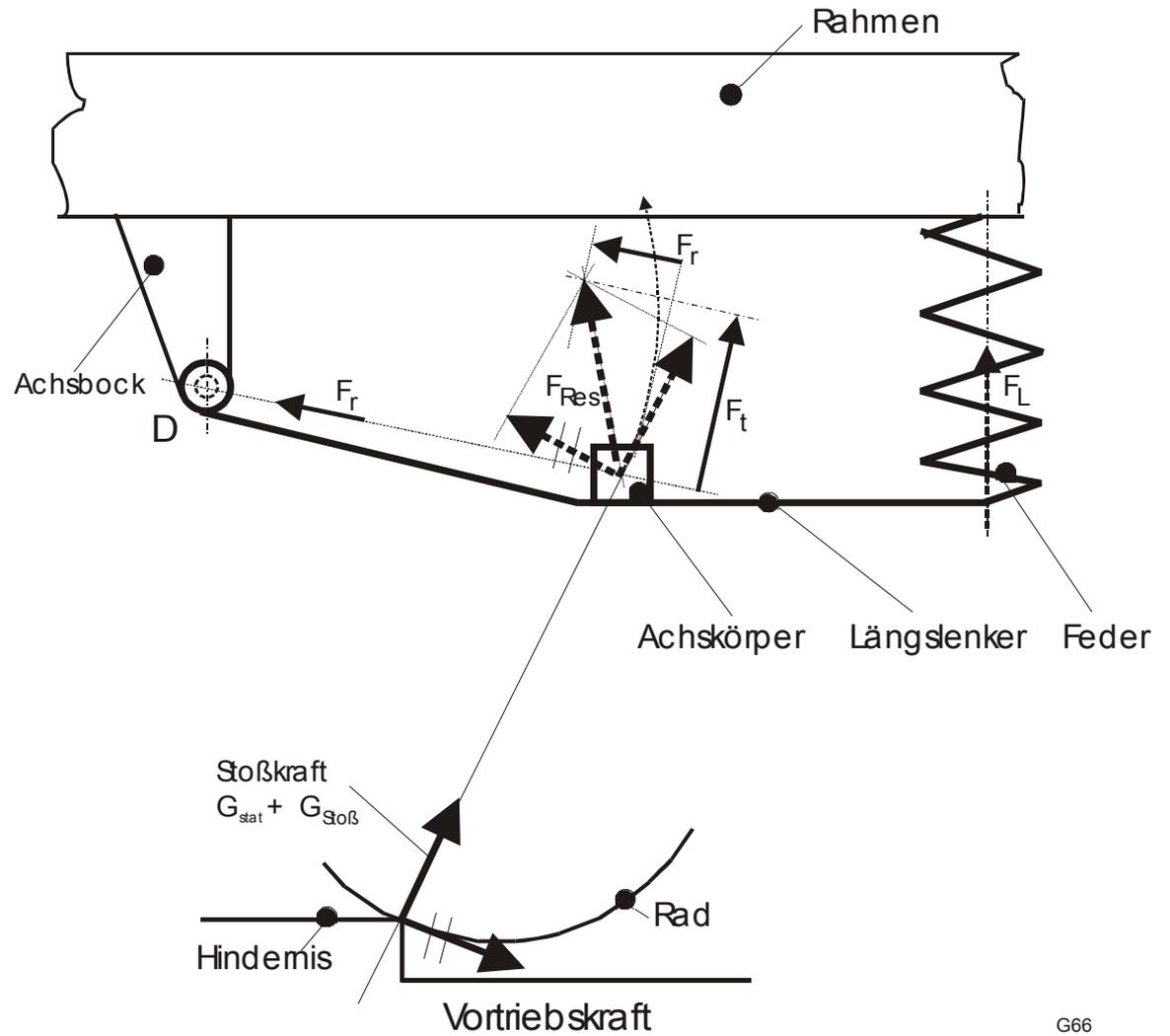
In der Wirklinie des Lenkers wird die F_{Ar} -Komponente übertragen, da ein drehbar gelagerter Lenker nur in seiner Längsrichtung Kräfte übertragen kann.

Horizontalkraft am Rahmen



Aus der Horizontalkomponente F_{Dh} aus F_{Ar} leitet sich der Horizontalstoß am Rahmen her.

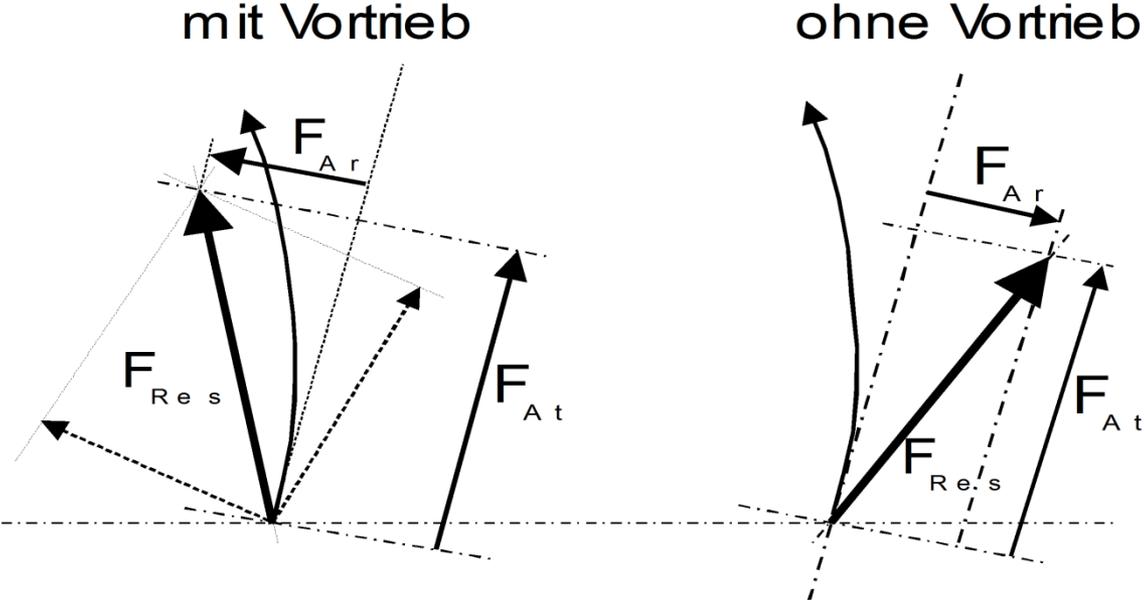
Rad mit Vortrieb



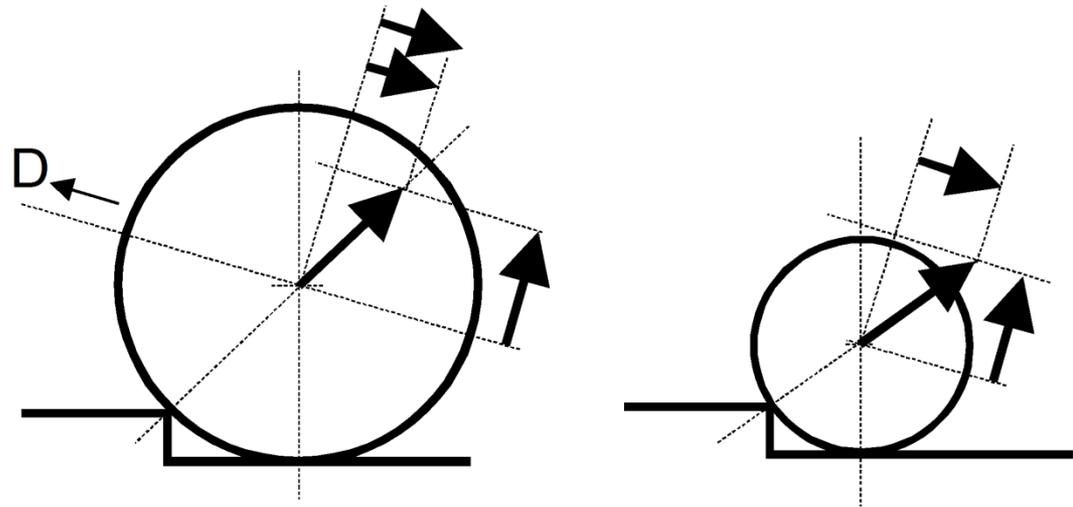
G66

Vergleich Achse - freilaufend und mit Vortrieb

Horizontalstoß



Einflußgrößen Horizontalstoß



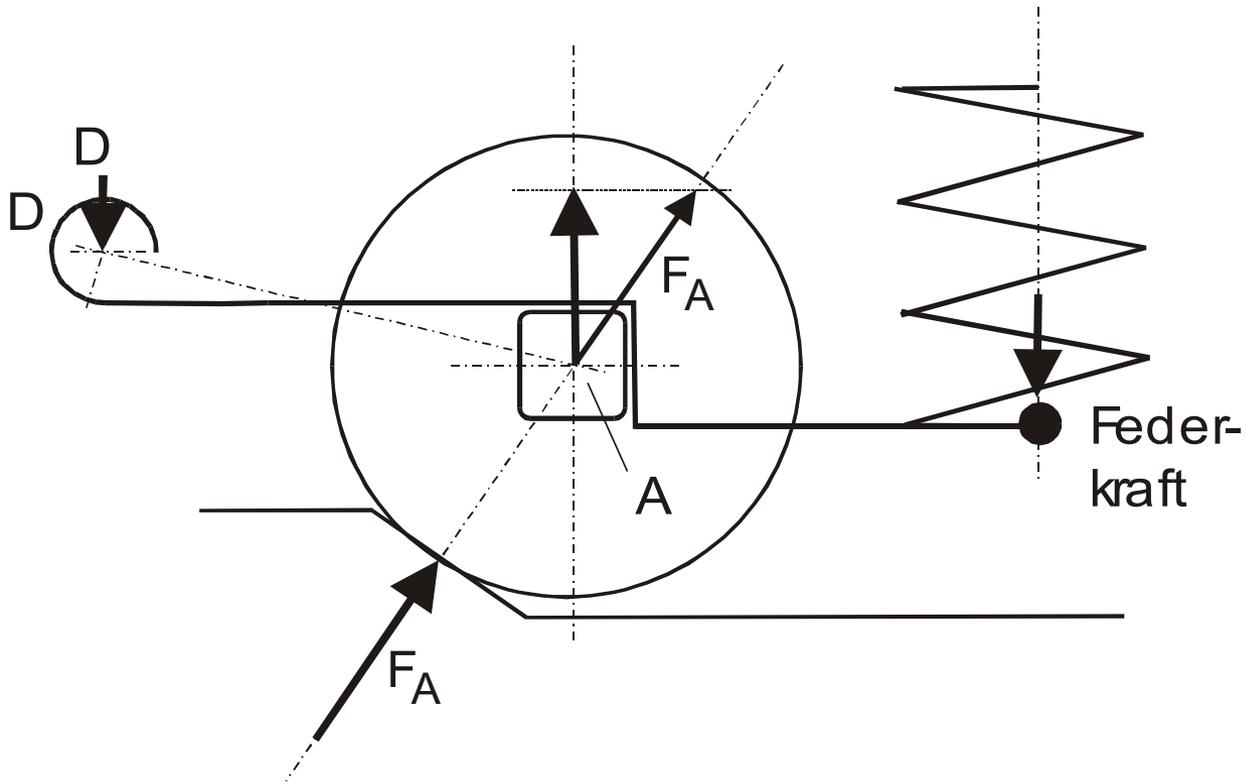
Radgröße

Fahrzeuggeschwindigkeit

Hindernishöhe

Federungsart

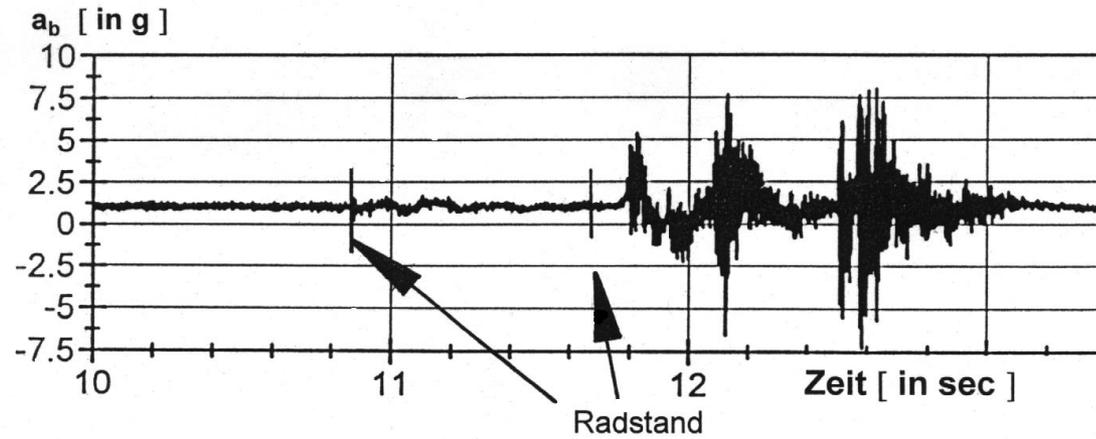
Der Einfederungsvorgang



Blatt- und Luftfeder im Vergleich

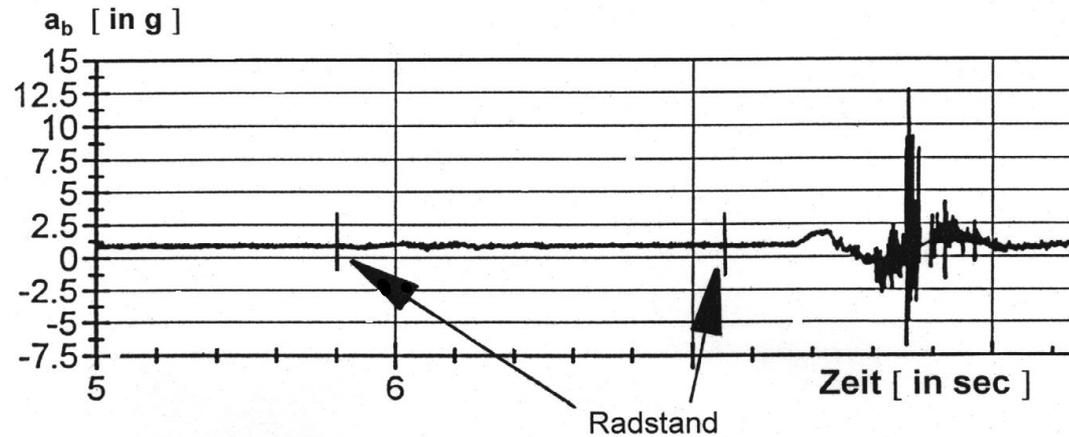
Auswirkungen auf die Größe von Längsstößen am Rahmen

Blattfederung



[Versuch 15 (7.98)]

Luftfederung

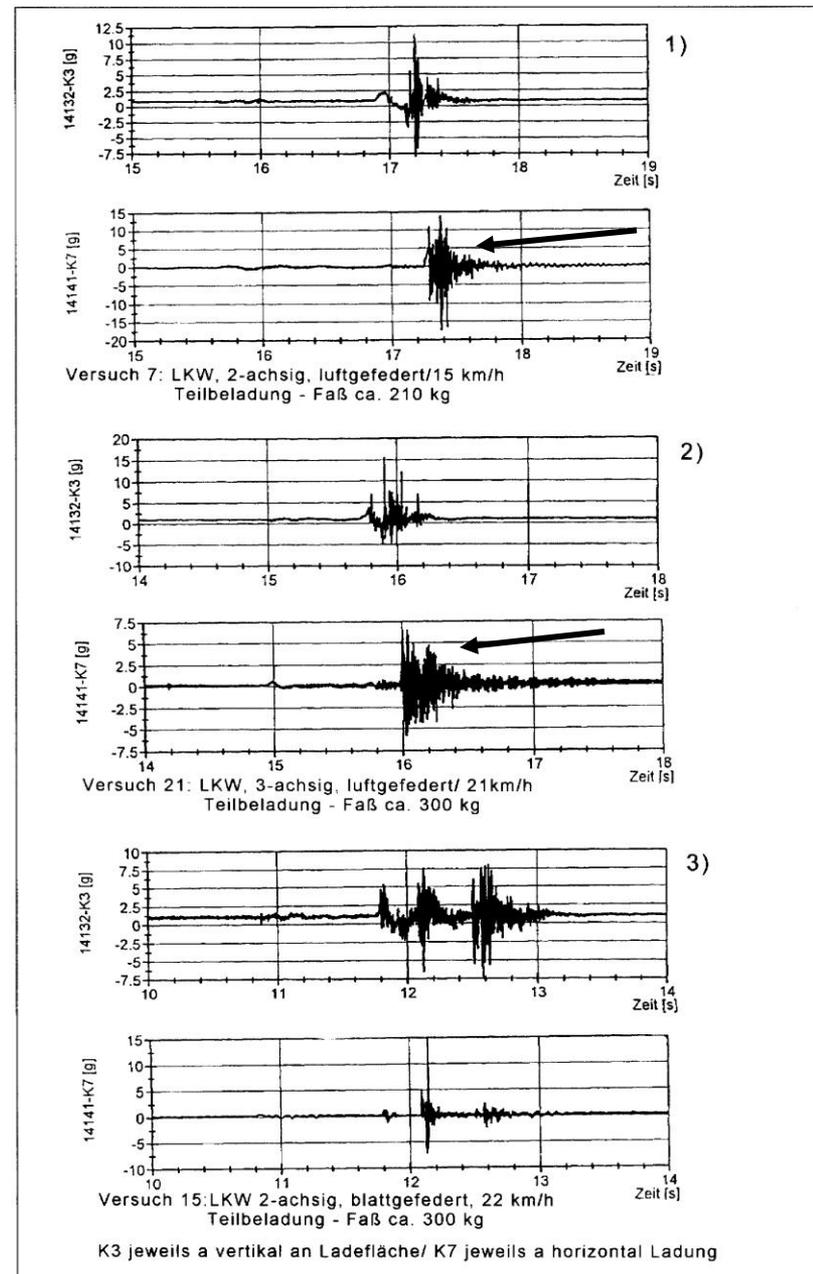


[Versuch 3 (7.98)]

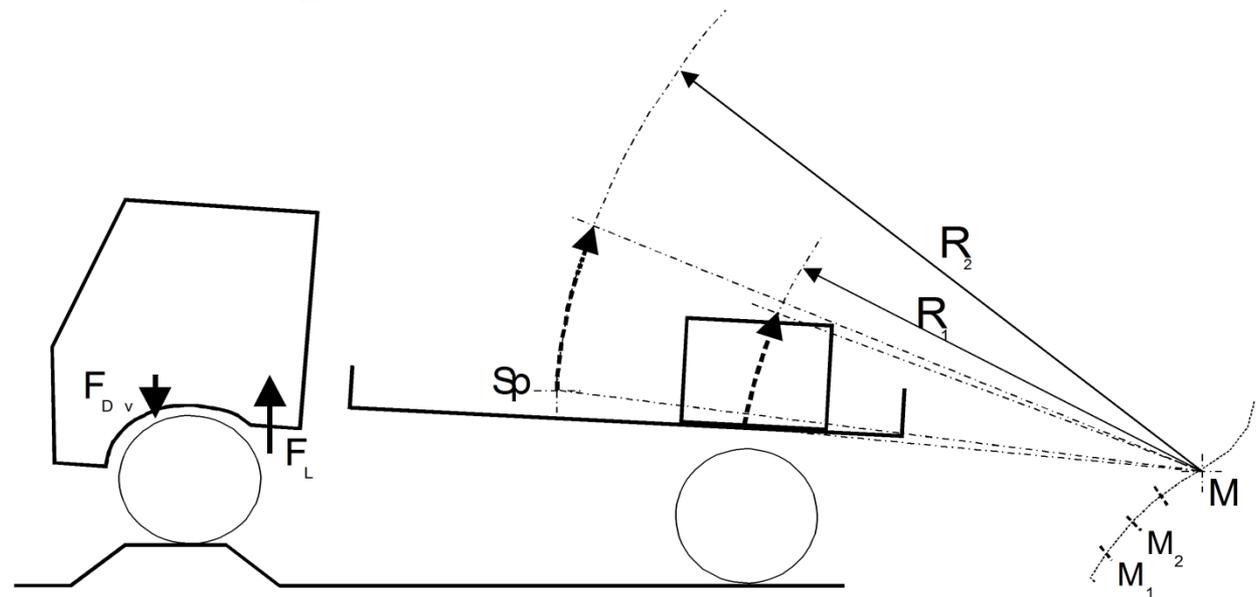
2- und 3-achsige Zugmaschine im Vergleich

Horizontal

Horizontal



Drehung des Aufbaus bei beidseitiger Einfederung

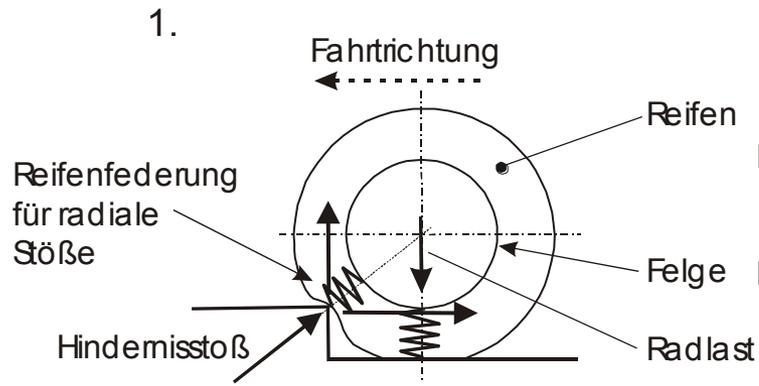


g88

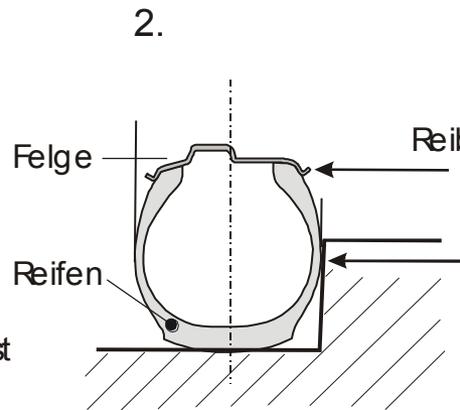
- M Momentanzentrum Drehbewegung
- R Radius
- S_p Schwerpunkt Fahrzeugaufbau mit Ladung

Einfluß Radstand

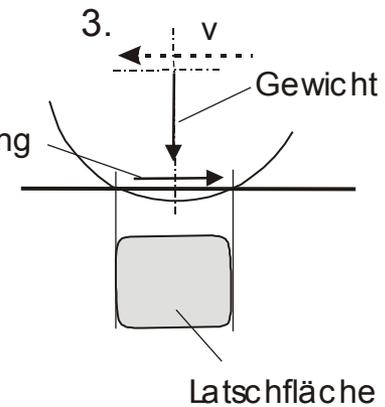
Stoßbelastungen auf das Rad



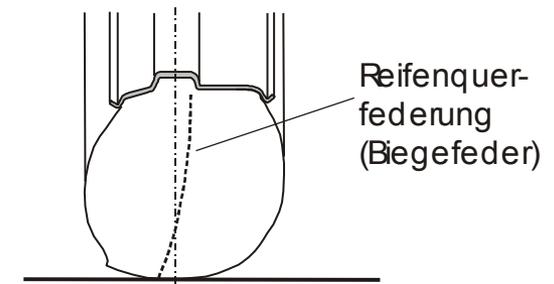
Längsstoß horizontal
formschlüssig, gefedert



Querstoß horizontal
formschlüssig, gefedert
Querstoß an Felge
formschlüssig, ungefedert



Umfangskraft horizontal
längs - quer
reibschlüssig



**Kräfte werden nicht nur über Reibschluß
In der Latschfläche übertragen, sondern
Auch durch Formschluß (seitlich und an
Hindernissen).**

Fahrzeugaufbau

[2]

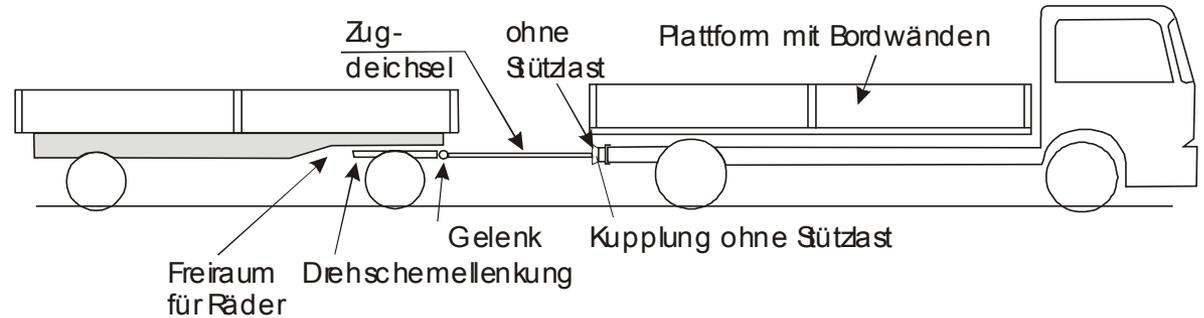
Sattelanhängertypen

Übersicht

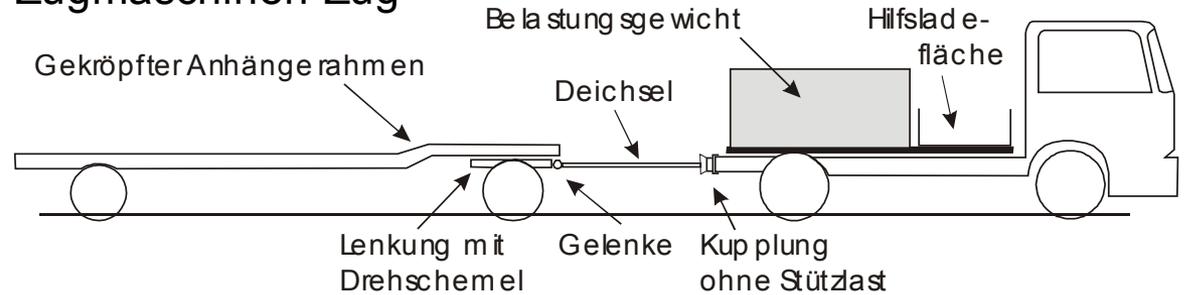
1. Tiefleder	
Sattelhöhe	mm
Reifen	
Innenraumhöhe	
2. Standard	
Sattelhöhe	1150 - 1180 mm
Reifen	385/65 22,5
Innenraumhöhe	ca. 2850 mm
3. Midiliner	
Sattelhöhe	1050 - 1060 mm
Reifen	385/55 22,5
Innenraumhöhe	ca. 2950 mm
4. Lowliner	
Sattelhöhe	940 - 960 mm
Reifen	385/55 19,5 445/45 19,5 Super Single
Innenraumhöhe (evtl. mit anhebbarem Dach)	bis 3060 mm
5. Gigaliner	Volumenzug bis 150 m ³ 60 Tonnen zulässiges Ges.-Gewicht 25,25 m Länge
6. Sonstige	
Sattelhöhe	mm
Reifen	
Innenraumhöhe	

Zug- kombinationen

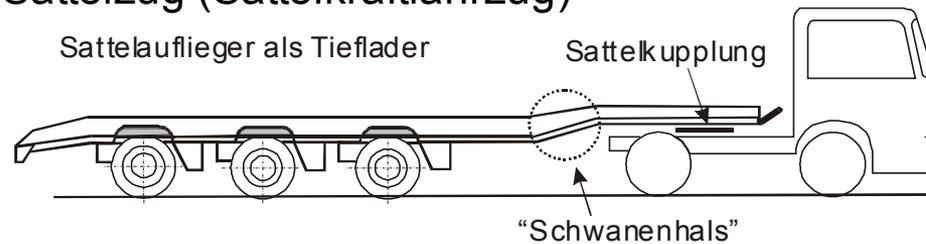
Lastkraft-Wagenzug



Zugmaschinen-Zug



Sattelzug (Sattelkraftfahrzeug)



Anforderungen an Sattelaufleger

Ladefläche

eben, ohne Rahmenabsetzung
hohe Reibungszahl, abriebfest
niedrig bei Volumenladung
in der Höhe angepaßt an Be- und
Entladestellen

Abmessungen Ladefläche

Auf Palettenmaße abgestimmt.

Beladbarkeit

Von 3 Seiten beladbar, Tragfähigkeit
befahrbar mit Gabelstapler
Gewichtsverteilung (längs, seitlich)

Festigkeit

Festigkeit: Durchbiegung, Torsion

Tragfähigkeit

$$\frac{\text{Leergewicht}}{\text{Zuladung}} = \frac{1}{2,5} \text{ bis } \frac{1}{3,5}$$

früher heute

Einteilung Auflieger nach Gewicht

Sattelanhänger

Leergewicht in kg

Klassisch

7 400

Klassisch leicht

6 500

Klassisch leicht mit Alubestandteilen

6 100

Aluminium Fahrgestell mit Holzboden

5 700

Aluminium-Fahrgestell mit integriertem
Aluminiumboden

5 200 - 4 900 ¹⁾

¹⁾ Mit 19,5-Zoll-Achsen und Räder

F + K 05/04

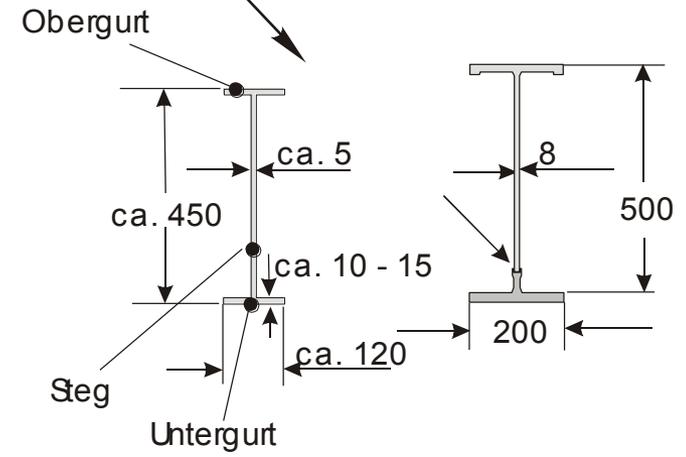
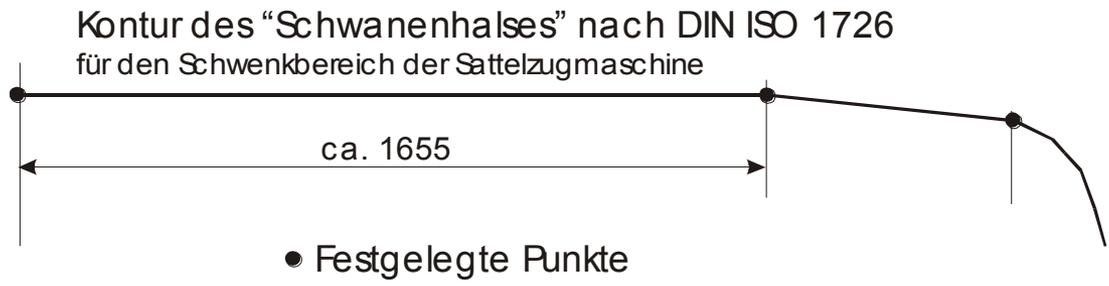
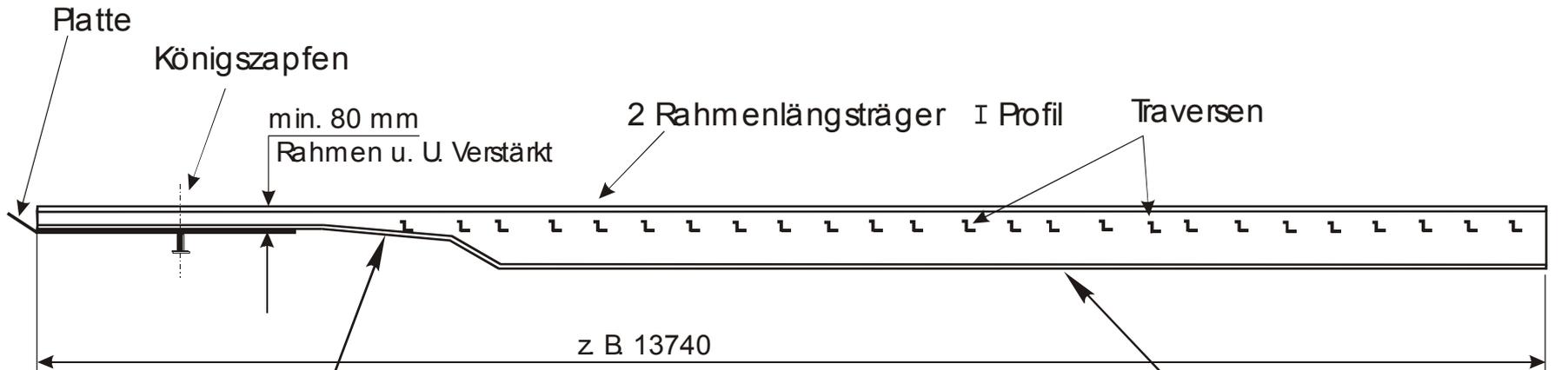
Standard- und Leichtbaurahmen im Vergleich

Leichtbaurahmen



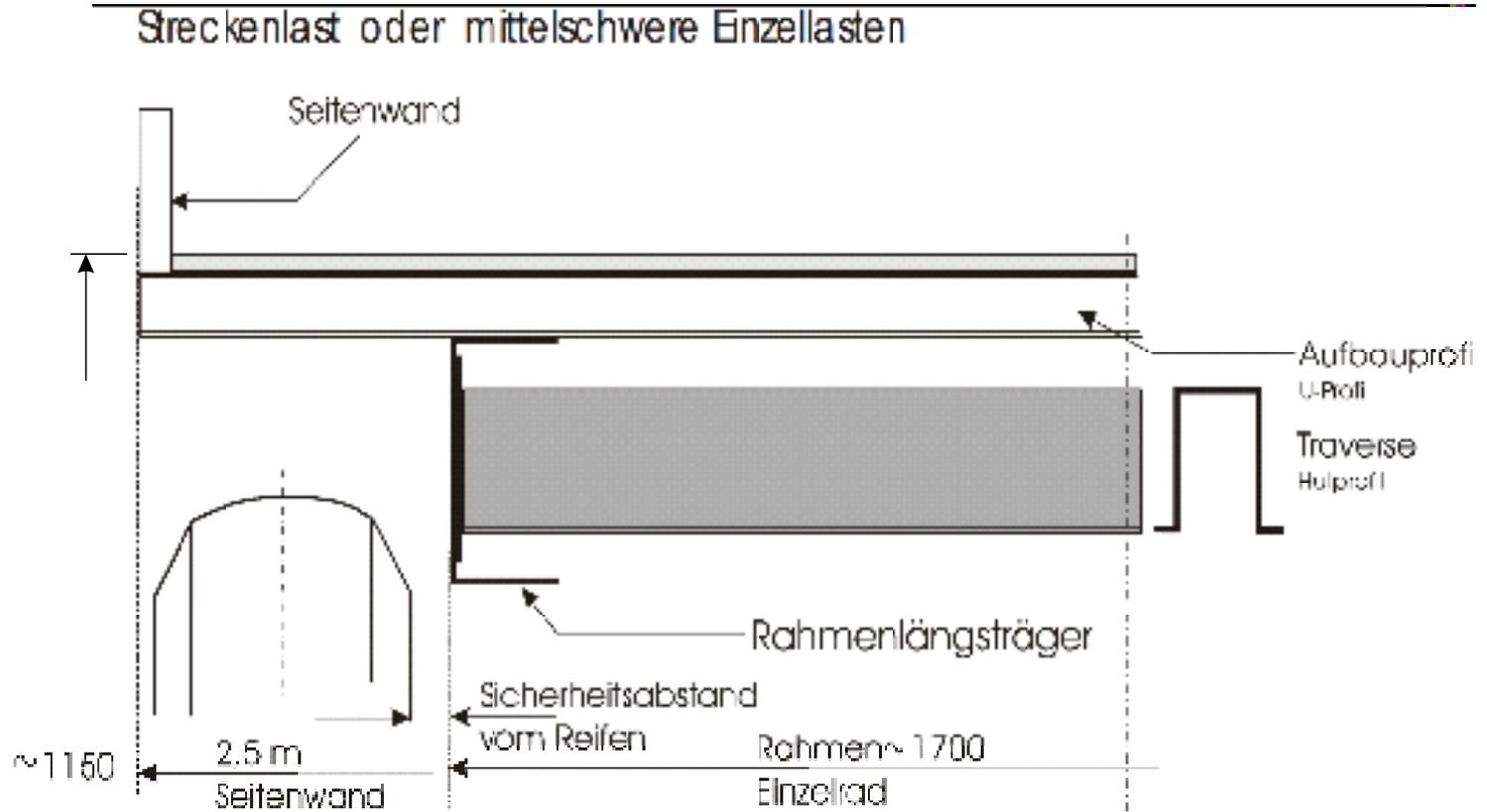
Konventioneller Rahmenlängsträger
Fa. Schmitz

Rahmenlängsträger



Alu - Rahmenlängsprofile
offenes, doppeltes T-Profil

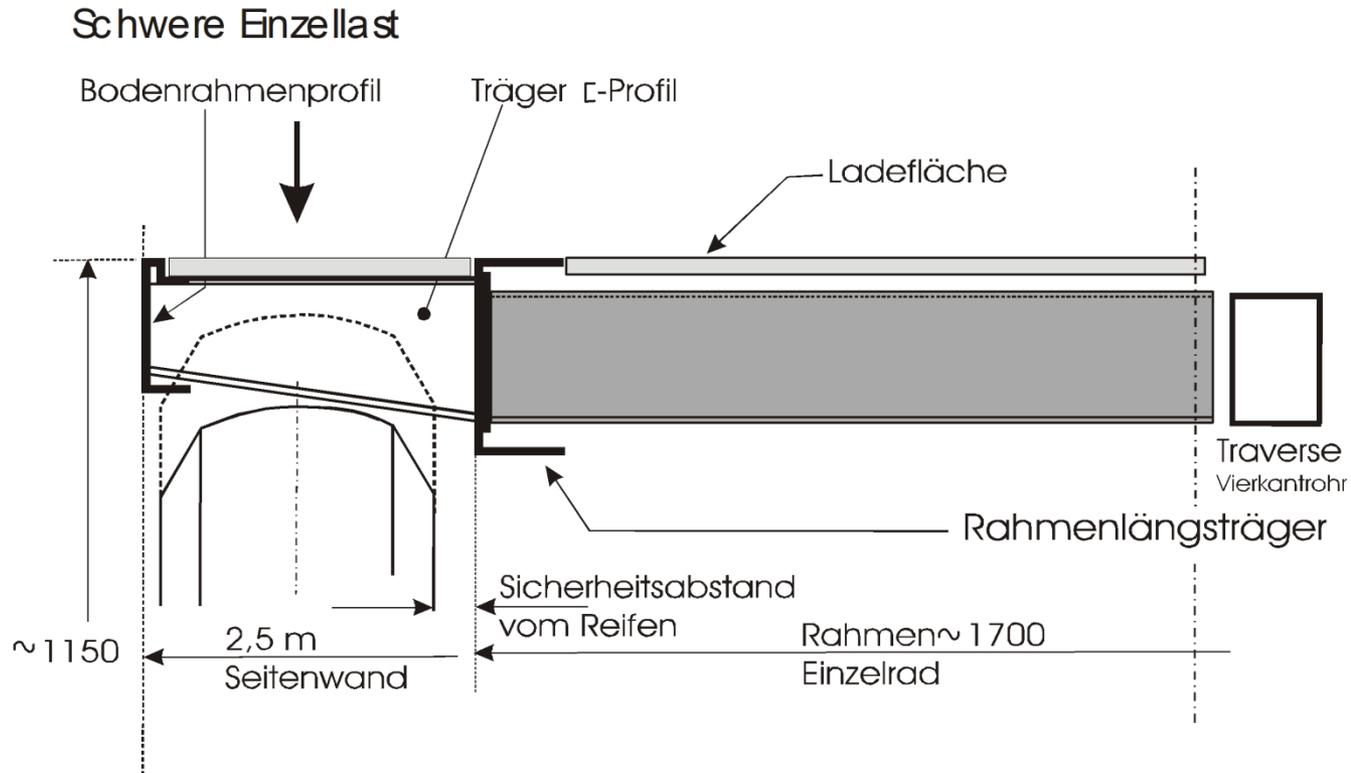
Rahmen Innenträger



Volumen- und Gewichtszug

Rahmen II

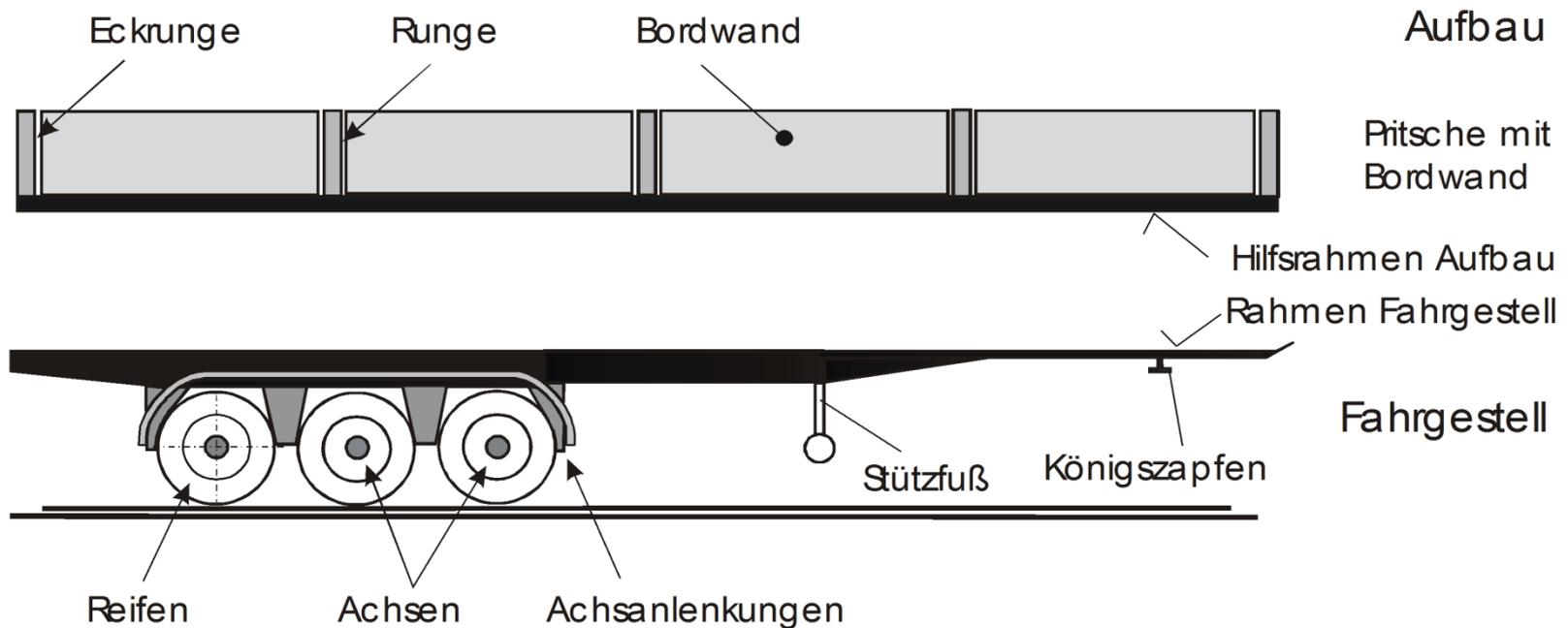
Innen- und Außenrahmenträger



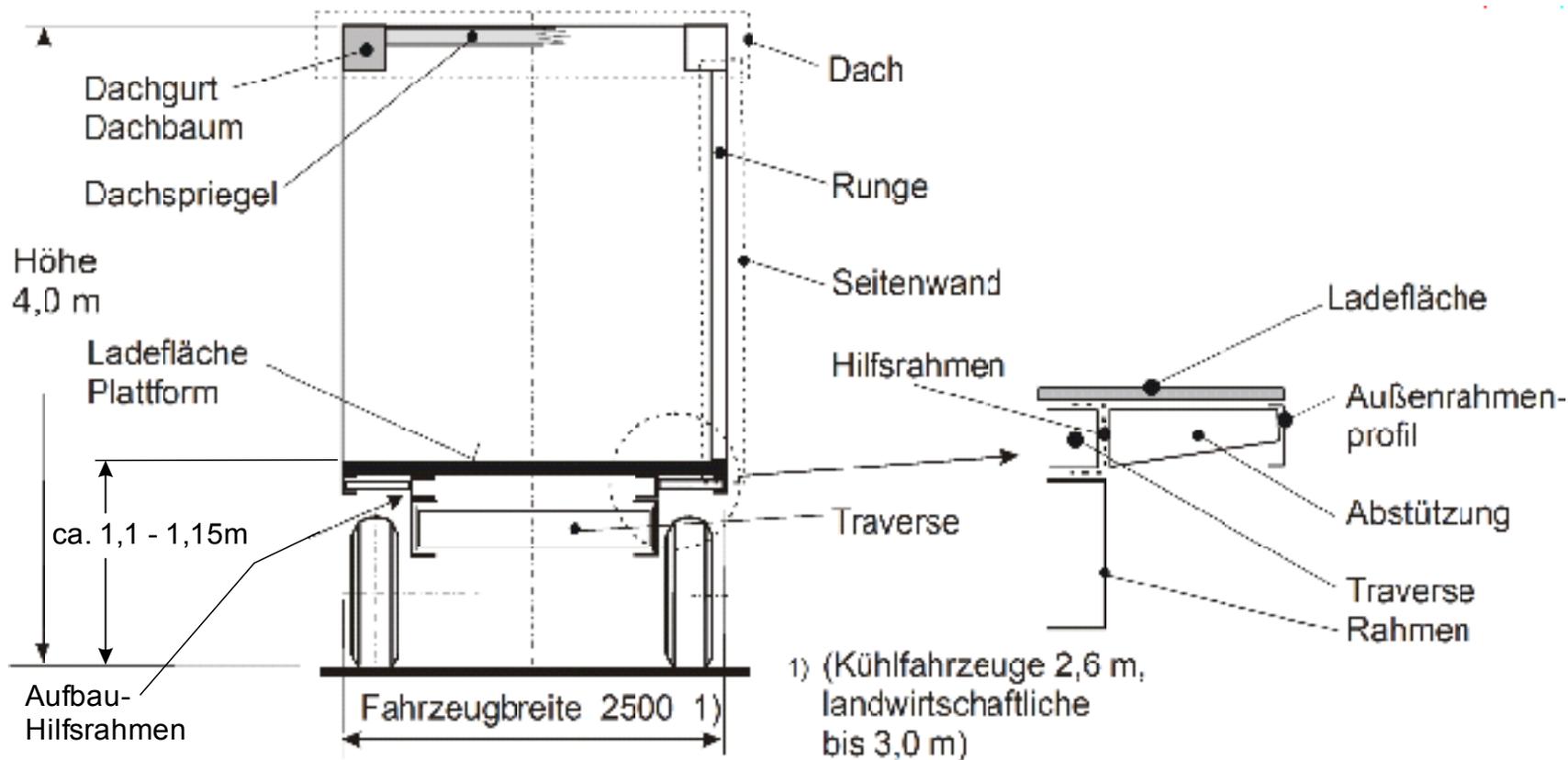
Tieflader: Bodenrahmenprofil (Außenrahmen) mittragend

Aufliegertechnik

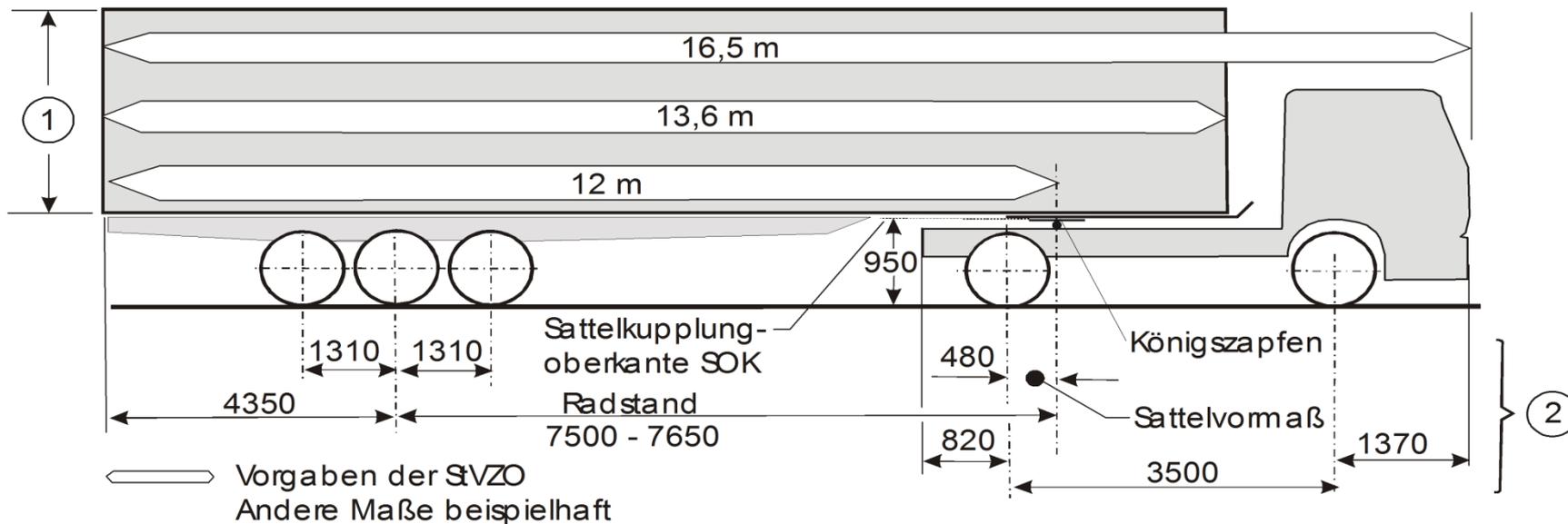
Fahrgestell plus Aufbau



Aufbauquerschnitt



Auflieger- und Zugabmessungen

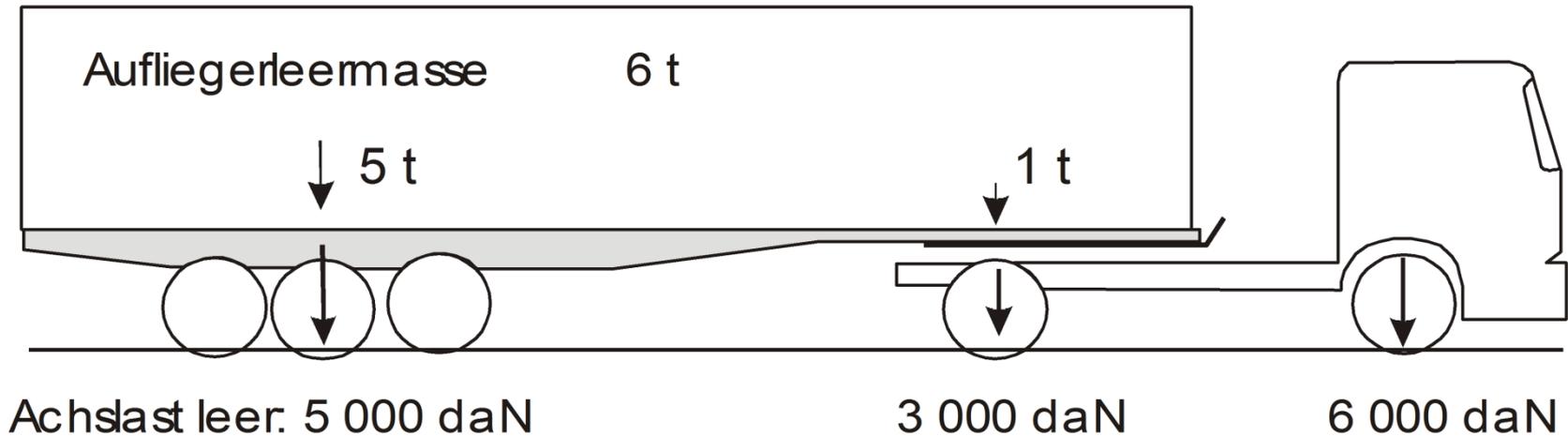


① Laderaumhöhe ca. 2650 mm
 Ladevolumen ca. 92 m³
 ZGG 40 t / Nutzlast ca. 26 t

② Beispielhafte Maße

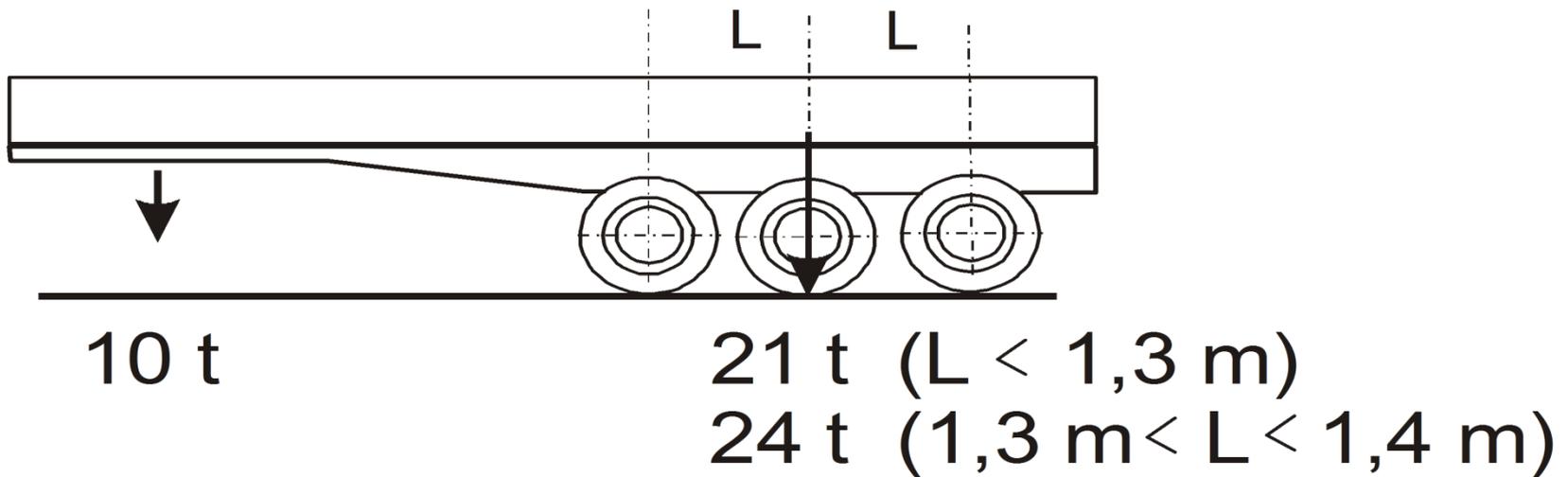
Sattelzugleergewichte

Gewichtsangaben beispielhaft



Zuladung ca. 26 Tonnen

Zulässige Achslasten Auflieger

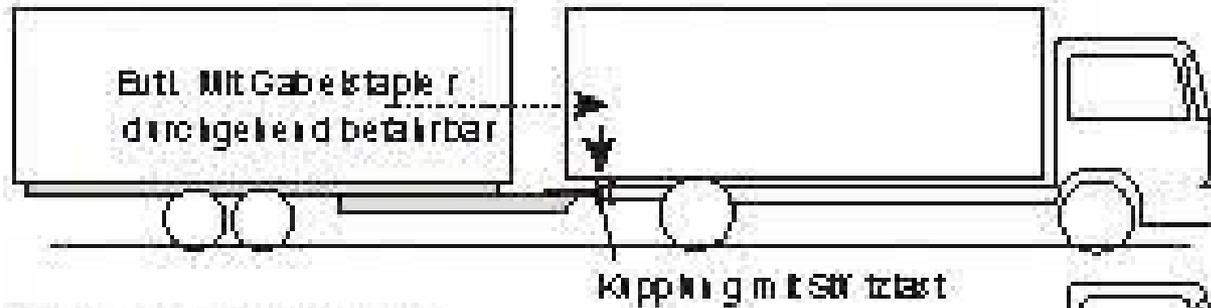


Züge

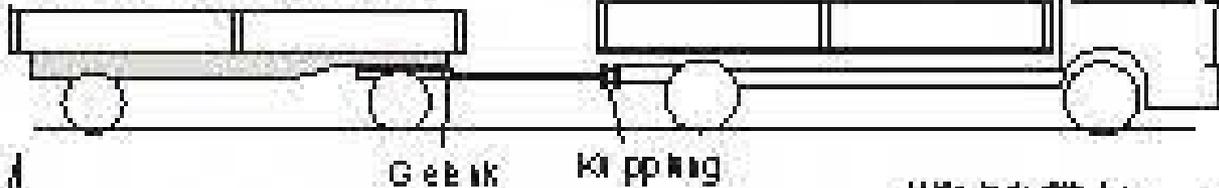
Sattelkraftfahrzeug



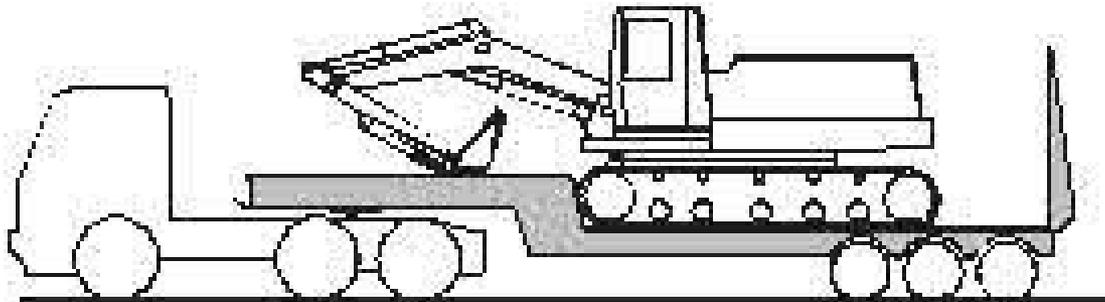
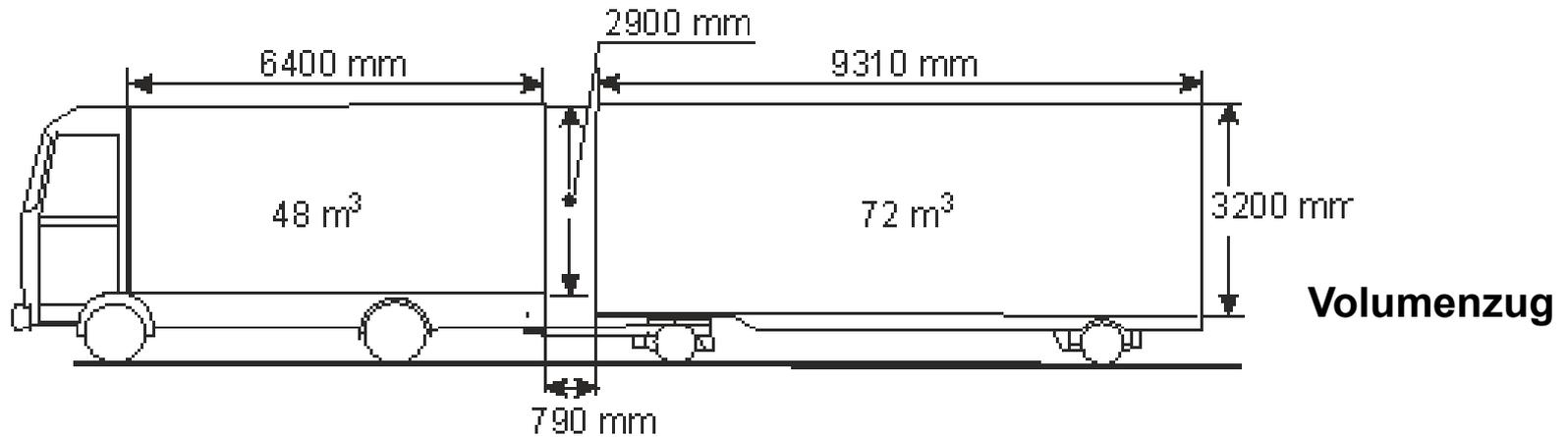
Großraumlastzug (Zweiteilssattelzug)



Lastkraftwagenzug/Lastzug

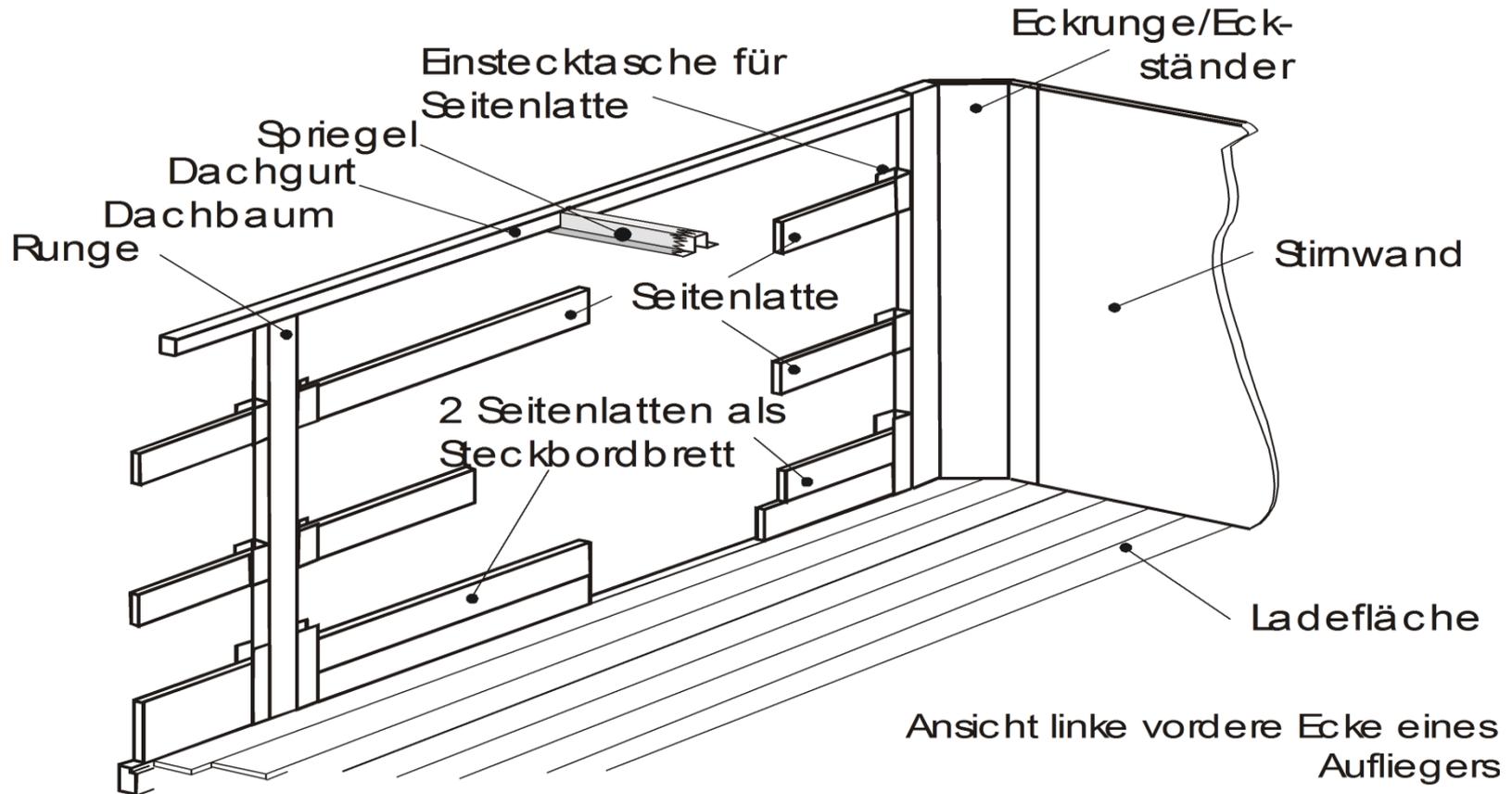


Volumen- und Gewichtszüge



**Gewichtszug
gekropfter Rahmen**

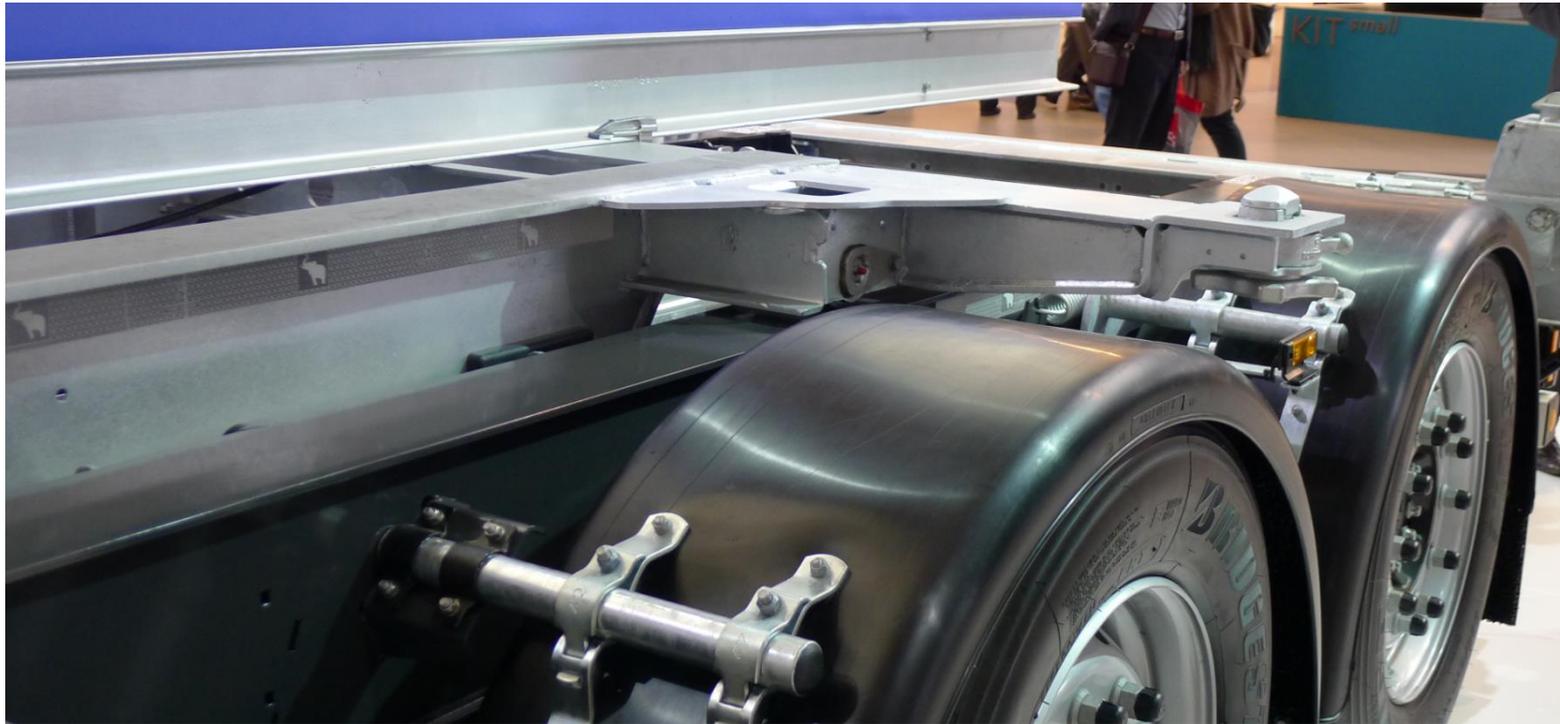
Begriffe zum Aufbau



Aufbauarten

Fahrgestell für Container

(Sliding Bugy, verlängerbarer Rahmen)



Schmitz-Cargobull

Aufbauarten I



**Plattformfahrzeug
(Steckerungen seitlich möglich)**



Pritsche mit Bordwänden

Aufbauarten II



Zentralachsanhänger
Aufbau: Pritsche mit Bordwänden,
Plane und Spriegel

Kofferaufbau

Aufbau vom Fahrerhaus
begehrbar → = Kastenaufbau

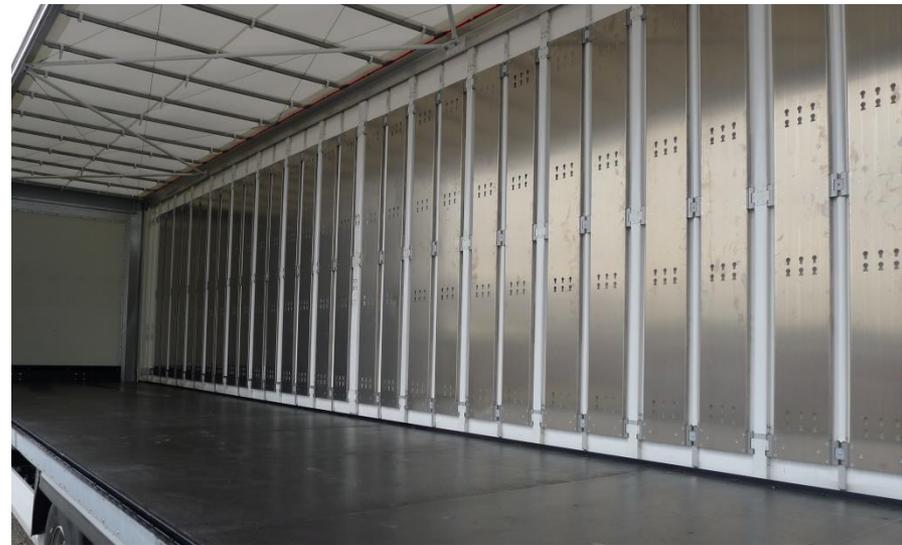


Schiebeplanenaufbau



**Verstärkte Schiebepanzen
Seitenlatten**

**Mit vertikalen Stangen
verstärkte Seitenwand
Dach mit Stangen und
Drahtseilen verstärkt**



Faltbares Dach



Literatur

- [1] Podzuweit, Ulrich, Forschungsvorhaben des deutschen Bundesverkehrsministeriums „Ladungssicherung von Gefahrgut“, FE Nr. 90380/9, 1994
- [2] Podzuweit, Ulrich, Ladungssicherung, Verkehrsverlag Fischer, 40215 Düsseldorf, 2012, IBN 978-87841-521-3

8 Beladungstechnik

Inhalt

Innerbetrieblicher Transport

Innerbetriebliche Zwischenlagerung

Beladung

Stauen auf dem Fahrzeug

Laderegeln

Zwischenlagerung

Innerbetrieblicher Transport

Gabelstaplertransport

Einfluß auf Ladungsbelastungen haben:

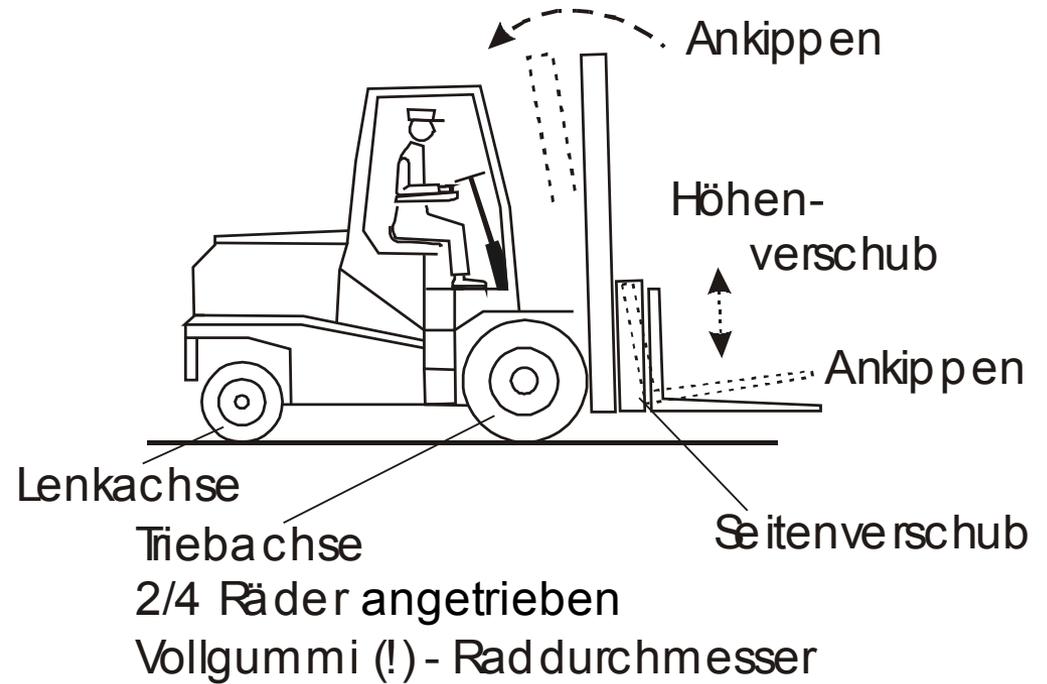
- Vollgummiräder („harte“ Fahrbahnstöße)
- kleine Räder
- kleine Kurvenradien möglich (Fliehkraft!)
- relativ großes Bremsvermögen



Horizontalstöße aus Fahrbahnhindernissen
Unebene Fahrbahn ergibt starke Längsstöße!



Gabelstapler I



Gabelstapler II

Varianten



Gabelstaplerzinken:

zweifach/vierfach
nebeneinander

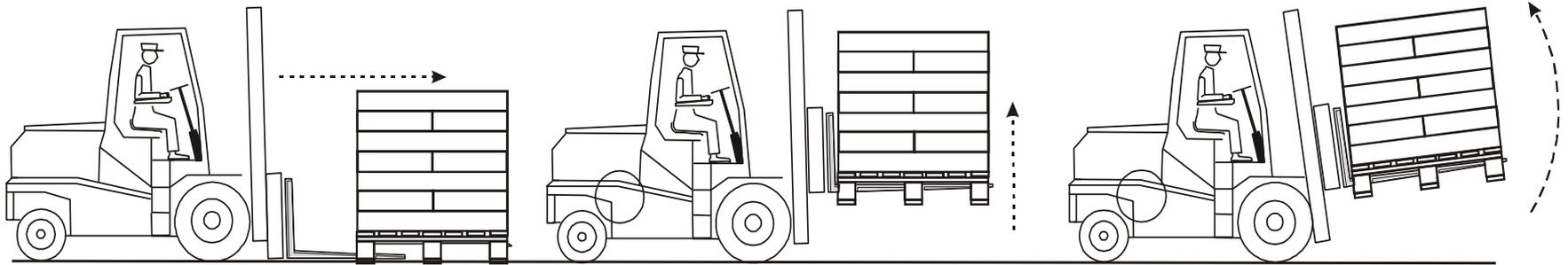
doppelte Länge

2 übereinander

hohe Anhebung
möglich

Anhebevorrichtung mit oder ohne Seitenverschub

Sichere Beförderung mit Gabelstaplern



Gabel einfahren

anheben

ankippen

**Abladung beim Überfahren von
Fahrbahnhindernissen möglich**

**Räder in der Regel Vollgummireifen!
(Damit sind Längsstöße „härter“ als
bei Luftreifen.)**



Innerbetrieblicher Transport

Heben und Ziehen von Ladungen



„Ameise“

Transport durch einseitiges Anheben
und Ziehen



Transport auf Förderanlagen mit Rollen.
Bei größerem Rollenabstand sind Nick-
Bewegungen möglich, die die Festigkeit
der Ladeeinheitensicherung mindern können.

Zwischenlagerung außen



Feuchtigkeits- und Nässeeinwirkung bei Zwischenlagerung im Freien möglich!

Beladung/Stauung

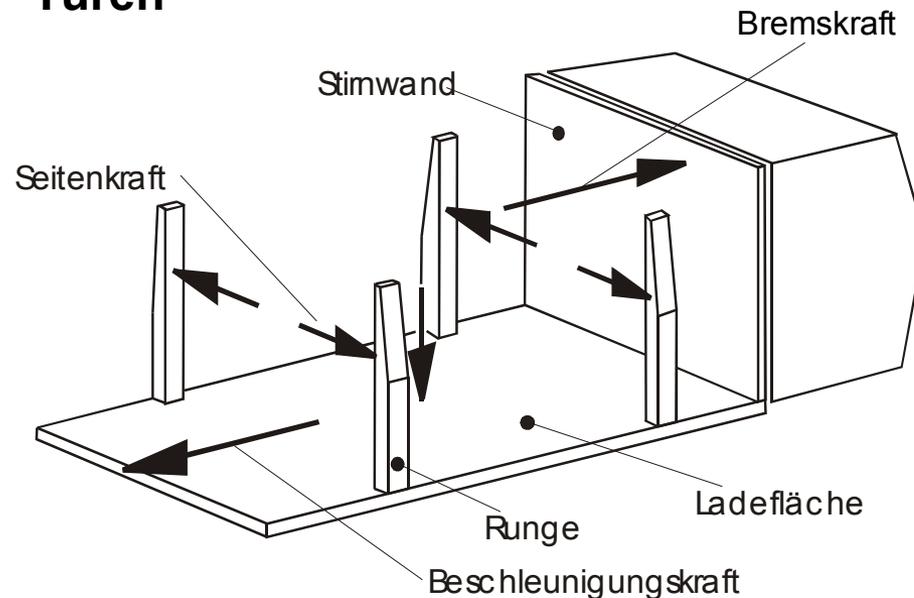
muss die Möglichkeiten des Fahrzeugs berücksichtigen:

Belastbarkeit von Ladefläche (Befahrbarkeit, Rauigkeit)

„Wänden“ (Stirnwand, Bordwand)

Rungen

Türen

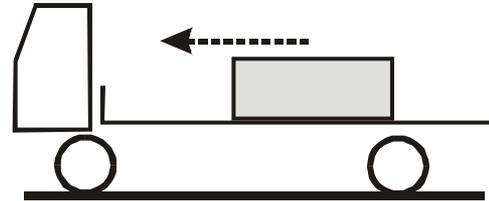


Aufbauten, Belastbarkeit

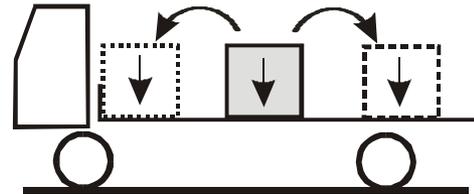
Beladung/Stauung

beeinflusst

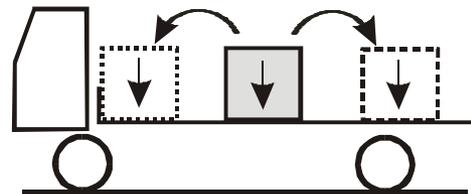
- Bewegungsmöglichkeiten der Ladung



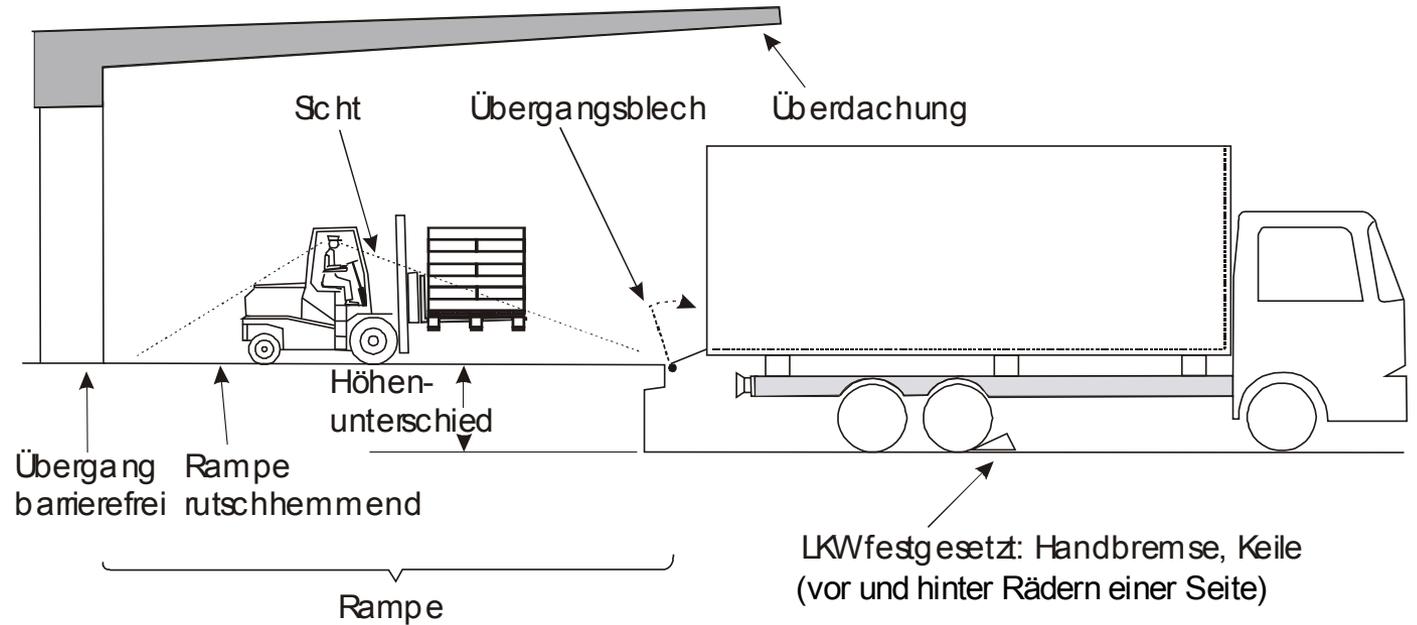
- Ladungsverteilung längs und quer



- Schwerpunktshöhe Ladung

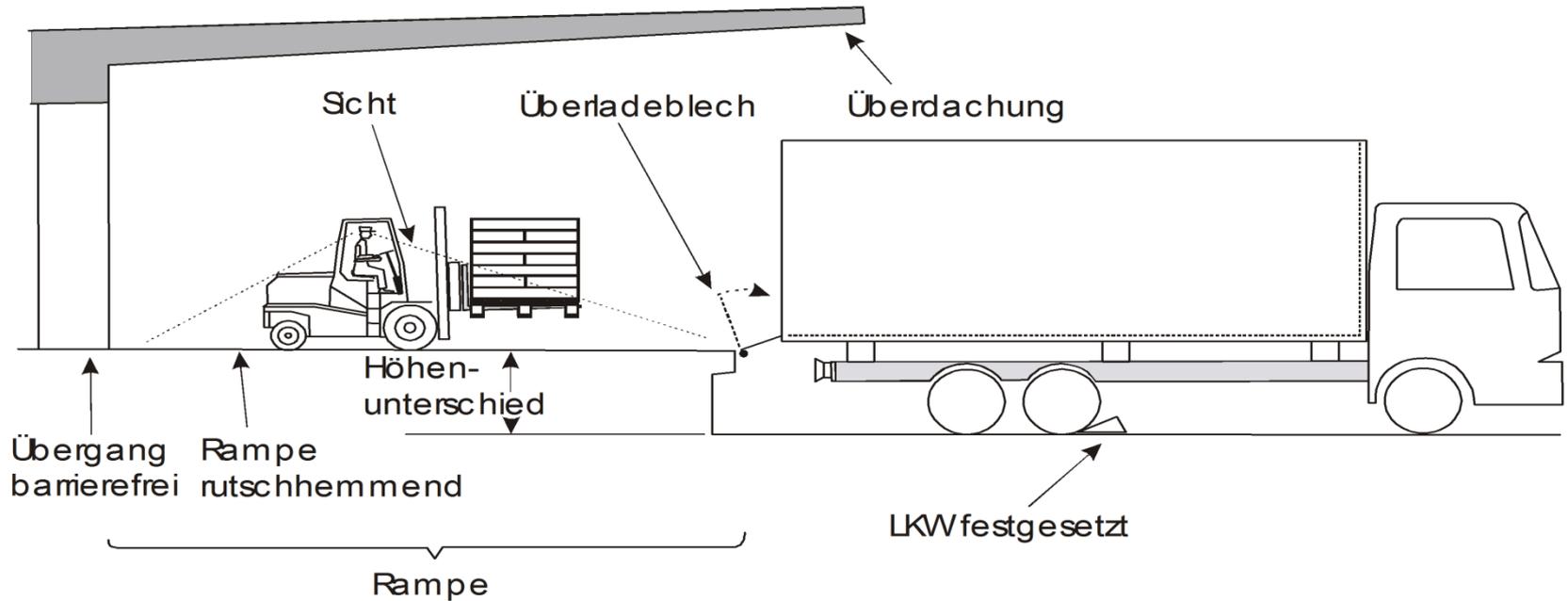


Rampen- beladung



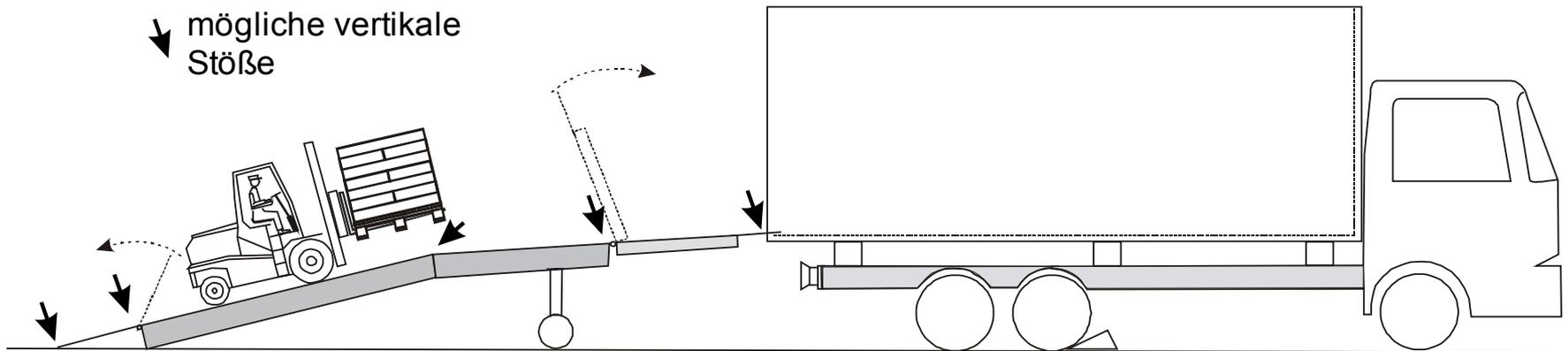
Stöße an Übergängen möglich, Ladung auf Paletten kann sich verschieben!

Heckbeladung



Heckbeladung ermöglicht dichte Stauung in Längsrichtung durch Nachschieben.

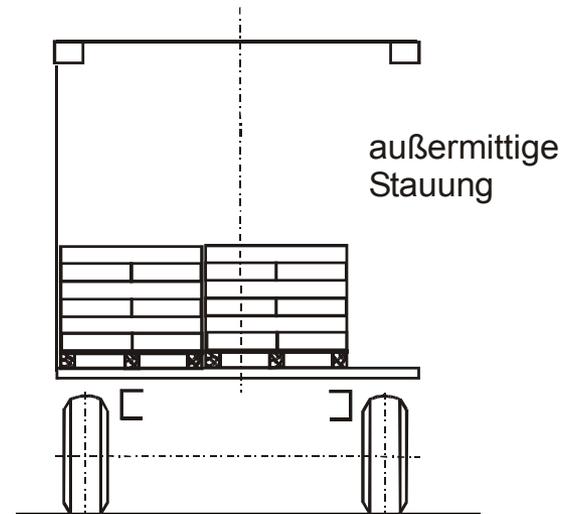
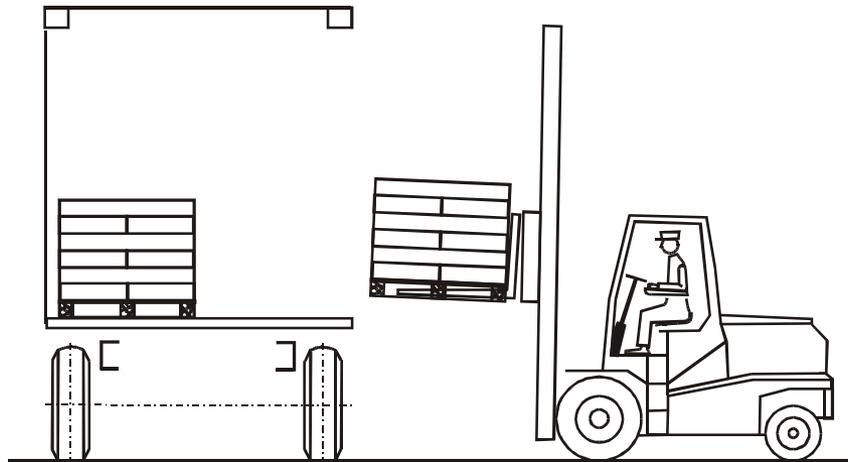
Beladung über eine schiefe Ebene



Die Beladung von Containern und Fahrzeug über eine schiefe Ebene hat an den mit Pfeilen bezeichneten Stellen Vertikalstöße aus „Hindernissen“ beim Überfahren.

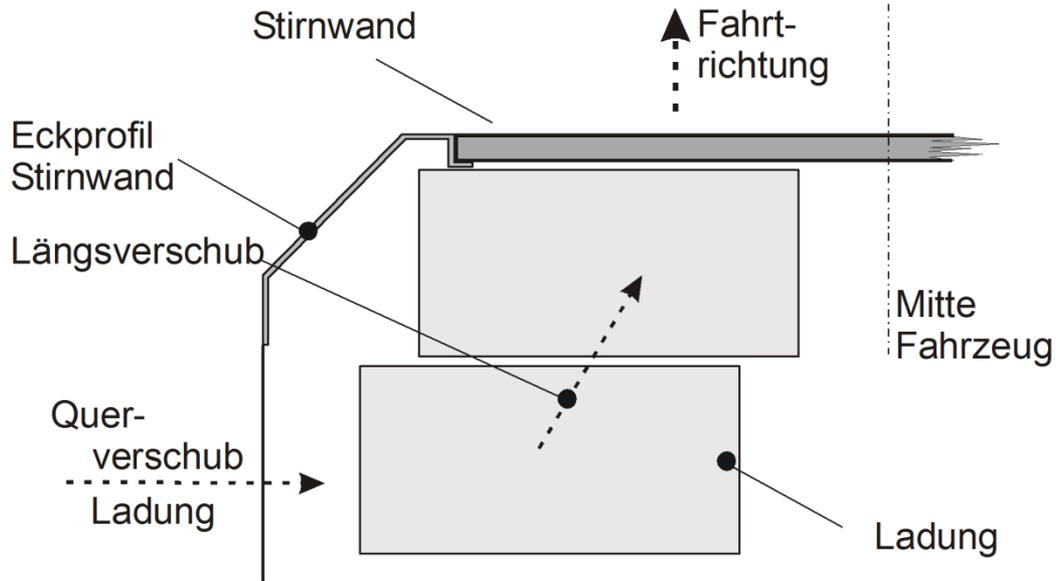
Beladung, schiefe Ebene

Seitenbeladung



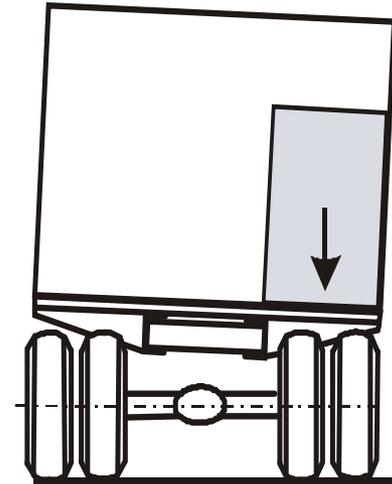
**Auch Beladung von beiden Seiten
her möglich.
Ladung muß mittig gestaut werden.**

Stauung an Stirnwand und mittig



Stauung, dicht

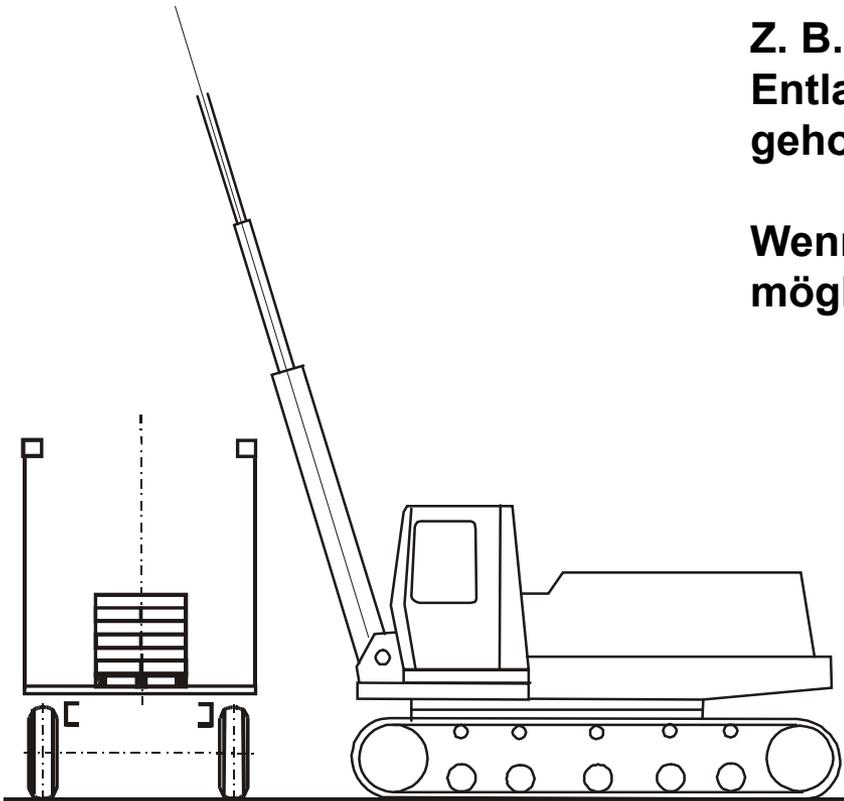
**einseitige
Beladung**



Beladung/ Entladung von oben

Z. B., wenn am Bau eine Ladung beim Entladen gleichzeitig in ein Stockwerk gehoben werden soll.

Wenn eine Entladung mit Gabelstaplern nicht möglich ist.



Dichte Stauung

Quer mittig, dicht zusammen

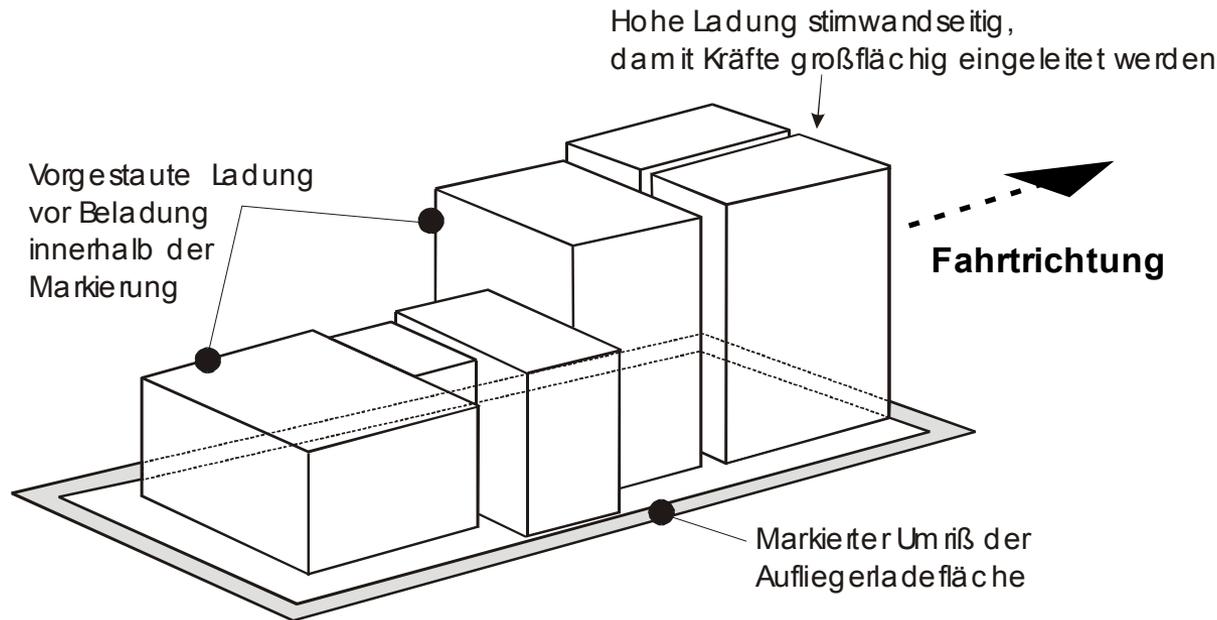


Eine dichte Stauung in Fahrtrichtung
und seitwärts anstreben.

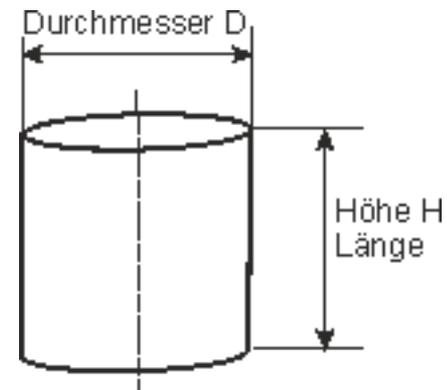
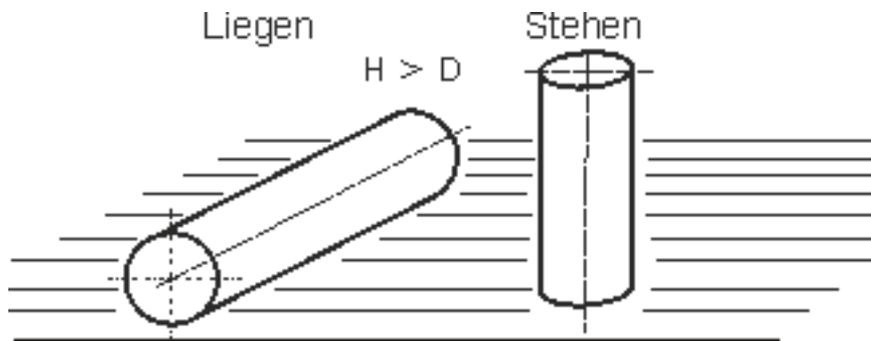
← Zwischenraum zu groß

Vorstauen

Vorstauen heißt, daß Ladungen auf einer maßstäblich markierten Fläche in einer Lagerhalle in der Reihenfolge der Beladung vorgestaut werden. Erfahrene Belader können dann abschätzen, ob die Ladungsverteilung in etwa stimmt.

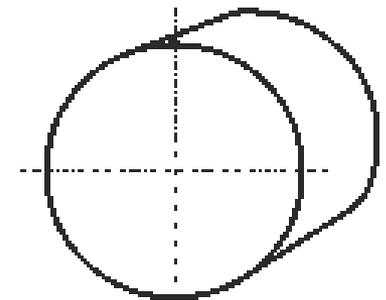
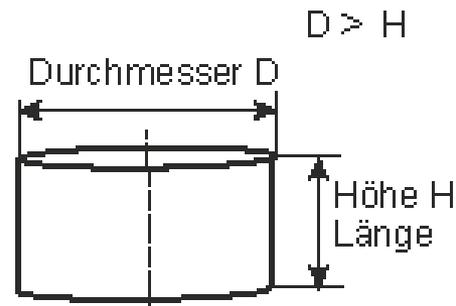


Begriffe stehende Ladung liegende Ladung



Liegen

Stehen



Die Skizzen benutzen die Festlegungen in der Seefahrt. Im Landtransport wird von der Anschauung ausgegangen.

Überstauung – Doppelstock- beladung



**Doppelstock-
Beladung**



Überstauung

Kippneigung

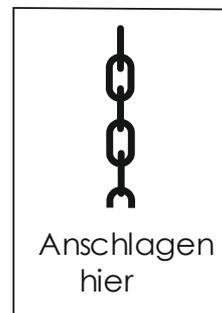
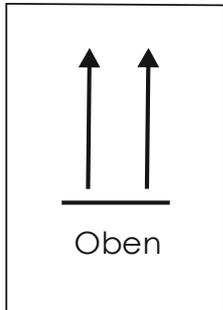
Stauung beeinflusst Kippneigung



In Längsrichtung treten die größten Kräfte auf. Wenn eine Ladungseinheit einen rechteckigen Grundriß hat, muß sie so gestaut werden, daß die lange Seite in Fahrtrichtung positioniert wird.

Kippversuch

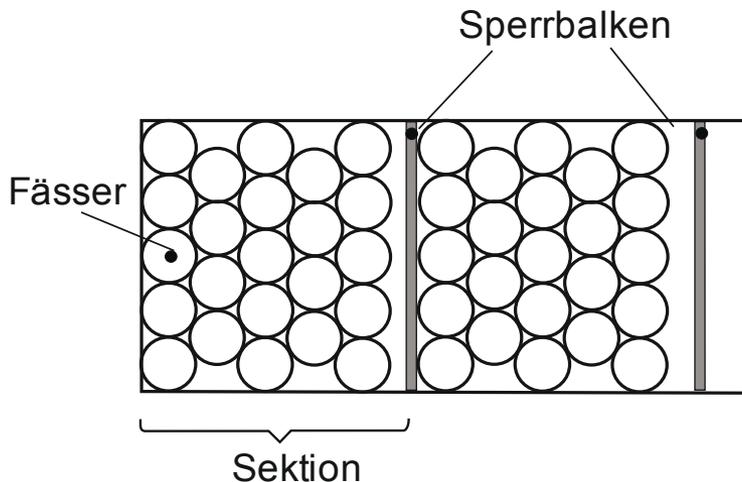
Markierungszeichen an Ladungen und Fahrzeug beim Laden beachten



(Gefährlicher
Stoff)

Sektionieren

Sektionieren heißt, den Laderaum in einzelne Abteile durch vertikale Stangen oder Platten so aufzuteilen, damit bei Mischladungen (verschiedenster Güte auf der Lade­fläche) oder Weichladungen (Bigbags) eine wirkungsvolle Einzelsicherung erfolgen kann.



Fa. Allsafe

Bei Faßladung kann es zu einer Verdichtung in Längsrichtung kommen, die mit dem Setzen von Sperrbalken ab der 5. Reihe, verhindert werden kann.

Laderegeln

Gleichmäßige Ausladung in Längs- und in Querrichtung.

Einhaltung der Achslasten/Sattellast bei Vollbeladung/

Teilentladung, gleichmäßige Streckenlast und zulässige Punktlasten einhalten.

Dichte Stauung in Längs- und Querrichtung

Mittige Stauung

Kritische Eigenbewegung der Ladung längs und quer verhindern.

Scheuermöglichkeit verhindern.

Markierungszeichen beachten.

9 Ladungsverteilung Nutzlastverteilung

Inhalt

- 1 Einführung**
- 2 Achslastberechnung aus den Lastfällen**
- 3 Zulässige Achslasten**
- 4 Auswirkungen der Achslasten auf Betrieb von Fahrzeugen**
 - 4.1 Traktion**
 - 4.2 Geradauslauf**
 - 4.3 Kurvenlauf**
 - 4.4 Umsturzgefährdung**
 - 4.5 Bremsverhalten**
- 5 Nutzlastverteilungsdiagramm**

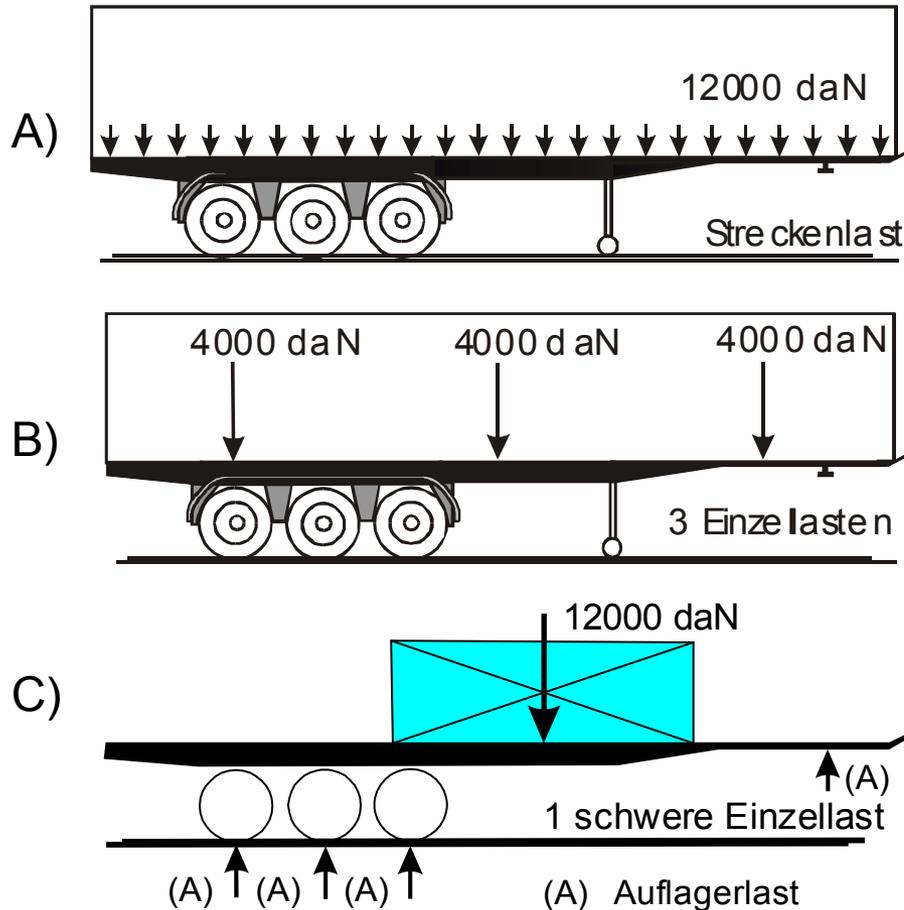
Nutzlastverteilung und Schwerpunktshöhe

Die Nutzlastverteilung in Längs- und Querrichtung und die Berücksichtigung der Schwerpunktshöhe einer Ladung sollen in einer Abhandlung behandelt werden, weil das Stauen und auf der Ladefläche und das Positionieren zusammen gehören. Auch muß bei diesen beiden Punkten auf Fragen des Fahrzeugbaus und des Betriebs von Nutzfahrzeugen eingegangen werden. Wegen diese Nebenthemen muß auch mit der Auslagerung in Anlagen gearbeitet werden, weil sonst wegen des Umfangs der Bezug zu dem eigentlichen Thema verloren geht.

Beladungsfälle

Ausgangspunkt für diese beiden Themen muß eine Unterscheidung in Ladungsvarianten sein. Eine schwere Einzellast muß anders behandelt werden als mehrere Einzellasten gleicher Masse und die wieder anders als Schüttgut in Säcken und homogener Ausladung über die Ladeflächenlänge.

Lastfälle Nutzfahrzeug



Die Einteilung in drei Lastfälle bei einer Beladung wird für wesentlich angesehen.

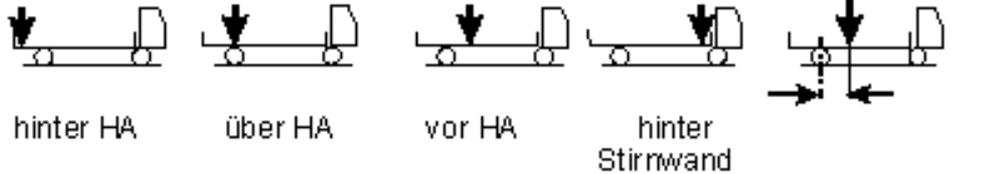
Die drei Lastfälle beanspruchen den Fahrzeugrahmen unterschiedlich stark und damit auch das Fahrwerk und beeinflussen das Betriebsverhalten. Eine Streckenlast mit 12 t ergibt die geringste Biegebeanspruchung, die Einzellast von 12 Tonnen Masse an einer Stelle die größte. Dazwischen liegen mehrere verschieden große nicht homogene Einzelladungen.

Über einen Freischnitt mit einer Bilanzierung der vertikalen Kräfte und der Drehmomente ergeben sich dann die Auflagerlasten an den Achsen und an der Sattelplatte. Möglich ist aber auch ein Verwiegen de Fahrzeugs, wobei der Reihenfolge nach zuerst die Sattellast, die erste Achse, die beiden ersten Achsen, alle drei Achsen, die beiden letzten Achsen und schließlich die letzte Achse ermittelt wird.

Lastfälle, Einteilung
Achslasten aus Beladungen

Stauvarianten Einzelladungen

Einzelladung



hinter HA

über HA

vor HA

hinter
Stirnwand

max. zulässige
Last

1.

2.

3.

4.

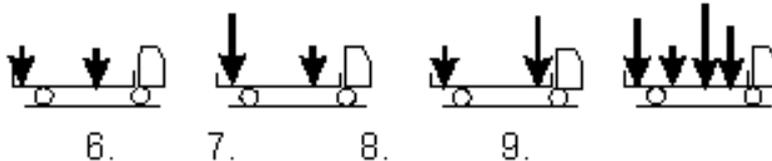
5.

Lastfall
beeinflusst:

Lenken	Überladung	Nick-	Überladung	Festigkeit
keit der VA	HA	neigung	VA	Rahmen
Bremsen	Unter-, Über-	Bremsung	Bremsung	Aggregate
	steuern			
	Traktion			

Mehrere Einzelladungen

Mischladung
homogene/inhomogene



6.

7.

8.

9.

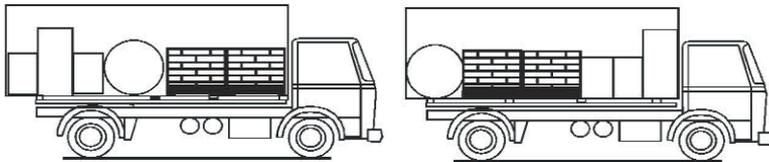
Abkürzungen: VA Vorderachse

HA Hinterachse

Lastfall, beeinflusst
Mischladungen, homogen
Mischladungen, inhomogen

Ladungsfälle

Ergänzungen



mehrere schwere Einzelladungen mit Schwerpunkt im Heck- oder im Stirnwandbereich (inhomogene Mischladung)

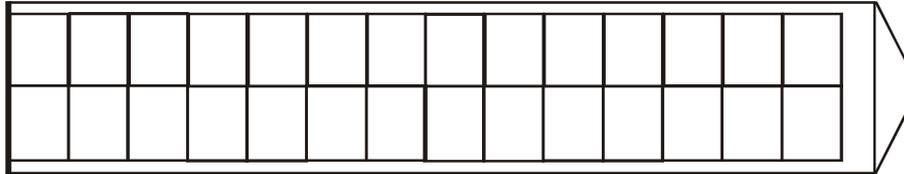


Überlange Ladung

Lastfälle

Homogene Ladung / Teilbeladung / Teilentladung

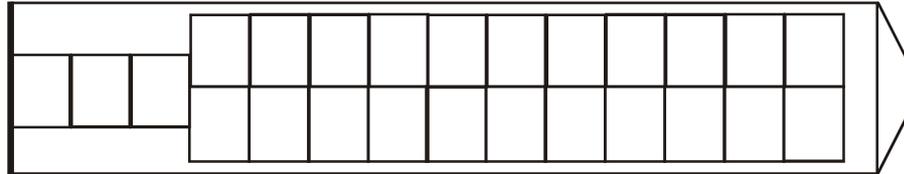
Gleichmäßige Ausladung



Anzustreben: gleichmäßige Ausladung mit Ladeeinheiten

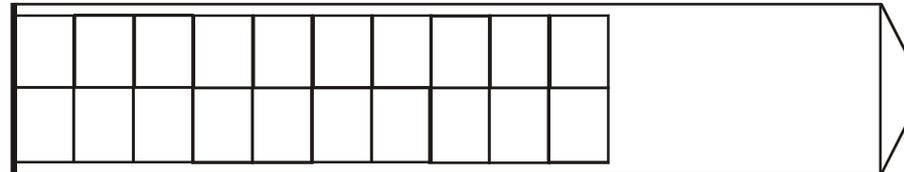
Fahrtrichtung
←-----

Teilbeladung



Über Sattelkupplung einreihige Beladung, da einzelne Ladeeinheit zu schwer.

Teilentladung

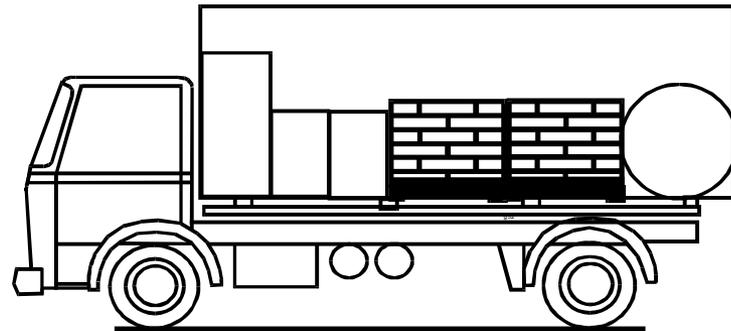
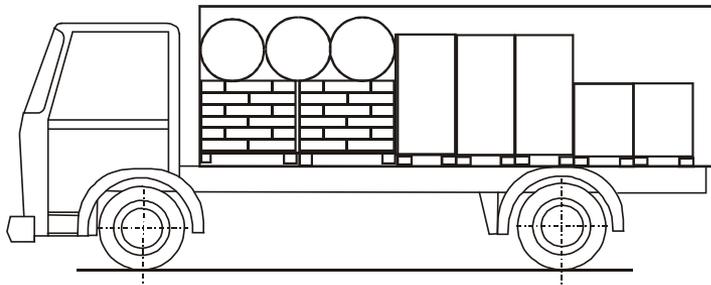


Teilentladung: Folge unter Umständen Überladung der Sattelkupplung

Ladungsverteilung

Was heißt eigentlich Ladungsverteilung?

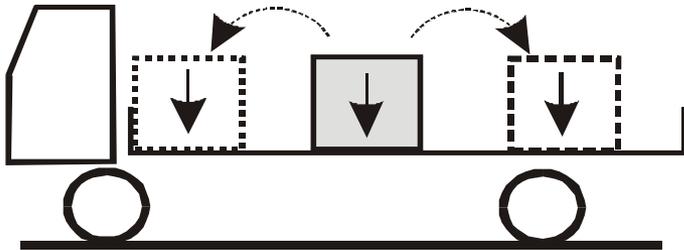
Unter Ladungsverteilung wird die Verteilung einer Ladungsmasse auf eine für das Betriebsverhalten „günstige“ Position in Längs- und Querrichtung verstanden, um negative Folgen im Betrieb zu vermeiden. Insbesondere Mischladungen sind davon betroffen.



Ladungsverteilung, Begriff

Stauung

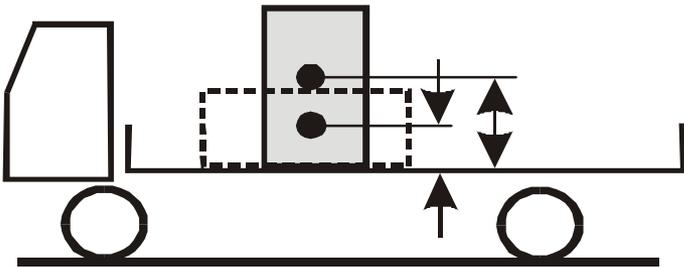
einer Ladung beeinflusst:



Nutzlastverteilungsplan

längs - quer

Achslast aus Längs- und Querpositionierung



Kippsichere Stauung

Kippneigung des Fahrzeugs

Nutzlastverteilung

Positionierung einer schweren Einzelladung

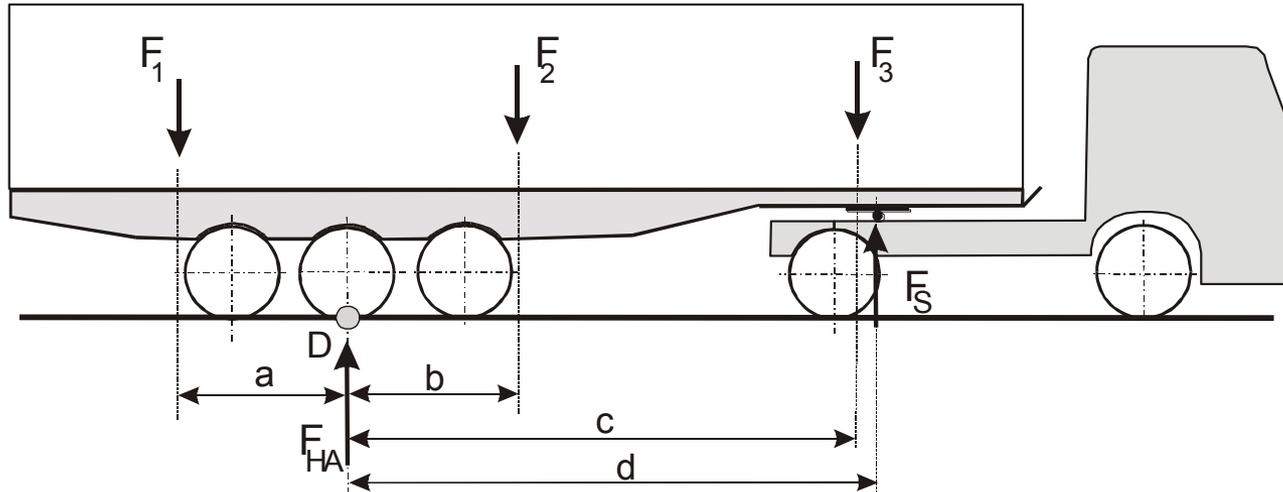


Angabe des Fahrzeugschwer-
punkts und Positionierung der
Schwerladung zum Fahrzeug-
schwerpunkt.
Ladungsschwerpunkt über den
Fahrzeugschwerpunkt

Das Trägerfahrzeug muß für die Gesamtlast ausgelegt sein!

2 Achslastberechnung aus den Lastfällen

Berechnung Achslasten/Sattellast am Beispiel Einzellasten Fall B) Folie 7



$$F_1 = F_2 = F_3 = F = 8000 \text{ daN}$$

$$\uparrow F_{HA} + F_S = 3 \cdot F$$

$$\odot F \cdot b + F \cdot c - F_S \cdot d - F \cdot a = 0$$

$$F_S = F \frac{(b + c - a)}{d}$$

$$F_{HA} = \frac{F(3d - b - c + a)}{d}$$

Berechnung aus einer Bilanzierung des vertikalen Kräftegleichgewichts und einer Drehmomentengleichung um D mittels Hebelgesetz.

Zahlenbeispiel

(Achsbelastung aus der Nutzlast)

3 Ladungen mit je $F = 8000$ daN geladen, Auflieger geladen nach Fall B),
Berechnung mittels des Hebelgesetzes

$$a = 2,1 \text{ m}$$

$$b = 2,4 \text{ m}$$

$$c = 6,9 \text{ m}$$

$$d = 7,65 \text{ m}$$

$$F_S = \frac{8000 \text{ daN} (2,4 + 6,9 - 2,1)}{7,65}$$

$$\begin{aligned} F_S &= 8000 \text{ daN} \cdot 0,94 \\ &= 7529 \text{ daN} \end{aligned}$$

$$F_{HA} = 8000 \text{ daN} \frac{3 \cdot 7,65 - 2,4 - 6,9 + 2,2}{7,65}$$

$$= 8000 \text{ daN} \cdot 2,0718$$

$$= 16\,575 \text{ daN}$$

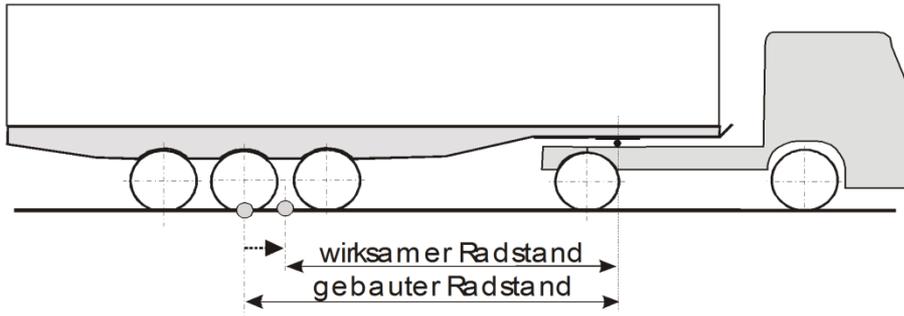
Die Sattellast beträgt 7529 daN.

**Die Last auf den drei Achsaggregaten
beträgt 16 575 daN**

**(Das Beispiel enthält nicht den zusätzlich zu berücksichtigenden Anteil aus der
Eigenmasse des Fahrzeugs.)**

Überladung Sattelkupplung I

Maßnahmen bei Überladung



Technische Maßnahmen bei Überladung der Sattelkupplung

Verschub Hinterachsen

Rahmenlänge ändern

Sattelkupplung verschieben
in Längsrichtung

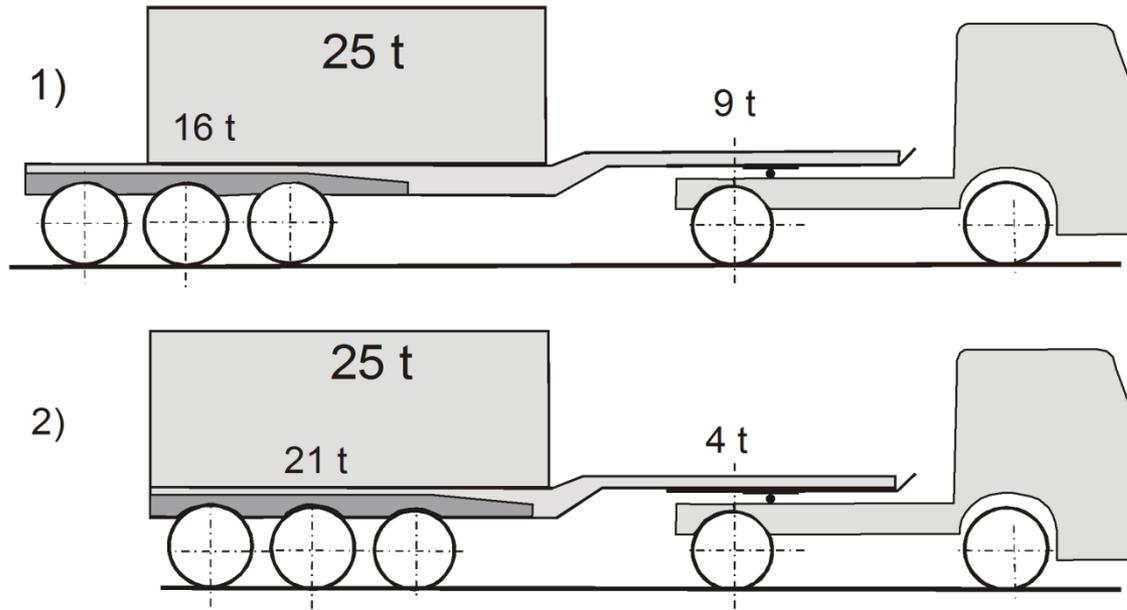
Letzte Achse anheben

Luftfeder drucklos machen

Radstand verkürzen

„Sliding Buggy“

Überladung Sattelkupplung (Radstandsverkürzung)



**Veränderung des wirksamen
Radstandes durch
Verkürzung (Sliding Buggy)**

3 Zulässige Achslasten

Angaben im Fahrzeugschein

Information zu Achslasten

L	02	9	01	P2 P4		T	092
18	5315	-	-		19	2550	- -
20	3765	-	-		G		
12			13				
V.7			F.1			F.2	
7.1			7.2			7.3	
8.1			8.2			8.3	
O.1			O.2				

- L Anzahl der Achsen
- 9 Anzahl der Antriebsachsen
- P2/P4 Nennleistung in kW
- T Höchstgeschwindigkeit in km/h
- 18 Länge in mm
- 19 Breite in mm
- 20 Höhe in mm
- G Leermasse in kg
- 13 Stützlast in kg
- F.1 Technisch zulässige Gesamtmasse kg
- 8.1/8.2 Maximal zulässige Achslast 1./ 2. Achse
- O.1 Techn. zul. Achslast, gebremst

Um die Auswirkung der Größe und Positionierung einer Ladungslast auf einer Ladefläche beurteilen zu können, müssen zunächst die Gegenkräfte in den „Auflagern“ (Achslasten und Sattellast) ermittelt werden. Das ist rechnerisch oder durch Verwiegen möglich.

Achslast nach StVZO

Nach Par. 34 StVZO Abs. 1 ist **„die Achslast“ die Gesamtlast, die von den Rädern einer Achse oder einer Achsgruppe auf die Fahrbahn übertragen wird“**.

In Absatz 2 wird eine **technisch zulässige Achslast** definiert:

„Die technisch zulässige Achslast ist die Achslast, die unter Berücksichtigung der Werkstoffbeanspruchung und nachstehender Vorschriften nicht überschritten werden darf.“

Hintergrund dieser Vorgehensweise ist, dass Straßenfahrzeuge nach § 30 (2) StVZO straßenschonend gebaut sein müssen. Sie müssen mit Federungen gebaut werden oder sie müssen in ihrer Höchstgeschwindigkeit beschränkt werden. Im wesentlichen sind das die Aufbau- und die Reifenfederung. Die Achstragfähigkeit ist unter Maßgabe der Verwendung von Luftreifen erlassen worden. Die Vorschriften gelten für luftbereifte Fahrzeuge aber nicht für Kettenfahrzeuge.

Technisch zulässige Achslast

Technisch zulässige Achslast

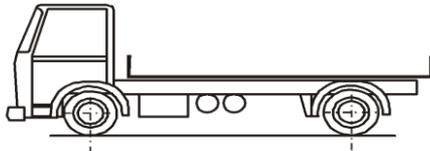
Eine Achse ist eine Baugruppe aus einem Achskörper mit zwei Achszapfen, an die Radträger und Räder angebaut werden. An Nutzfahrzeugen wird in

1. Tragachsen,
2. Lenkachsen,
3. Antriebsachsen,
4. Liftachsen und Nachlaufachsen unterschieden.

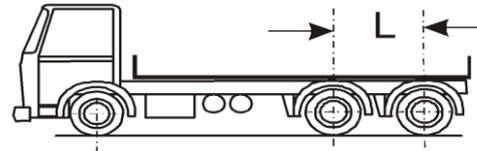
Die technisch zulässige Achslast liegt unter Umständen höher als die zugelassene, wenn z. B. höhere Achslasten sinnvoll, weil dann auch die Bremsanlage stärker ausgelegt wird.

Also statt 10 t auf 11,5 t ausgelegt!
Bremse „steht“ bei Paßfahrten länger!

Nach StVZO zulässige Achslasten



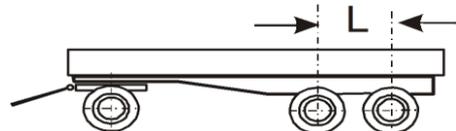
10 t 11 t
11,5 t
angetrieben



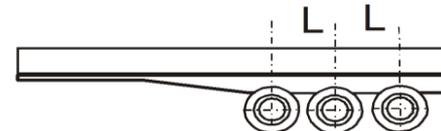
10 t 11,5 t ($L < 1 \text{ m}$)
11,5 t 16 t ($1 \text{ m} < L < 1,3 \text{ m}$)
angetrieben 18 t ($1,3 \text{ m} < L < 1,8 \text{ m}$)
19 t ($1,3 \text{ m} < L < 1,8 \text{ m}$)
doppelbereift und luftgedert



10 t 10 t



10 t 11 t ($l < 1 \text{ m}$)
16 t ($1 \text{ m} < L < 1,3 \text{ m}$)
18 t ($1,3 \text{ m} < L < 1,8 \text{ m}$)
24 t ($1,8 \text{ m} < L$)



21 t ($L < 1,3 \text{ m}$)
24 t ($1,3 < L < 1,4 \text{ m}$)

Sattellast maximal 10 t

Achslast - Radlast

Zulassungsvorschriften kennen nur eine Achslast. Sie kennen keine Grenze bei einer konstruktiv bedingten ungleichen Radlast, weil der Fahrzeugschwerpunkt nicht in Mitte Fahrzeug liegt.

Bei LKW liegt der Motorschwerpunkt, als größte Einzelmassen, selten genau in der Fahrzeugmitte.

An Sattelaufliegern hat die Ladungsmasse einen überwiegenden Anteil zum Leergewicht. Wichtig ist deshalb an Aufliegern die mittige Stauung der Ladung.

Tragfähigkeit von Aufliegern

$$\frac{\text{Leergewicht}}{\text{Zuladung}} = \frac{1}{2} / \frac{1}{4}$$

früher heute

Massenvergleich

Ladungsmasse : Fahrzeugleermasse ca. 3,0 bis 3,5 : 1 (LKW/Anhänger/Sattelanhänger)

ca. 0,4 : 1 (PKW)

Leermasse LKW zu PKW ca. 10 bis 15 : 1

4 Auswirkungen unterschiedlichen Achs- und Sattelasten auf den Betrieb von Fahrzeugen und Zügen

Auswirkungen der Achsauslastung (Sattelast)

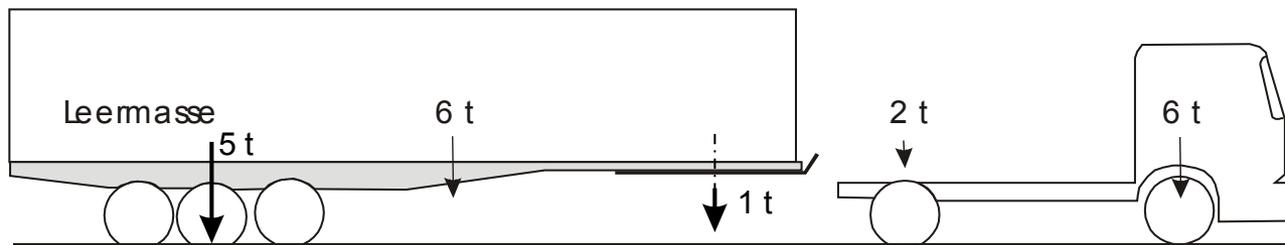
Zum Problem der Positionierung einer Nutzlast auf einer Ladefläche

Die Position, an der eine Einzellast oder mehrere auf einer Ladefläche geladen werden, beeinflusst eine Reihe von Betriebsfunktionen des Fahrzeugs. Dazu gehören:

1. Die Traktion an Steigungen,
2. der sicherer Geradeauslauf,
4. der sichere Kurvenlauf (Lenkfähigkeit)
5. die Umsturzneigung,
6. das Bremsverhalten (z. B. Zug bleibt nicht gestreckt),
(Festigkeitsfragen am Fahrzeug) oder
(die Straßenbelastung).

Es gibt weitere Punkte, die aber nicht so gewichtig erscheinen.

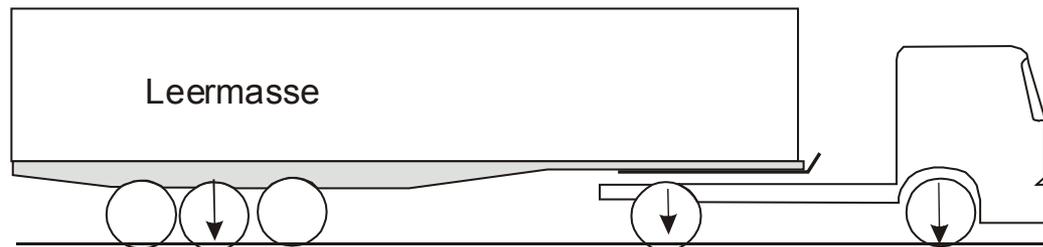
4.1 Traktion am Berg



Achsen 3
 Bereifung einfach
 Tagachsen

1
 Zwillig
 Triebachse

1
 einfach
 Lenkachse



Achslast leer. 5 000 daN

3 000 daN

6 000 daN

Summe Achslasten leer 14 000 daN

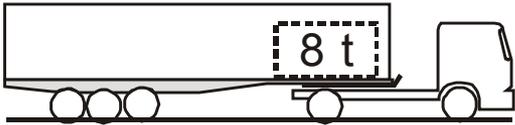
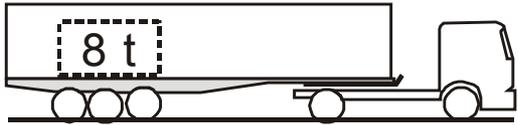
Leermasse, Auflieger

Einfluß Nutzlastverteilung auf Vortrieb

Aufliegerausladung

Ladung mit 8 t über der
Triebachse Zugmaschine

Hinterachse Auflieger

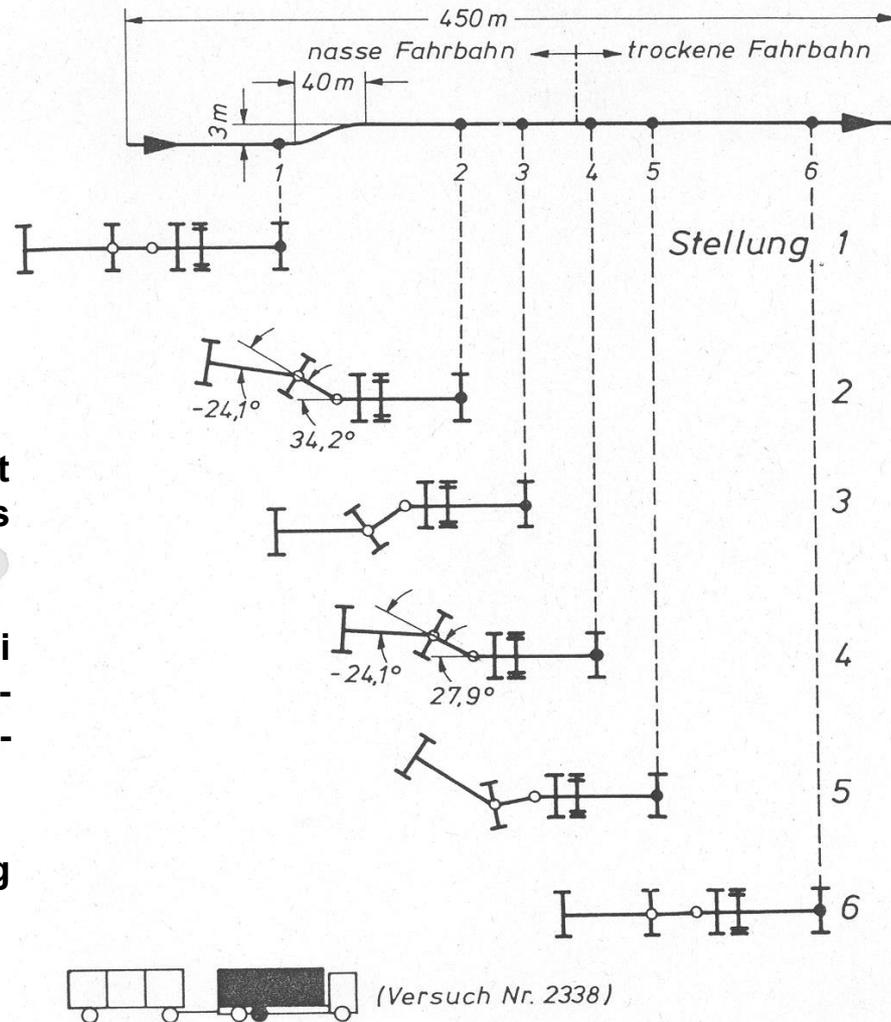
Aufliegerachsen	3 t	$8\text{ t} + 5\text{ t} = 16\text{ t}$
Triebachslast	$3\text{ t} + 8\text{ t} = 11\text{ t}$	$= 3\text{ t}$
		
Masse auf Triebachse	11 t	3 t
Vortrieb aus Reibungszahl (Eis)		
mal Anpreßkraft	$11\ 000\ \text{daN} \cdot 0,1 = 1\ 100\ \text{daN}$	$= 300\ \text{daN}$
Nutzlastverteilung, Vortrieb	1100 daN	300 daN

4.2 Geradeauslauf Anhängerspindeln nach Ausweichmanöver

Mechanisch kann der Vorgang mit dem Verhalten eines Doppelpendels beschrieben werden.

Beachtet werden muß, daß bei diesem Versuch der Drehgelenkanhänger leer war, der LKW dagegen voll ausgeladen.

Ab Position 6 läuft er der Zug wieder gestreckt.



(Versuch Nr. 2338)

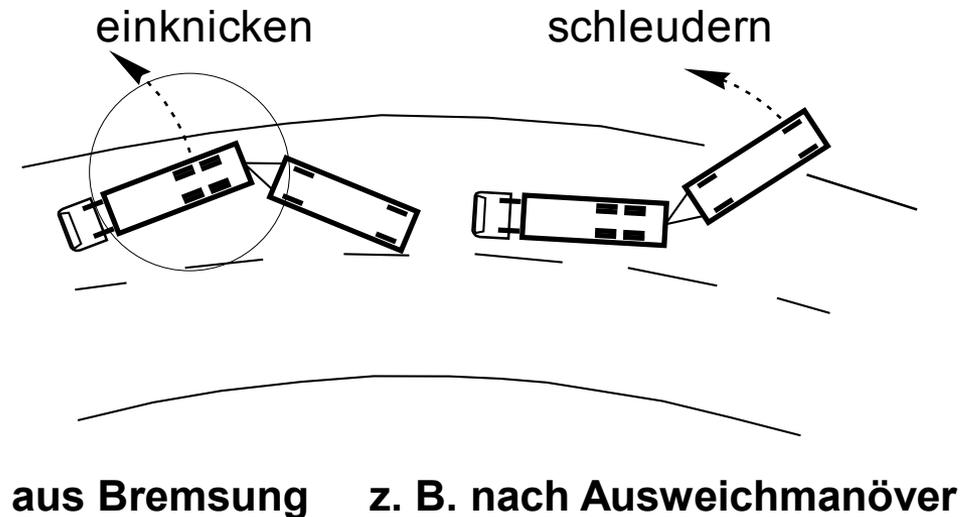
Fahrgeschwindigkeit $v = 75 \text{ km/h}$

Fahrbahn naß, rutschig

Bild 7: Lastzugstellungen bei einem extremen Spurwechsel

Anhängerpendeln und -schleudern

Bei einem Ausweichmanöver kann es durch die wechselnde Beschleunigungsrichtung durch das sog. Anhängerpendeln auch zu einem Umsturz des Anhängers kommen.



4.3 Kurvenlauf

Fahrzeug

Hoher Fahrzeugschwerpunkt (Radgröße, Zwillingssrad, Einfachrad)

Kleine Radspur

Zu große Aufbauwankneigung (ohne, mit Stabilisator)

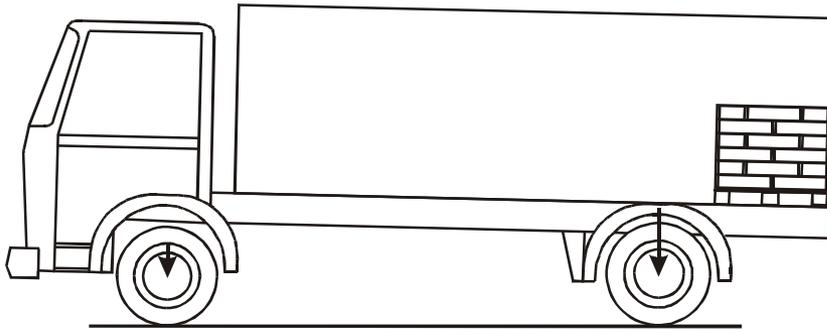
Drehelastischer Rahmen

Reifenfederung, seitlicher Reifenversatz

Lage Rollzentrum

Höhe Ladefläche

Nutzlastverteilung beeinflusst Lenksicherheit



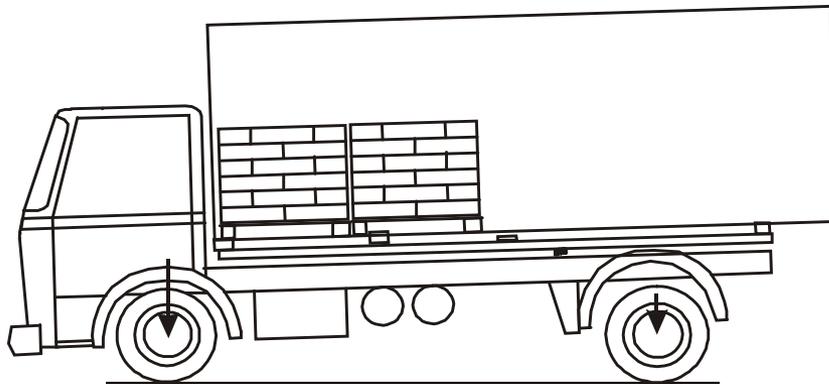
Hecklastig:

Lenkprobleme, da Lenkachse entlastet wird. Seitenkräfte werden nicht übertragen. Große Schräglaufwinkel an der Hinterachse und größere Wankneigung.

Frontlastig:

Überladung Vorderachse möglich

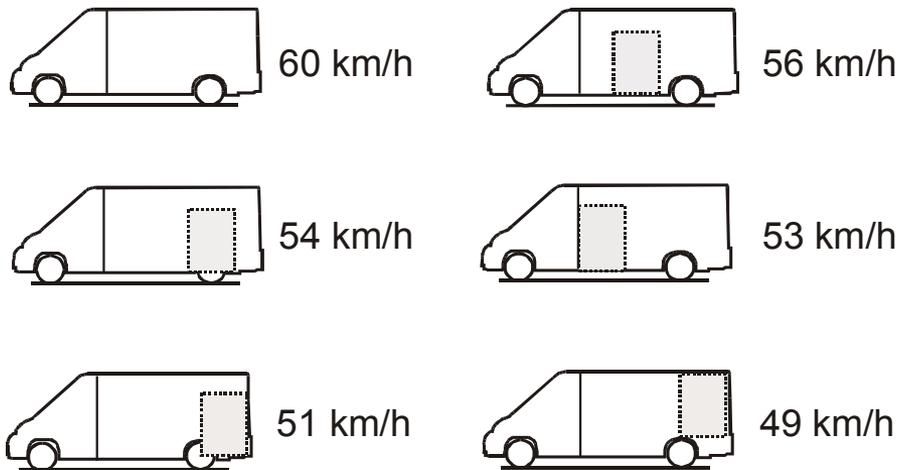
Fahrzeug neigt zum Übersteuern.



- Mindestachslast vorn: 20 % von der Gesamtmasse
- Antriebsachse/n hinten: 20 % von der Gesamtmasse

Kurvengrenzgeschwindigkeit KEP-Transport

Beladungsvariante jeweils mit Grenzgeschwindigkeit



Vergleich der Grenzgeschwindigkeiten im VDA-Spurwechseltest in Abhängigkeit von der Ladungsverteilung

Messung: Bühren, Dekra

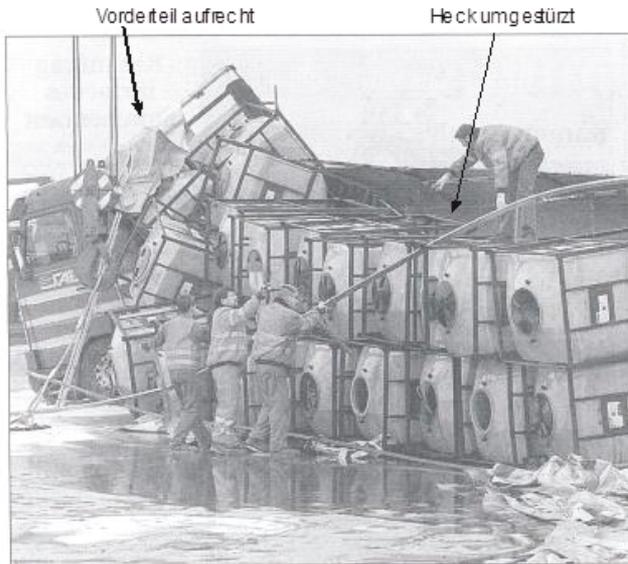


Stauung, Kurvengrenzgeschwindigkeit

Rahmenelastizität

Torsionssteifer Auflieger

Torsionselastischer Auflieger



torsionelastischer



torsionssteifer

Aufliegerrahmen

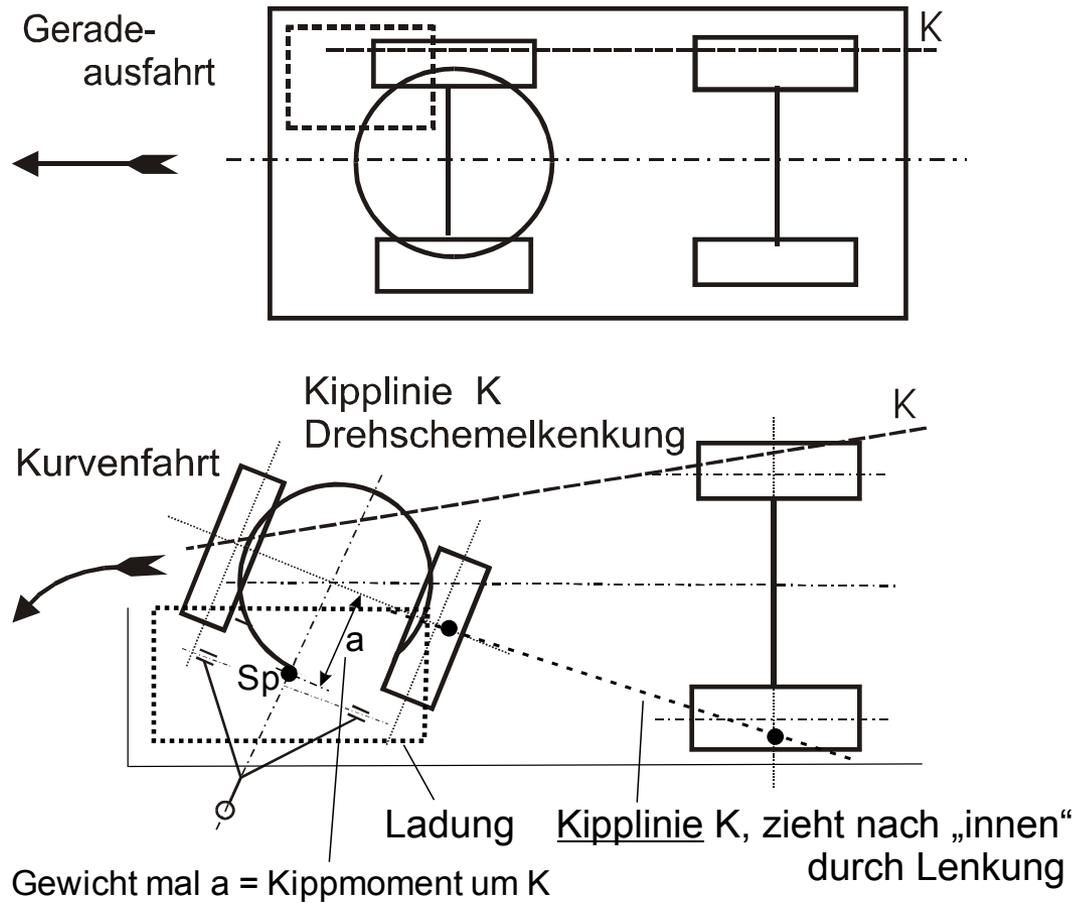
Ein torsionselastischer Fahrzeugrahmen ergibt ein anderes Umsturzverhalten. So wird nur das Heck, wie in obigem Fall umstürzen, nicht der gesamte Zug. Wenn es sich bei der Ladung um Gefahrgut handelt, kann ein Ladungsverlust problematisch sein. Wichtig ist aber auch der Aspekt, daß in diesem Fall die Zugmaschine aufrecht steht und damit der Fahrer weniger gefährdet ist!

Umsturzgefährdung Kurvenfahrmanöver



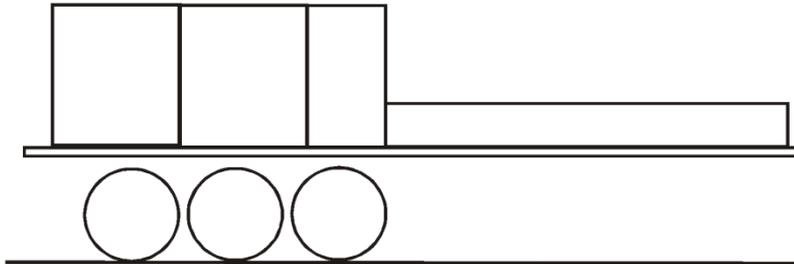
Umsturz durch Positionierung der Ladung

**Beladung wie rechts punktiert:
Durch das Kippmoment aus
Gewichtskraft mal a
kippt der Anhänger „leichter“.**

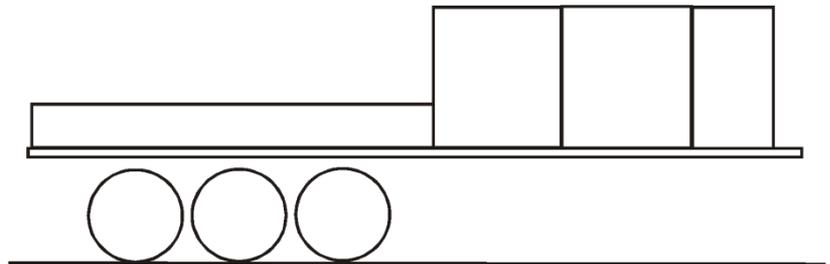


Stauung und Fahrzeugumsturzneigung

Elastischer Rahmen



A) Kippt über das Heck



B) Kippt über den Bereich Sattelkupplung



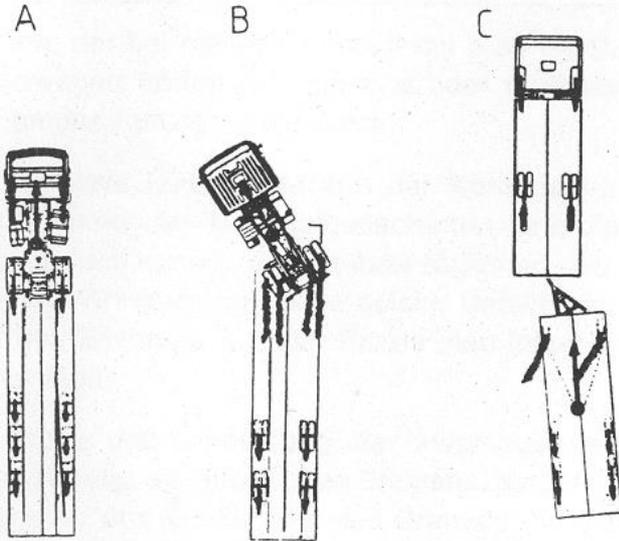
Bremsverhalten

Bremsweglänge

Versuche haben gezeigt, daß sowohl Hecklastigkeit als auch Frontlastigkeit den Bremsweg verlängert. [1]

Einknicken von Zügen

Zug knickt ein



Anatol Smeljew

Steifer Auflieger

Quelle:

Verkehrsunfälle mit mehrgliedrigen
Lastkraftwagen infolge Stabilitätsverminderung,

Gyula Köflavi, Verkehrsunfall und
Fahrzeugtechnik, 3/1988

Falsche Lastverteilung/torsionssteifer Rahmen



Begriffe

Umsturz – seitlich

Kurve - hangabwärts



Umsturz – nach vorn



Umsturzursache Fahrmanöver

Fahrmanöver

(Indirekter Einfluß der Ladung)

Kurvenfahrt

Änderung
Änderung

Geschwindigkeit
Kurvenradius

Spurwechsel

Schleudern

Zug knickt ein

Anhängerpendeln

kommt von der Fahrbahn ab.

rutscht seitlich gegen Bordstein

Kollision

...

Umsturzursache Fahrzeug und Fahrer

Fahrzeug

Hoher Fahrzeugschwerpunkt (Radgröße, Zwillingrad, Einfachrad)

Kleine Radspur

Zu große Aufbauwankneigung (ohne Stabilisator)

Drehelastischer Rahmen

Reifenfederung, seitlicher Reifenversatz

Lage Rollzentrum

Höhe Ladefläche

...

Fahrer

Nicht vertraut mit Eigenarten Zug

Fahrfehler

Reagiert falsch

...

Umsturzursache Ladung auf Fahrzeug

Ladung auf Fahrzeug (direkter Einfluß Ladung)

Ladungsbewegungen

Ladung gleitet seitwärts

(Ladung elastisch)

Ladungsschwingung (zwei-, einseitig (Schüttgut))

Ladungsverteilung

Zugausladung

Stauung längs

Stauung quer

Entladefolge

Ladungsmasse

Größe (Teilentladung)

Höhenlage

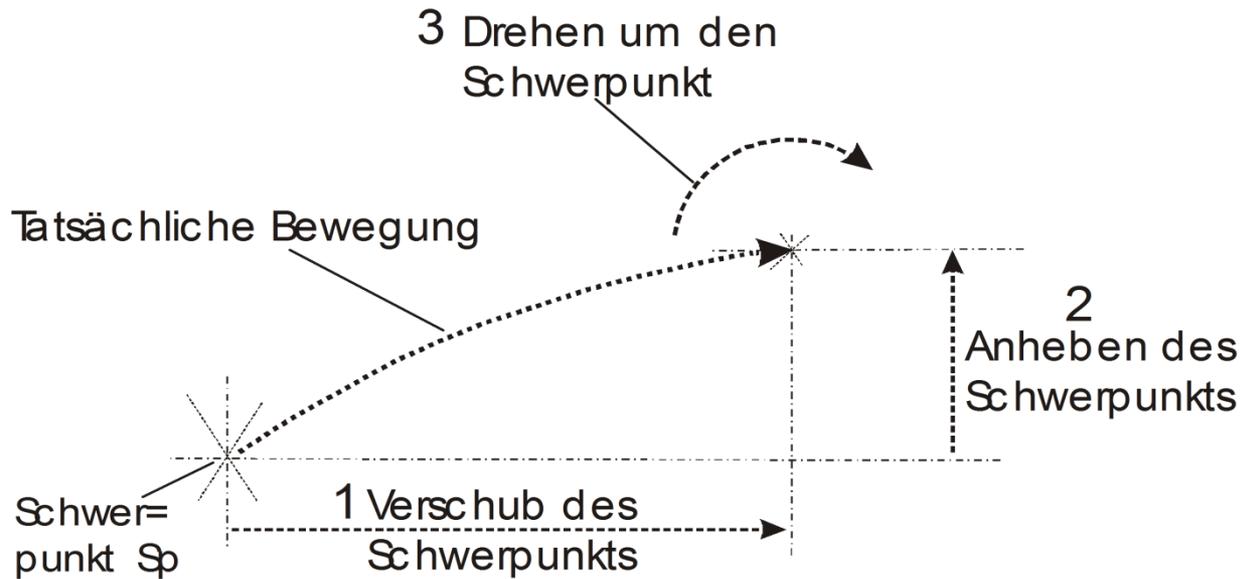
Stauung (Höhe Schwerpunkt)

Entladung

Reihenfolge

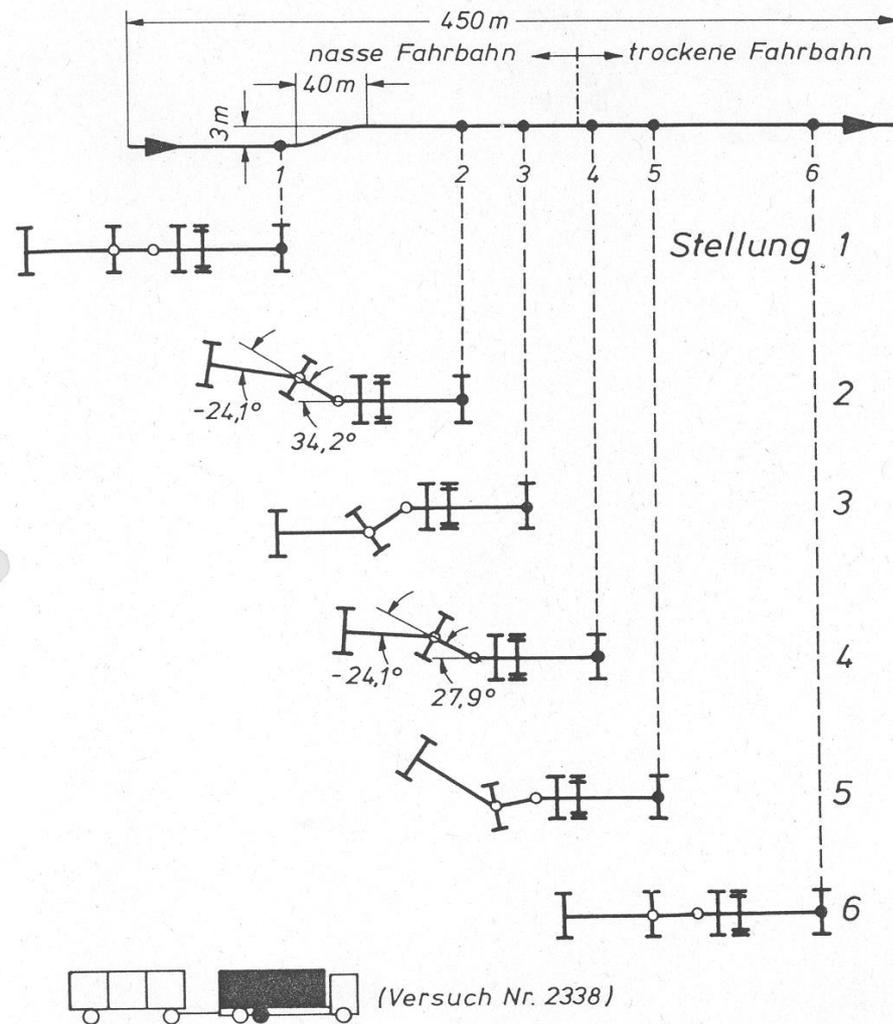
Mulde, Silotank anheben

Bewegung beim Umsturz



Statt "tatsächlicher Bewegung" Bewegung 1 bis 3.

Anhängerpendeln



Fahrgeschwindigkeit $v = 75 \text{ km/h}$

Fahrbahn naß, rutschig

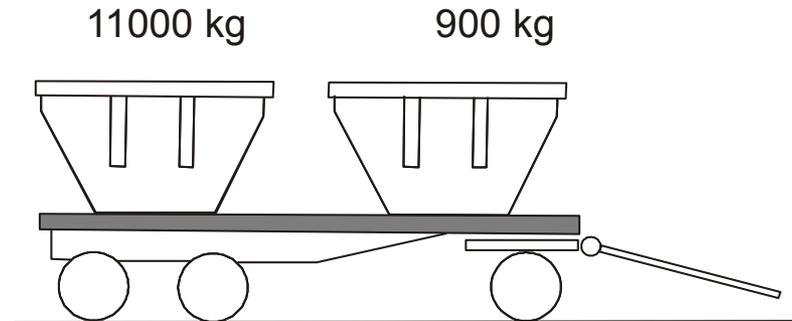
Bild 7: Lastzugstellungen bei einem extremen Spurwechsel

Nutzlastverteilung beeinflusst Bremssicherheit

Anhängerausladung

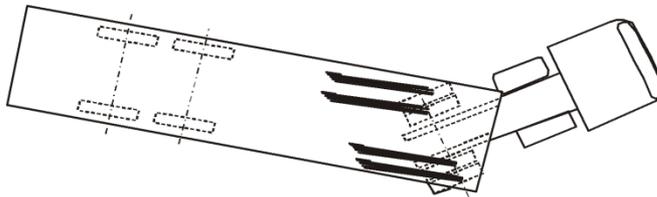
(Schräglaufwinkel an Reifen sehr unterschiedlich)

Lenkfähigkeit stark verringert!

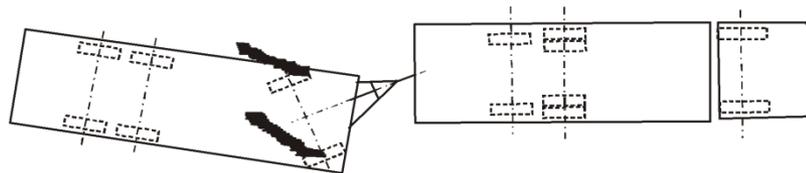


Lenkachse (Drehschemellenkung)
sehr gering belastet. „Ausbrechen“
des Anhängers möglich,
insbesondere beim Bremsen.

Sattelzug

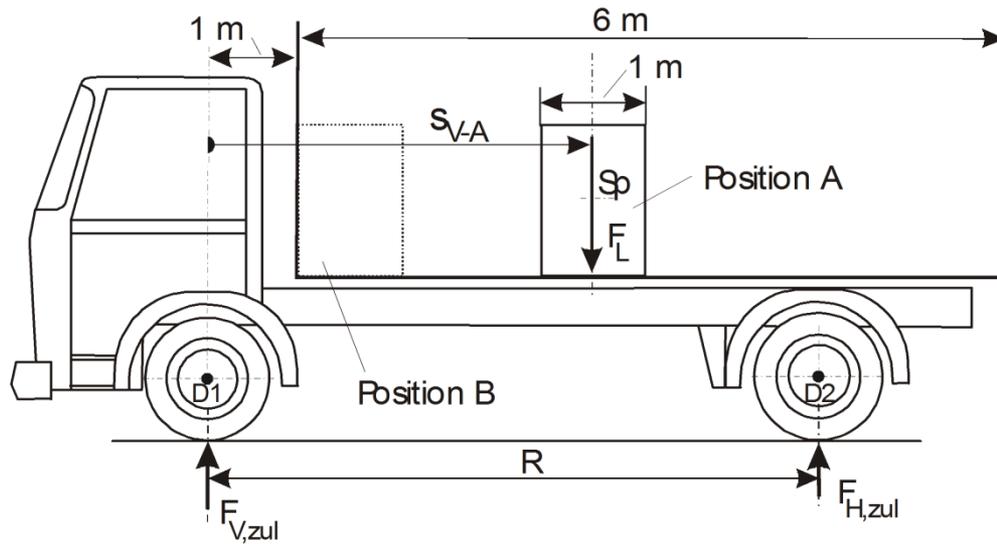


LKW-Zug



Einknicken eines Zuges
Zug kann beim Bremsen seitlich
vorn ausbrechen.

5 Berechnung Nutzlastverteilung I bei schwerer Einzellast



$$F_{V,zul} = 7,5 \text{ t} \quad F_{H,zul} = 11 \text{ t} \quad F_{G,zul} = 18 \text{ t}$$

$$F_{V,leer} = 5,4 \text{ t} \quad F_{H,leer} = 4,2 \text{ t} \quad F_{G,leer} = 9,6 \text{ t}$$

Differenz
Zuladung

$$F_{V,Diff} = 2,1 \text{ t} \quad F_{H,Diff} = 11 \text{ t} \quad F_{Nutz} = 8,4 \text{ t}$$

Ladung

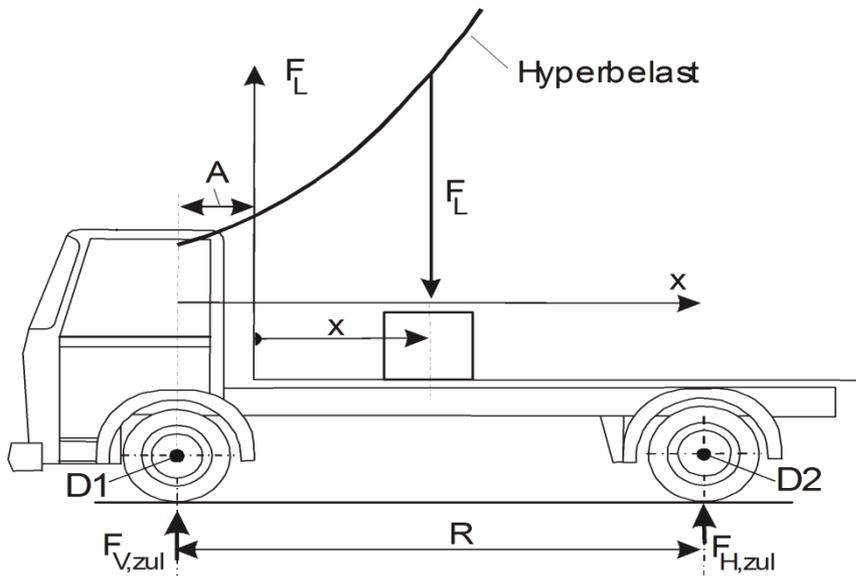
$$F = 2,1 \text{ t (Einzellast)}$$

Berechnung Nutzlastverteilung II

$$\begin{aligned} \curvearrow D 2 \quad F_L (R - 1,5 \text{ m}) &= F_{V,L} \cdot R \\ F_{V,L} &= \frac{5 \text{ t} (5 - 1,5) \text{ m}}{5 \text{ m}} \\ F_{V,L} &= 3,5 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \curvearrow D 2 \quad F_L \cdot s_{V-A} &= F_{V,Diff} \cdot R \\ \begin{array}{cc} | & | \\ 5 \text{ t} & 2,1 \text{ t} \end{array} & \\ s_{V-A} &= \frac{R \cdot F_{V,Diff}}{F_L} \\ s_{V-A} &= 2,9 \text{ m} \end{aligned}$$

Nutzlastverteilungsdiagramm



$$\overset{\curvearrowright}{D2} (F_{V,zul} - F_{Meer}) \cdot R = F_{L2} ((A + X) - R)$$

$$F_{VL} \cdot R = F_{L2} ((A + X) - R)$$

$$F_{L2} = \frac{F_{Meer} \cdot R}{(A + X) - R}$$

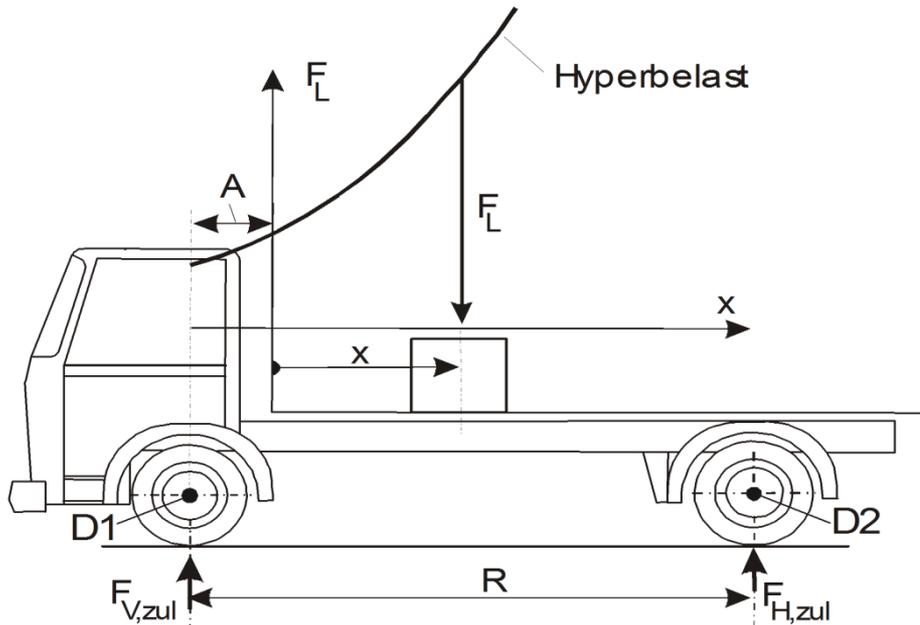
2 = um D2

Diese Kurve ist eine Hyperbel:

$$F_{L2} \cdot [(A + X) - R] = F_{Meer} \cdot R$$

$$\begin{matrix} \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ X & & & & \\ x & \text{mal} & y & & = \text{konstant} \end{matrix}$$

Nutzlastverteilungsdiagramm II



$$A + x - R = 0$$

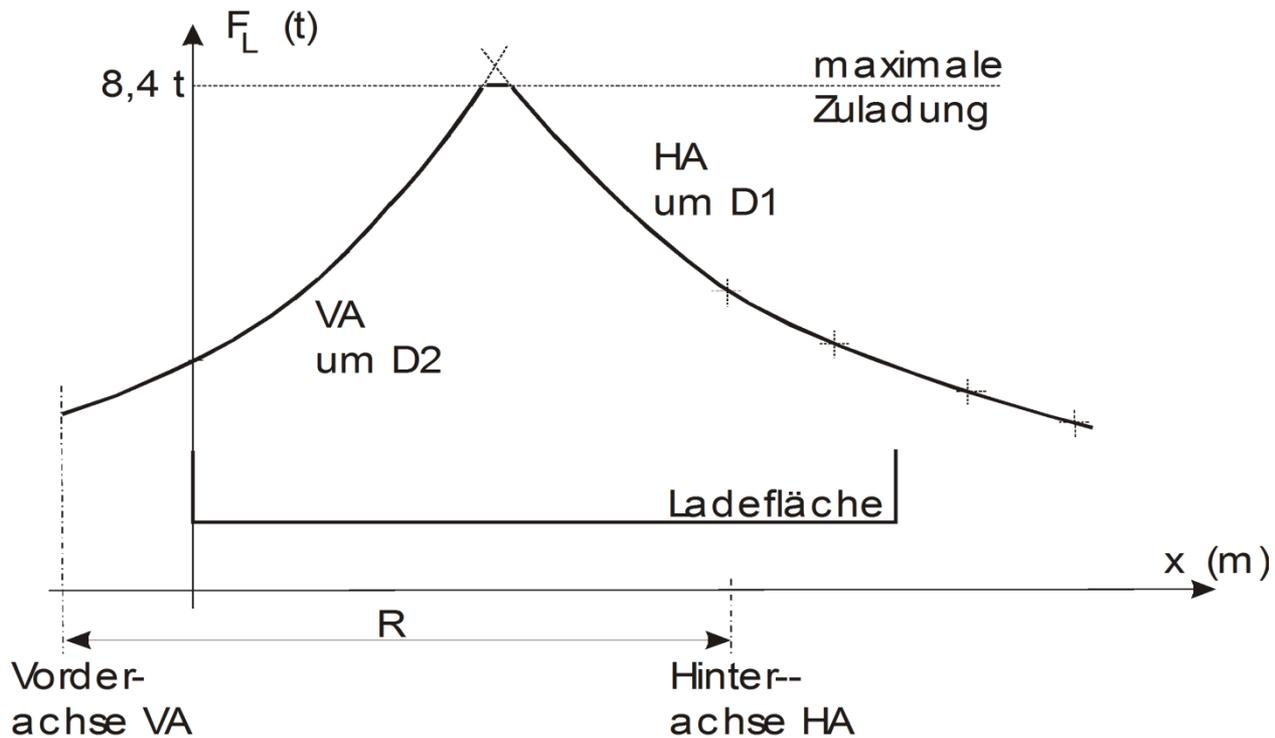
$$F_L = \text{unendlich}$$

$$\curvearrowright D1 \quad (F_{H,zul} - F_{H,leer}) \cdot R = F_{L1} \cdot (A + X)$$

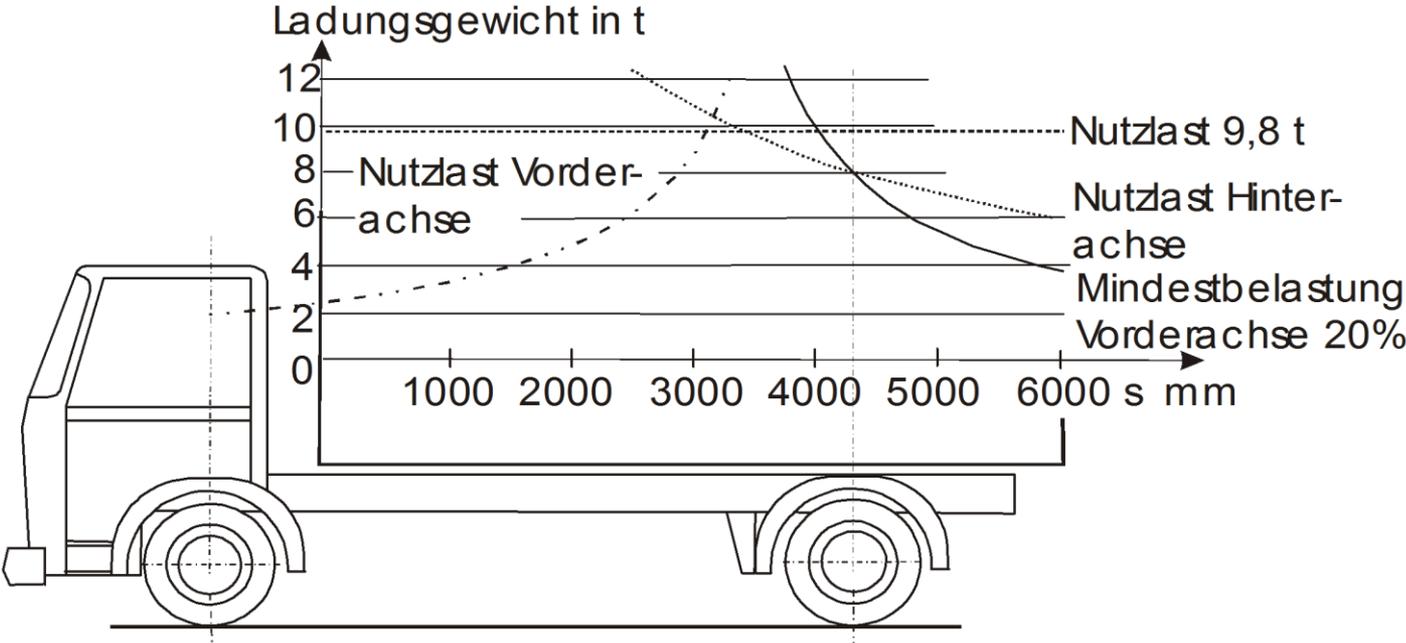
$$F_{H,zul} - F_{H,leer} = F_{HL1}$$

$$F_{L1} = \frac{F_{H,leer} \cdot R}{(A + X)}$$

Nutzlastverteilungsdiagramm III



Vollständiges Nutzlastverteilungsdiagramm



Literatur

- [1] Dorn, C., 2015, KLSK-Tagung 2015, Internetseite KLSK
- [2] Podzuweit, U. Holzversuche KLSK, Internetseite GDV

10 Grundlagen der Sicherungstechnik

Inhalt

- **Ladung sichern, aber wie?**
- **Sicherung nach VDI-Richtlinien**
 - Kraftschluß**
 - Formschluß**
- **Schlußtechniken des Maschinenbau**
- **Modell für „elastischen“ Formschluß**
- **Elastischer Formschluß - Verformungsschluß**

Sicherung am Beispiel Reibschlusssicherung

„Elemente“ einer Sicherungstechnik:

Kiste auf der Ladefläche

abgesetzt → *Reibschluß an*
Aufstandsfläche

Säcke mit ..?.. nach vorn

und zur Seite bis zu den Bord-
wänden in den Freiraum

gestaut → *keine Freiräume*
zulassen

Säcke als Abstützung an Bord-

wänden → *Aufbaufestigkeit*



Praktikerlösung! Aber, was hält eine Reibschlusssicherung? Oder die Bordwand? Was ist, wenn Ladung sich bewegt?

Sicherung nach VDI-Richtlinien

Rechtsvorschriften zur Sicherung von Ladungen

§ 22 StVO Abs. 1

„(1) Die Ladung einschließlich Geräte zur Ladungssicherung sowie Ladeeinrichtungen sind so zu verstauen und zu sichern, daß sie selbst bei Vollbremsung oder plötzlicher Ausweichbewegung nicht verrutschen, umfallen, hin- und herrollen, herabfallen oder vermeidbaren Lärm erzeugen können. Dabei sind die anerkannten Regel der Technik zu beachten.“

StVO 22. Dez. 2005

“Um der Ladung die Möglichkeit zu nehmen, relativ zur Ladefläche in Bewegung zu geraten, ist die Ladung zu sichern.”

VDI 2700, Punkt 1.3.2.1

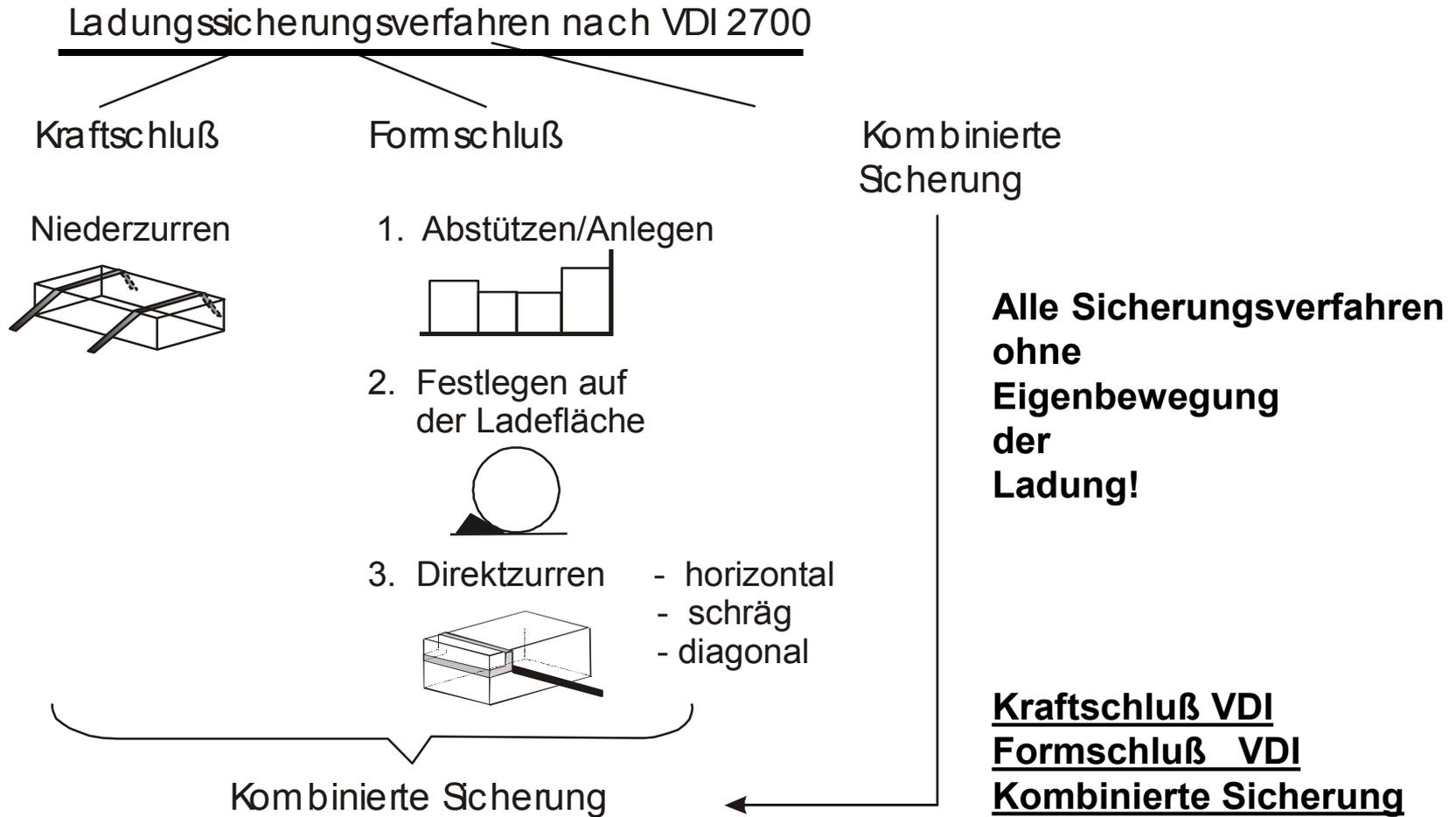
“Die Ladung muß so gesichert werden, daß unter verkehrsüblichen Fahrzeugständen weder einzelne Ladegüter noch die gesamte Ladung unzulässig verrutschen . . . herabfallen kann.”

VDI 2700, Punkt 2.1

Eine Ladung mit dem Fahrzeug verbinden heißt maschinenbautechnisch, einen „Schluß“ (also eine „feste“ Verbindung) mit dem Fahrzeug herzustellen. Vorgaben machen Paragrafen der Straßenverkehrsordnung.

Ladungssicherungsverfahren

Festlegungen nach VDI 2700



Sicherungskraft

Ladung ohne Eigenbewegung zur Ladefläche

Um die Dynamik von Transportvorgängen praxisgerecht zu fassen, wird für die Ladungssicherung nicht die Haftreibungszahl, sondern die Gleitreibungszahl an der Ladungsaufstandsflächen eingesetzt.

Die mit μ_G bezeichnete Gleitreibungszahl ist für verschiedene Materialpaarungen in unterschiedlichen Literaturquellen angegeben. Im Zweifelsfall ist für die Gleitreibungszahl der niedrigste angegebene Wert einzusetzen, soweit nicht für den Einzelfall ermittelte und nachgewiesene Reibungszahlen für bestimmte Werkstoffpaarungen vorliegen.

$$F_S \geq F - F_R$$

$$F_S > 0,8 G - F_R$$

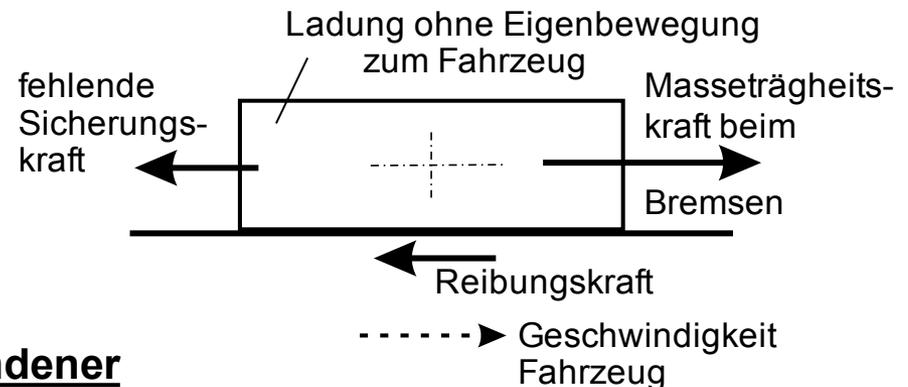
$$F_S > 0,8 m g - m g \mu_{\text{Ladung/Ladefläche}}$$

$$F_S > m g (0,8 - \mu_G)$$

Sicherungsformel, bei „fest“ verbundener Ladung

$$F_S \geq 0,8 G - F_R$$

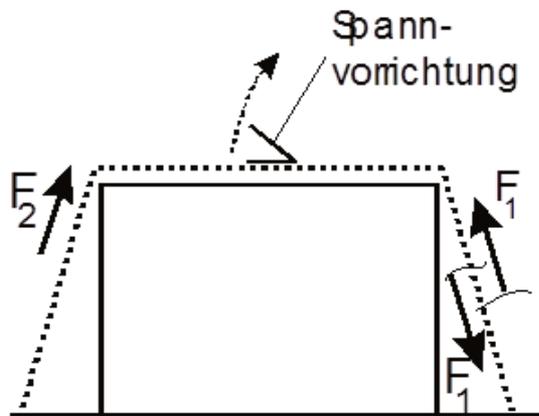
VDI 2700, 1.3.2.2, 2004



Kraftschluß nach VDI

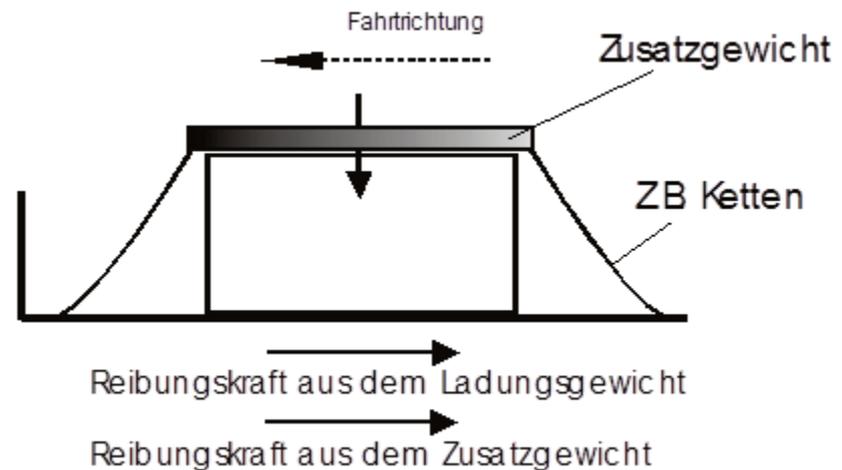
(= ohne Eigenbewegung der Ladung)

Niederzurrung



Zurmittel definiert vorgespannt!

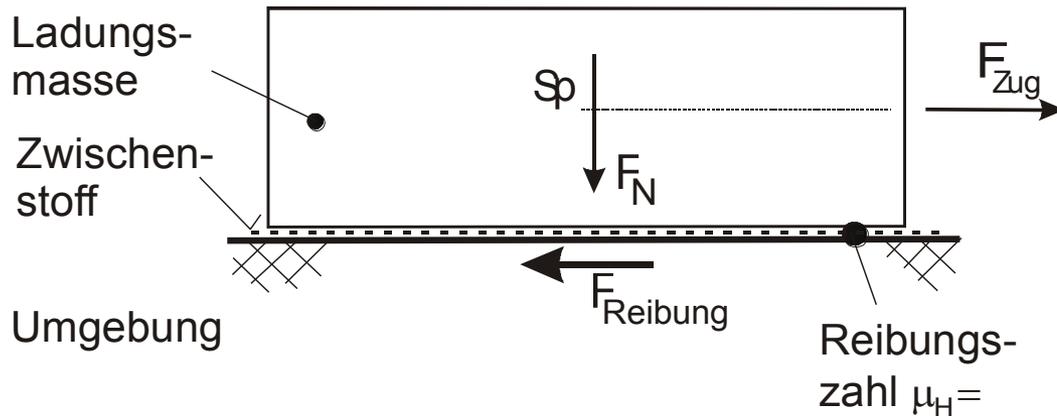
Niederdrücken



Die VDI-Festlegung für den Begriff Kraftschluß leitet sich allein aus der in der Mechanik üblichen Festlegung des Begriffs Reibung ab.

Reibungsgesetz

horizontale Fläche



$$F_R = F_N \cdot \mu \quad [\text{N}]$$

Reibungskraft ist gleich Normalkraft mal Reibungszahl.

μ kleines griechisches "m" (mü)

μ_H Haftreibungszahl (keine Einheit)
Haftreibungskoeffizient
~~Reibbeiwert~~ (Beiwert ist mechanisch falsch)

μ_G Gleitreibungszahl (keine Einheit)

Coulombsche Reibung

Einflußgrößen

Coulombsche Reibung:

Aufstandsfläche Ladung

Gegenfläche (= Ladefläche)

Zwischenstoff

Umgebung

Voraussetzungen für Reibschlußsicherung

Es gilt für Coulombsche Reibung:

Die „Körper“ (Ladung/Ladefläche) sind im technischen Sinne als „steif“ anzusehen.

Die reibenden Oberflächen sind „groß“ (keine punkt- oder linienförmige Berührungsflächen, keine Ladeflächenverwindung).

Es gibt eine Haft- (μ_H) und eine Gleitreibungszahl (μ_G).

Die Reibungszahl ist eine „Systemeigenschaft“¹⁾.

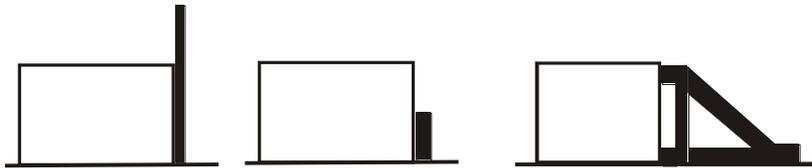
Es gilt immer $\mu_H > \mu_G$.

Die Gleitreibungszahl ist eine Konstante (Gleitreibungsgeschwindigkeit oder die Temperatur hat keinen Einfluß).

- 1) Ein „System“ in der Reibungslehre besteht aus: Grund- und Gegenkörper, Zwischenstoff und Umgebung.

Formschluß nach VDI

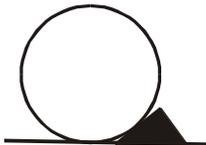
Anlegen/Festlegen/Direktzurren



Stirnwand
Seitenwand

Anschlag

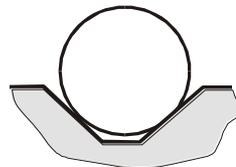
Holzgestell



Keil



Keil



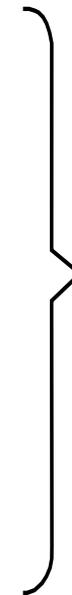
Mulde



Anlegen

Festlegen

Direktzurren



**Definition
durch
Beschreibung**

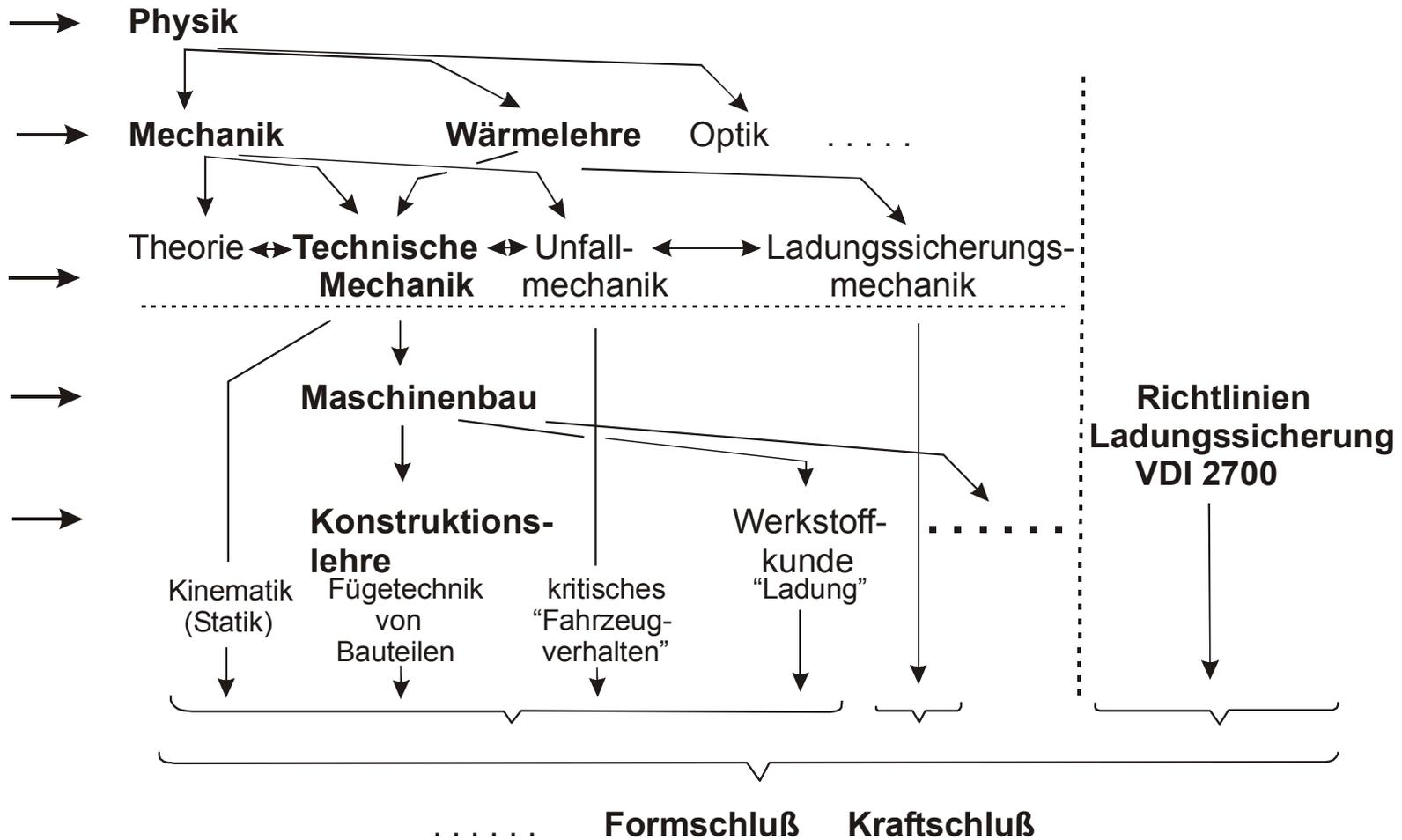
Formschluß in Ladungssicherungsrichtlinien

Die VDI-Richtlinie legt den Begriff durch Auflistung (vgl. Abschnitt 2.3 in der Fassung von 2004) fest. Es werden drei Sicherungsmaßnahmen genannt, die als formschlüssige Sicherung gelten.

Danach wird die Verhinderung eines Ladungsverschubs, einer Kipp- oder Rollbewegung durch „Abstützen“ gegen eine Laderaumbegrenzung, durch „Festlegen“ an der Ladefläche oder durch „Direktzurrung“ als formschlüssig verstanden.

Die DIN EN 12 195:2003 benutzt den Begriff Blocken als Begriff für Formschluß. Er ist über eine Beschreibung definiert.

Murzeln“ der Begriffe Form- und Kraftschluß



Einteilung nach VDI

- Die Einteilung in Kraft- und Formschluß ist richtig. Da aber nicht die Definitionen in Anlehnung an die des Maschinenbaus benutzt werden, ergeben sich daraus in den Richtlinien Schwierigkeiten. In Einzelfällen ist eine Berechnung nicht möglich, so z. B. bei Kombinationen von Sicherungsmitteln wie Niederzurrung mit einem Buchtflasching.
- Die Berechnungsformeln verwenden in vielen Fällen nicht die sog. Technische Mechanik als Grundlage. Das betrifft Fälle, in denen eine größere Ladungsbewegungen notwendig ist, um eine Sicherungswirkung zu erreichen und gleichzeitig eine weitere Sicherungstechnik verwendet wird, die Haften, also gerade keine Bewegung, voraussetzt.
- Es wird deshalb im Folgenden eine anderer Weg begangen. Es wird erst bei einer Ladungsbewegung von über 5 mm davon ausgegangen, daß ein Bewegungszustand vorliegt, also nicht mehr mit statischen Kräften gerechnet werden darf. Diese Abgrenzung mittels einer 5 mm-Grenze ist willkürlich. Zu mindestens für große Ladungsmassen wird damit davon ausgegangen, daß bei einer Bewegung noch die Dynamik nicht angewendet werden muß, also noch auf statische Kraftgleichungen zurückgegriffen werden darf. Für Einzelladung wird diese Vorgehensweise für vertretbar gehalten. Ob das für eine Summe von 12 oder mehr Einzelladungen hintereinander vertretbar ist, ist nicht untersucht. Mit dieser Vorgehensweis lassen sich aber schwierige Kombinationen von Sicherungsmitteln, wie sie weiter unten vorgestellt werden, berechnen.

Schlußtechniken des Maschinenbaus

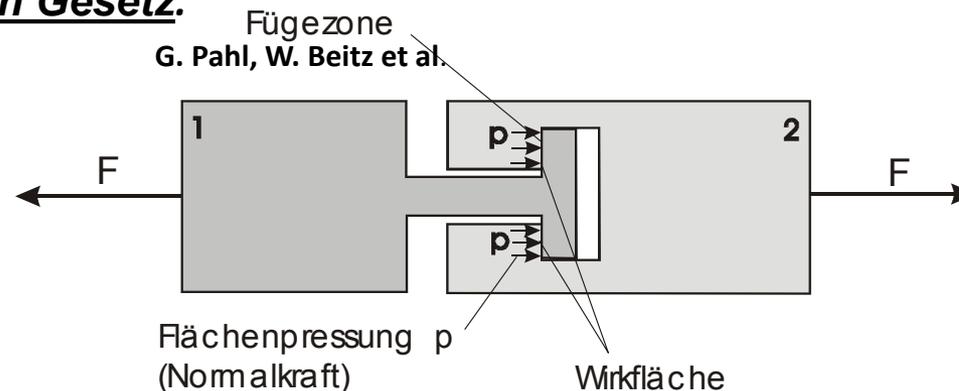
Schlußtechniken im Maschinenbau

Übersicht

- Kraftschluß in der Ladungssicherung: Reibschluß
- Formschluß

Formschluß Maschinenbau (Konstruktionslehre)

Der Schluß erfolgt durch Normalkräfte an in einander greifenden Wirkflächen von Elementen unter Aufnehmen von Flächenpressungen p und resultierenden Beanspruchungen in den Fügezonen nach dem Hookeschen Gesetz.

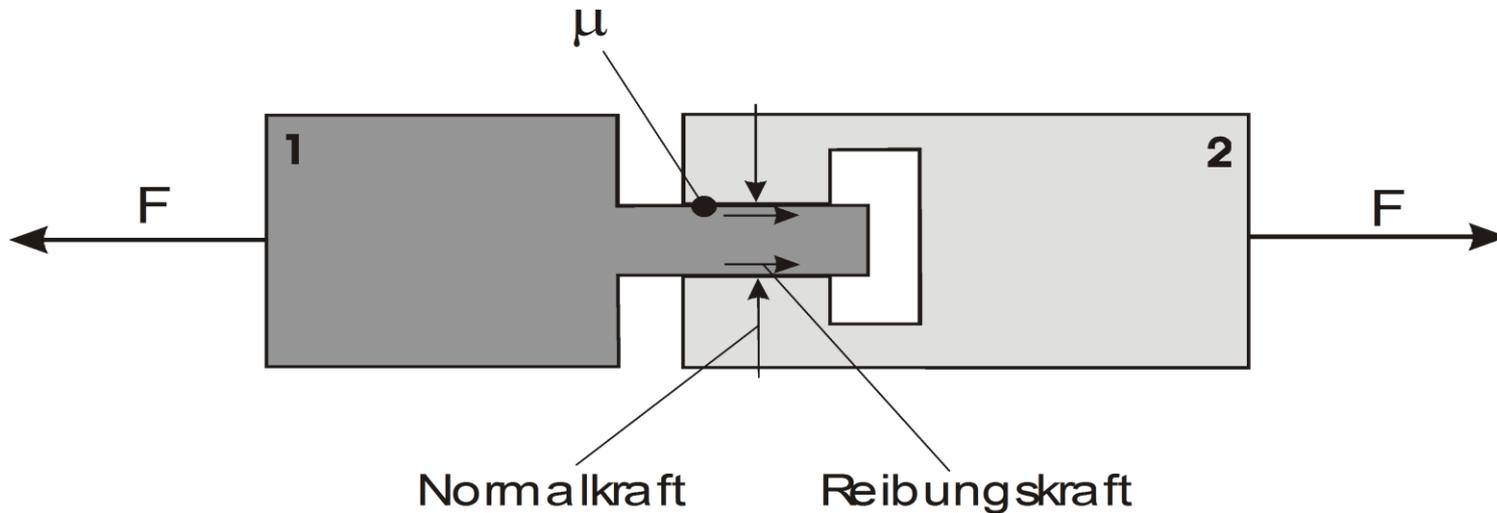


- Stoffschluß

Kraftschluß

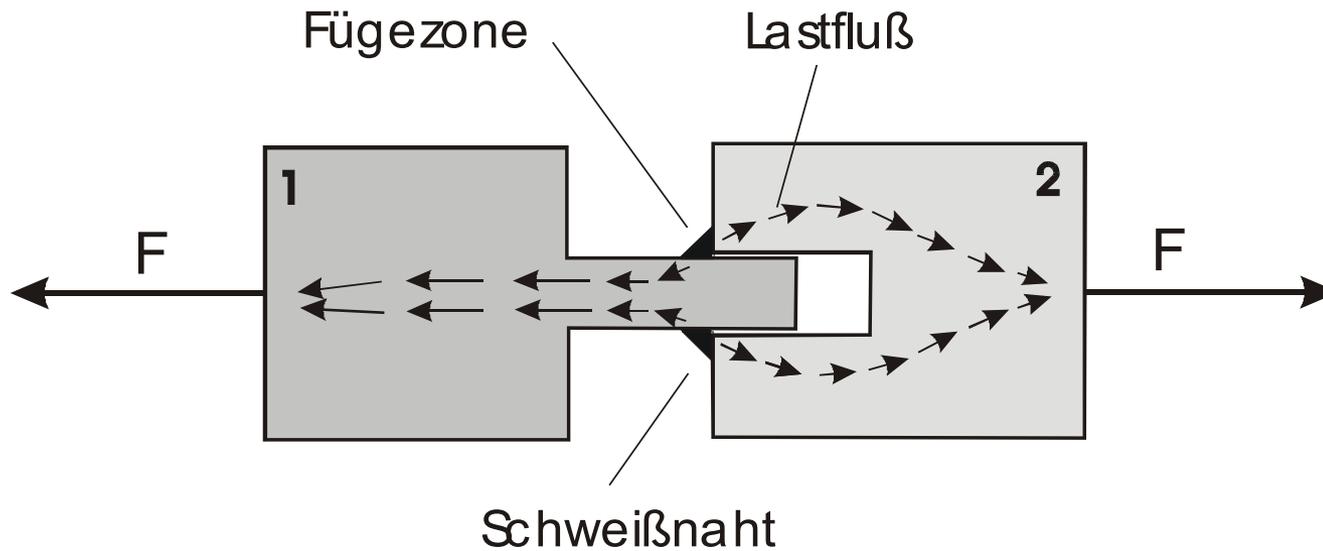
„Der Schluß erfolgt über die Nutzung von Feldkräften, wie Magnetkräfte, Druckkräfte in hydrostatischen oder aerostatischen Druckfeldern, Zähigkeitskräfte in viskosen Medien oder durch mechanische Reibungskräfte.“

Konstruktionslehre, G. Pahl, W. Beitz et al.



Stoffschluß

Maschinenbau: Schweißen,
Löten, Kleben

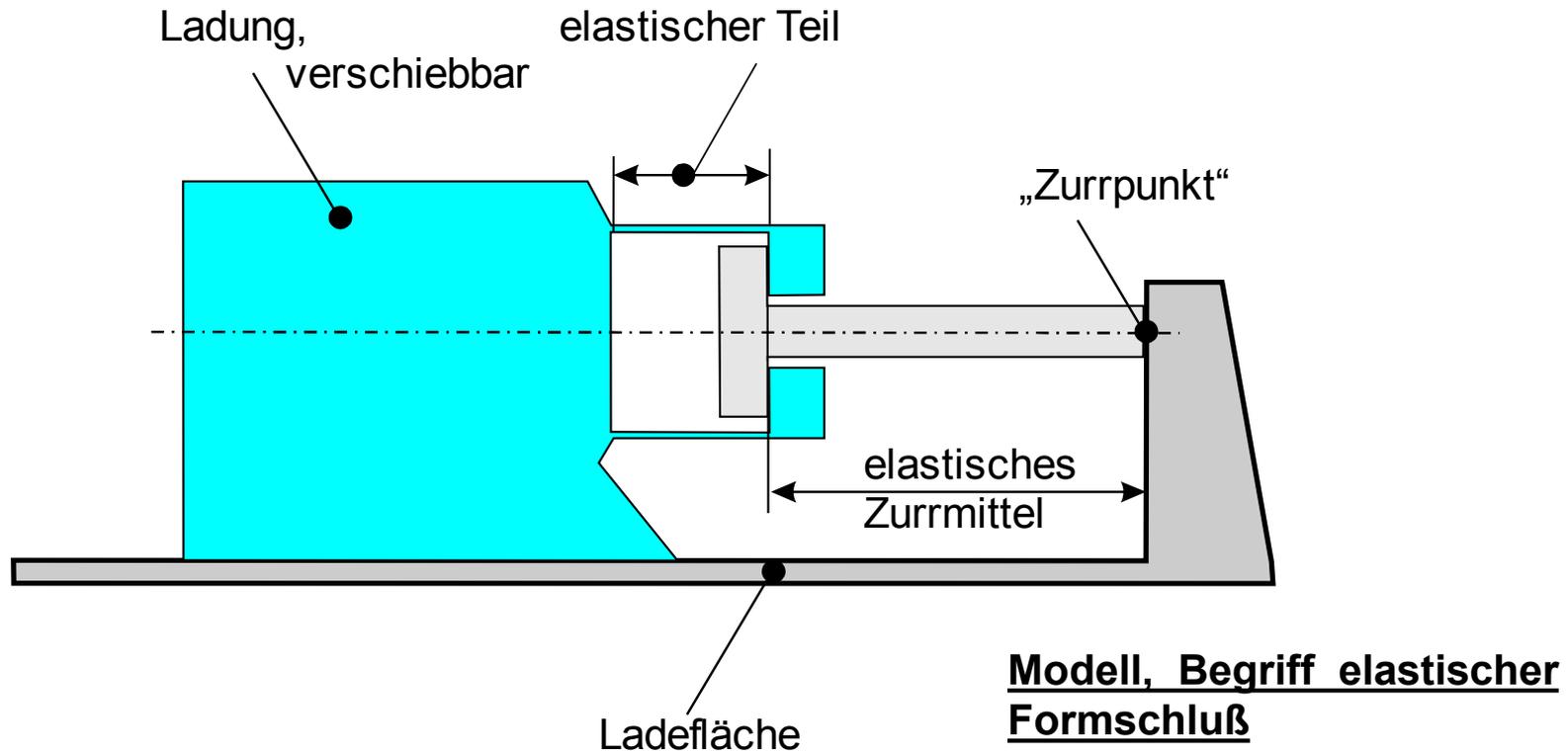


Kritik zu den Festlegungen des Maschinenbaus (Formschluß)

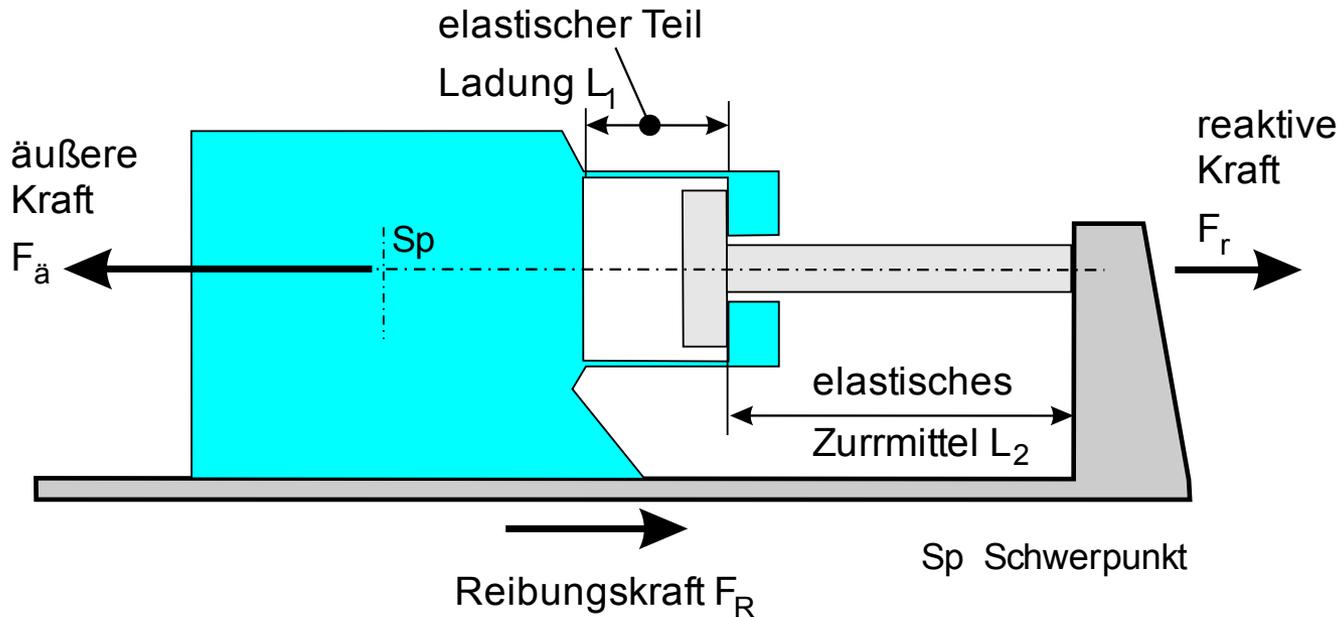
- Begriff Formschluß ist zwar definiert, er ist aber für die Ladungssicherung unzureichend (unvollständig).
- Die Definition im Maschinenbau berücksichtigt die Besonderheit der zusätzlichen Aufstandsflächenreibung in der Ladungssicherung nicht.
- Die „Bauteile“ im Maschinenbau werden als elastisch im der Sinne der Hookeschen Geraden angenommen, also mit Elastizitäten im μm -Bereich. In der Ladungssicherung können Beweglichkeiten im cm -Bereich vorkommen.
- Die Beweglichkeiten des Maschinenbaus gehen von Reversibilität aus.
- Unterschiedliche Elastizitäten im cm -Bereich oder sogar plastisches Verhalten kommt im Maschinenbau nur selten vor. Außerdem werden im Maschinenbau in der Regel homogene metallische Werkstoffe zugrunde gelegt!

Modell für „elastischen“ Formschluß

Modell für eine erweiterte Festlegung des Begriffs Formschluß in der Ladungssicherung



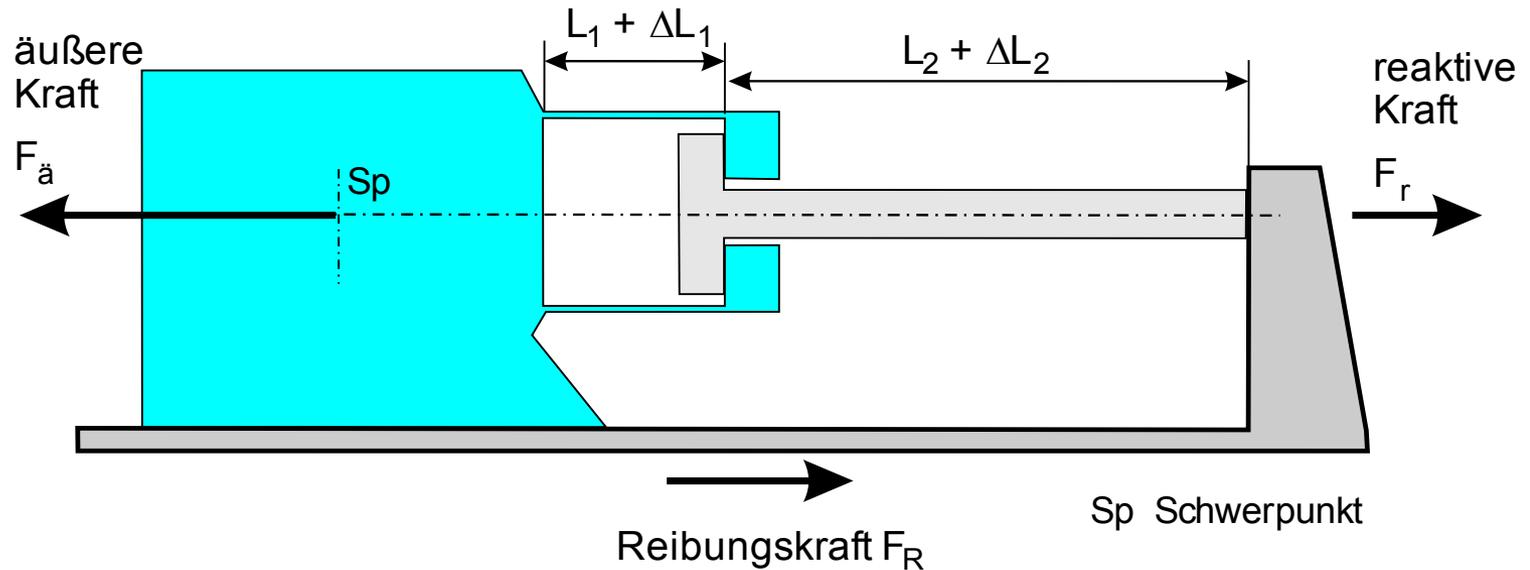
Kräftegleichgewicht und Elastizitäten bei Einwirkung einer äußeren Kraft $F_{\text{ä}}$



Kräfte aus Freischneiden im Maximalzustand der Kräfte

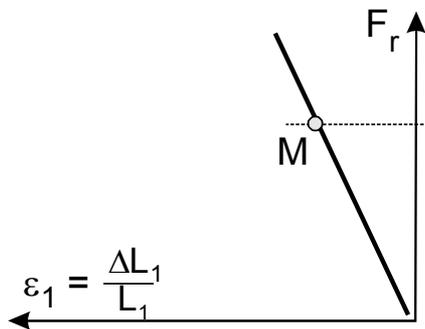
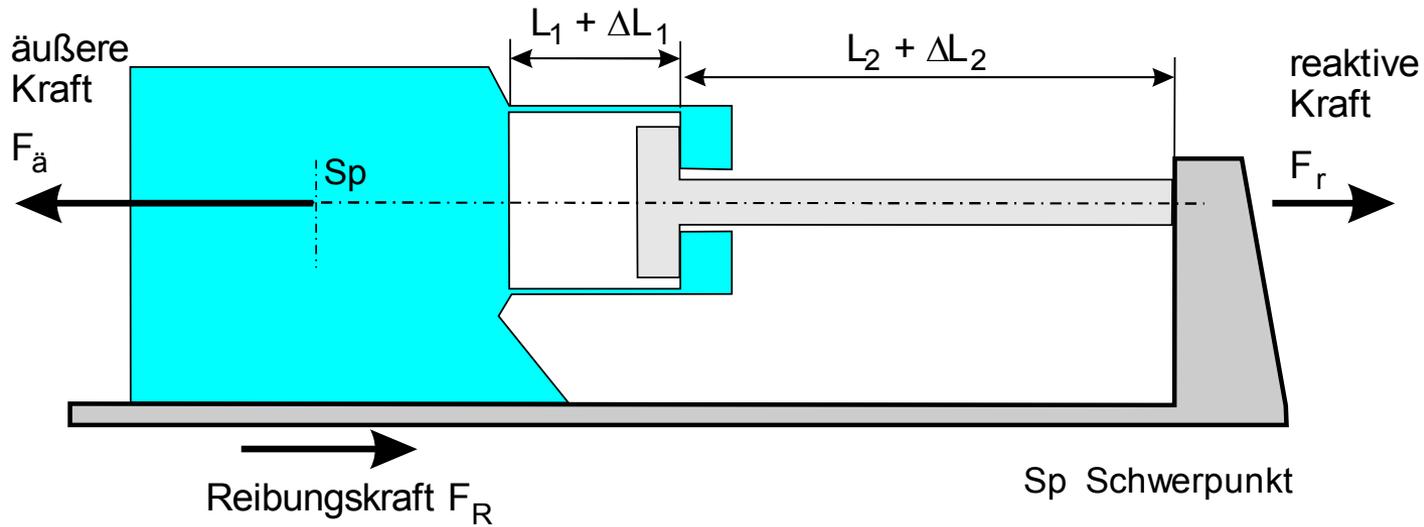
Deformationen durch Kräfte: \longrightarrow

Verformungen bei Kräfteinwirkung

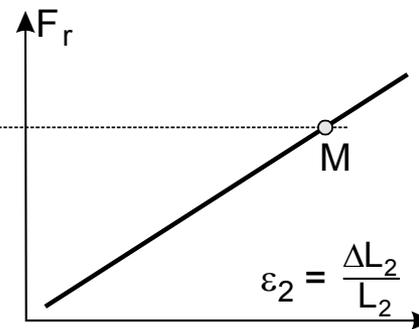


Durch Einwirkung einer äußeren Kraft verformen sich Ladung und Sicherungsmittel.

Dehnungen und Dehnungsdiagramme

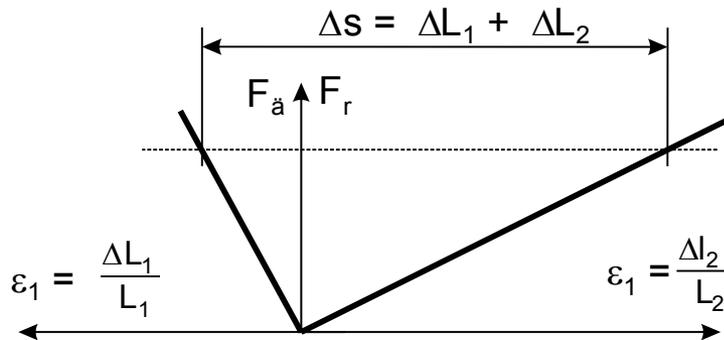
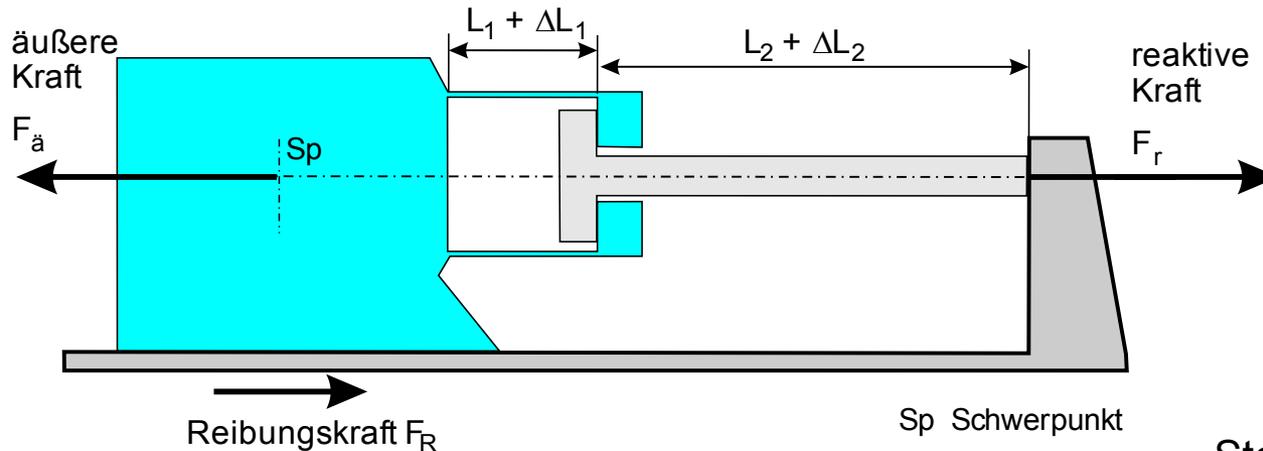


Dehnung: Ladung



Zurmittel

Dehnungsdiagramm Zurrung



Steilheit von 1 und 2 kann sehr unterschiedlich sein.

1. Ladung starr
2. Zurrmittel elastisch
3. oder umgekehrt

Annahme: Linearer Verlauf 1 u. 2

Elastischer Formschluß - Verformungsschluß

Aus dem Dehnungsdiagramm lassen sich Bedingungen für eine erweiterte Definition des Begriffs Formschluß ableiten.

Wenn der Ladungsweg s kleiner gleich 5 mm insgesamt bleibt, soll die Ladung noch nicht in der Gleitreibungszustand übergegangen sein. Diese Minibewegung (elastostatische „Bewegung“) soll als eine noch unelastische formschlüssige Sicherung angesehen werden.

Wird der Ladungsweg s größer als 5 mm, soll eine elastische formschlüssige Sicherung vorliegen, die als eine weitere Form des Formschlusses angesehen werden soll und mit Verformungsschluß bezeichnet werden soll.

Anmerkung:

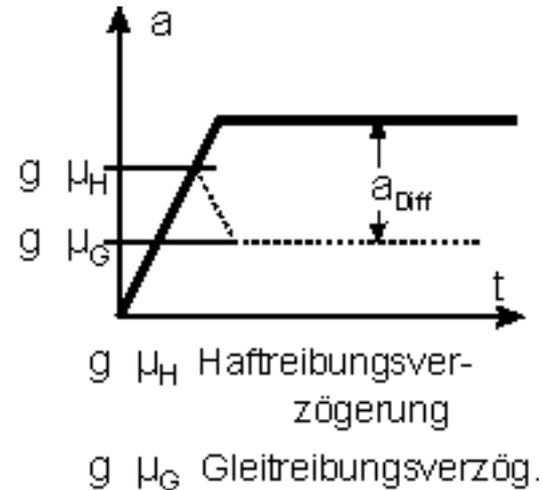
Eine Direktzurrung kann danach sowohl eine formschlüssige Sicherung konventioneller Art sein als auch eine verformungsschlüssige Verbindung. Die Abgrenzung erfolgt über den Ladungsweg bis zum Stillstand der Ladungsbewegung.

Elastischer Formschluß = Verformungsschluß

In der Ladungssicherungspraxis werden auch Sicherungstechniken angewandt, die nur dann eine Rückhaltewirkung auf die Ladung haben, wenn sich mit einer Ladungsbewegung, z. B. um 150 mm durch Verlängerung (Dehnung eines Zurrmittels) eine Haltekraft aufbaut. Das Zurrmittel wird gedehnt, es entsteht eine rückhaltende Kraft. Voraussetzung ist, daß das Zurrmittel nicht versagt. Außerdem darf die Dehnung nur im Elastizitätsbereich liegen.

Auslöser für Ladungsbewegungen können Masseträgheitskräfte beim Bremsen oder Kurvenfliehkräfte sein. In beiden Fällen handelt es sich der Charakteristik nach um Konstantanregungen.

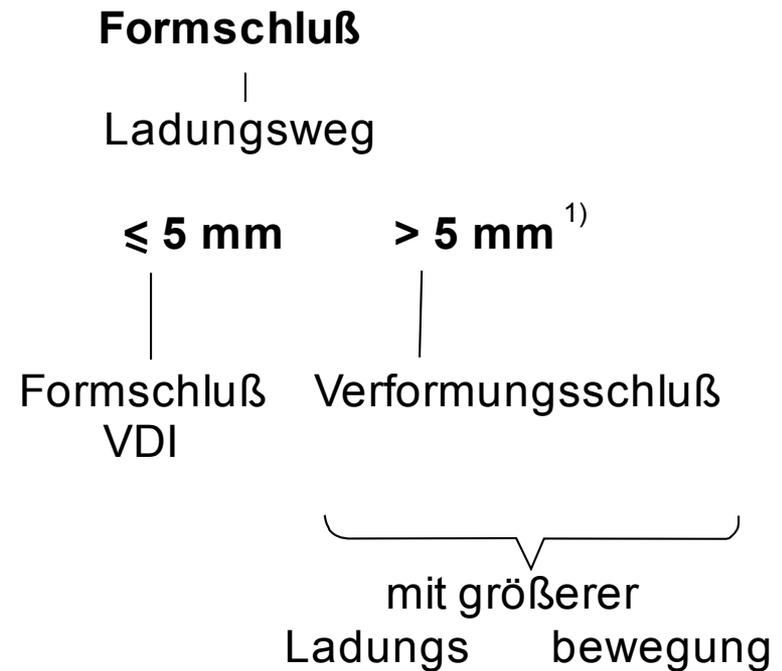
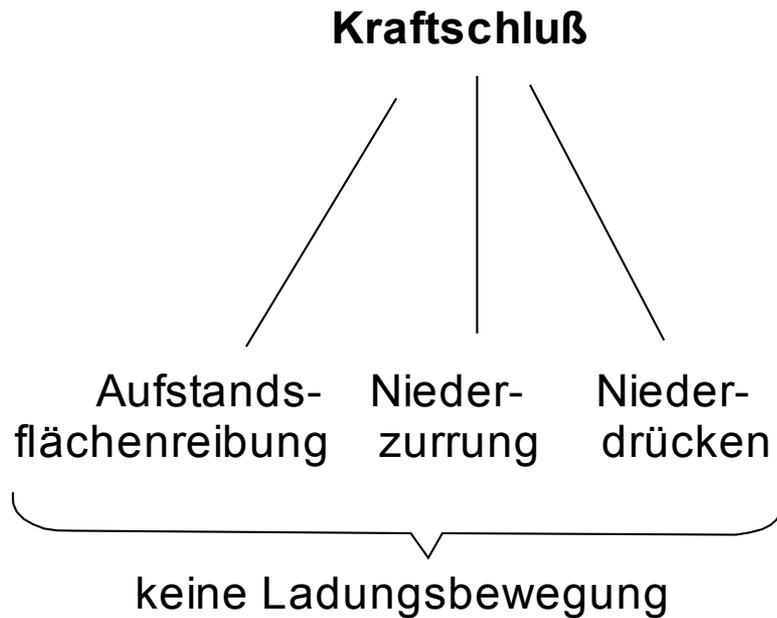
Wesentlich ist, daß zu Beginn der Ladungsbewegung die Haftreibung überwunden wird und in die Gleitreibung übergeht. Damit wird die Rückhaltewirkung stark verringert und muß von dem Zurrmittel zusätzlich aufgenommen werden. Die an der Ladung anliegende Beschleunigung a_{Diff} ist eine sogenannte Differenzbeschleunigung.



Die Dehnung eines Zurrmittels, es ist eine Federwirkung, soll als „Wirkmechanismus“ bezeichnet werden. Der Begriff stellt auf einen „wirkenden Mechanismus“ ab, also auf Mechanik.

Der Maschinenbau kennt in der Konstruktionslehre den Begriff „Wirkeffekte“. Hier wird nicht nur auf Mechanik abgestellt, sondern auf viele weitere Möglichkeiten. Als Beispiel kann die Wärmeausdehnung bei Werkstoffen genannt werden. Das Phänomen gehört physikalisch zur Wärmelehre, ist also nicht in der Mechanik angesiedelt.

Verformungsschluß



1) Konvention

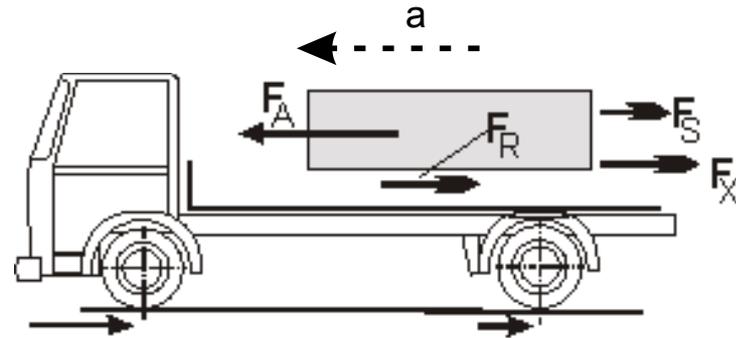
Da einige Sicherungsverfahren eine „geringe“ Eigenbewegung der Ladung voraussetzen, ist es notwendig die Systematik der VDI-Richtlinien zu ändern, bzw. zu erweitern. Dabei muß in den Begrifflichkeiten bei den Definitionen der Schlußtechniken angesetzt werden.

Die Begriffe Kraft- und Formschluß sind Begriffe des Maschinenbaus und werden in Konstruktionslehre festgelegt. Sie haben als Vorsetzung, daß Eigenbewegung in Ausmaße der „Hookeschen Geraden“ stattfinden dürfen. Damit ist die Werkstoffkunde und die Festigkeitslehre (Elastostatik) angesprochen, denn es handelt sich dabei um Materialdehnungen im Mikrometerbereich.

Daneben existiert nach die sog. Technische Mechanik als eine der wichtigsten Grundlagen des Maschinenbaus. Da bei Bauteilbewegungen im Bereich der „Hookeschen Geraden“ im Regelfall nur allergeringste Bewegungen vorkommen, werden diese als vernachlässigbar angesehen. Es kommt noch zu keinen relevanten Beschleunigungen mit einer zusätzlichen Kraft, der Masseträgheitskraft. Alle Berechnungen die auf dieser Basis beruhen, werden gleichsam als statischer Fall behandelt. Dieser Teil der Technischen Mechanik wird deshalb als Elastostatik bezeichnet in Abgrenzung zur Kinematik, hier muß dann die Masseträgheitskraft berücksichtigt werden.

Eine Abgrenzung zwischen einem Bewegungsfall und einem statischen Fall soll eine Ladungseigenbewegung von kleiner gleich 5 mm angenommen werden. Diese Festlegung ist eine Konvention und keine mechanisch vorgegebene Grenze. Die folgende Folie soll die Struktur und die Einflußgrenzen für die folgenden Ausführungen aufzeigen.

Sicherungsformel (bei Ladungsbewegungen größer als 5 mm)



F_A = Antriebskraft
 F_T (beim Bremsen)

Ladung wird beschleunigt!

Sicherungsformel bei Ladungsverschiebung von größer als 5 mm

$$F_S = F_A - F_R - F_X$$



Dieser Formel ist dann anzuwenden, wenn die Sicherungstechnik eine Ladungsbewegung erfordert, um eine Sicherungswirkung aufbauen zu können (Buchtflasching).

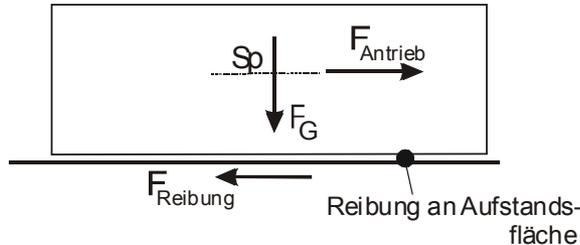
Sicherungsformel, Eigenbewegung der Ladung

Wirkmechanismen der Ladungssicherung

Wirkmechanismus
(Mechanik)

“Schlußtechnik”
(Maschinenbau)

Reibung,
Reibungs-
erhöhung

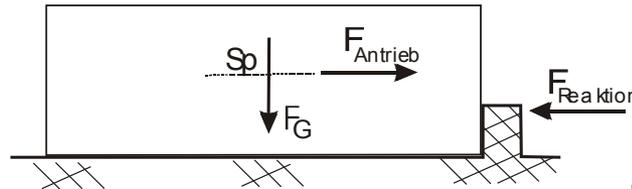


Kraftschluß

(Reibungsschluß
Aufstandsfläche aus
Gewicht mit oder ohne
zusätzliche Anpressung)

keine
Eigen-
bewegung
der
Ladung

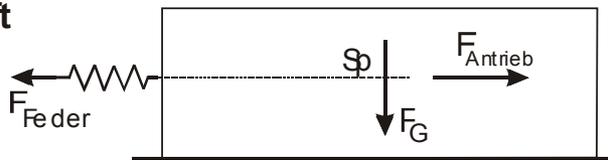
“Blocken”
Fall der Statik,
nicht der
Kinematik



Formschluß

▼
Richtlinienbegriffe

Federkraft
Kinematik



Verformungs-
schluß

mit
Eigen-
bewegung

Sonstige

Reibungserhöhung
Blocken
Federkraft

Kraftschluß
Formschluß
Verformungsschluß

Sicherungsverfahren im Vergleich

	ist	formschlüssig		kraftschlüssig		(verformungschlüssig)
		VDI	TM	VDI	TM	
• Blocken	nach	X	X			TM X
• Schrägstellen				X	X	
• Niederzurren				X	X	mit TM möglich
• Niederdrücken				(nicht behandelt)	X	
• Direktzurren	[1]	X	X			X
Horizontalzurren			X			X
Schrägzurren		X	X			X
Diagonalzurren		X	X			X
Umreifungszurrung		X	X			X
Kopfschlingenzurren		X	X			X

↓

} größer
5 mm
Weg

TM nach der Technischen Mechanik
[1] Einteilung nach DIN EN 12 195

11 Äußere Kraft an der Ladung

(im Straßenbetrieb)

Inhalt

- **Einführung**
- **Kräfte**
- **Bremsen**
 - Konstant-, Stoßanregung**
- **Kräfte**
 - längs - quer - vertikal**
- **Kräfte in der Kurve**
- **Überlagerung von Kräften**
 - Bremsen mit Ausweichmanöver**

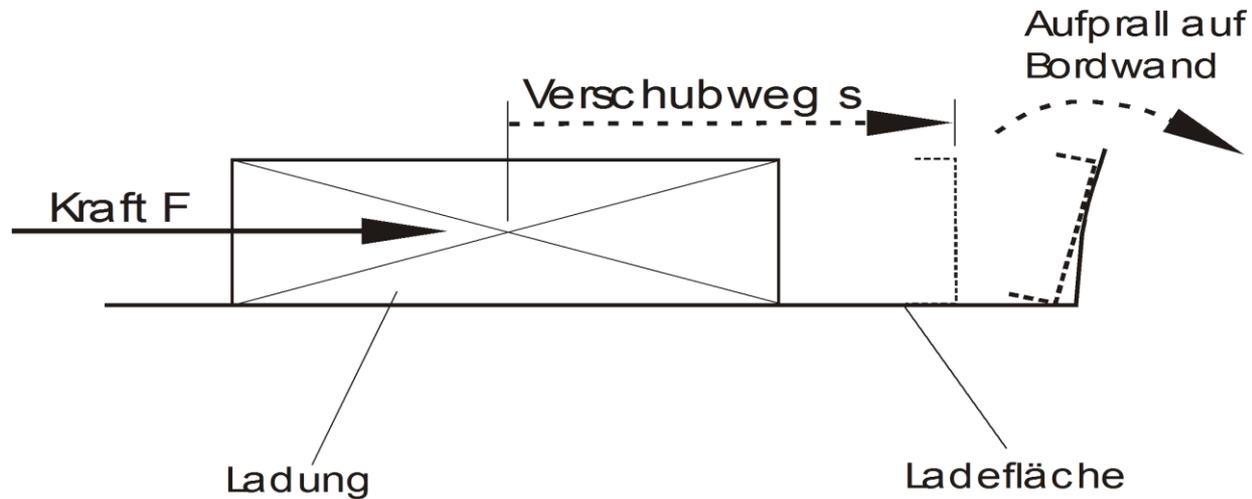
Einführung

$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}_B$$

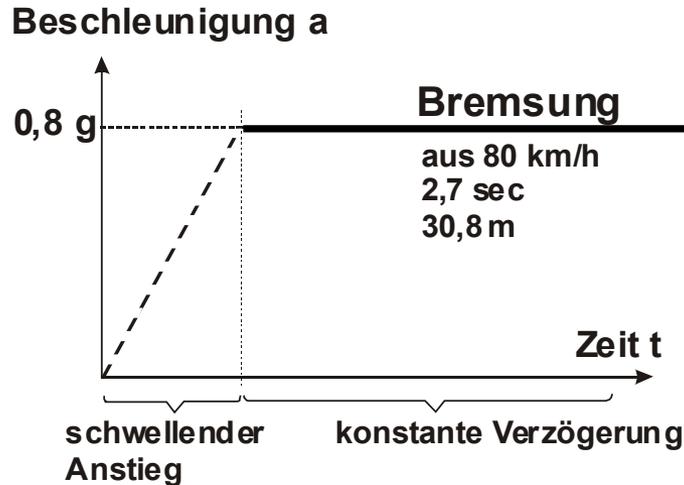
$$\mathbf{F} = m(t) \cdot \mathbf{a}(t)$$

Kräfte sind Ursache von

Bewegungen und Deformationen.



Kraftcharakteristiken in der Ladungssicherung

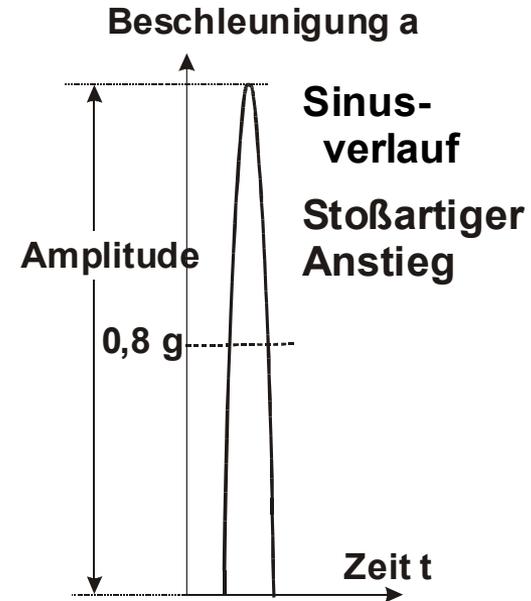


konstante Beschleunigung/Verzögerung

= „Konstantantrieb“

aus einer konstanten Kraft, z. B. bei Fahrzeugverzögerung mit $8\text{ m/sec}^2 = 0,8\text{ g}$

g-Wert nach VDI 2700 entspricht einer Konstantanregung

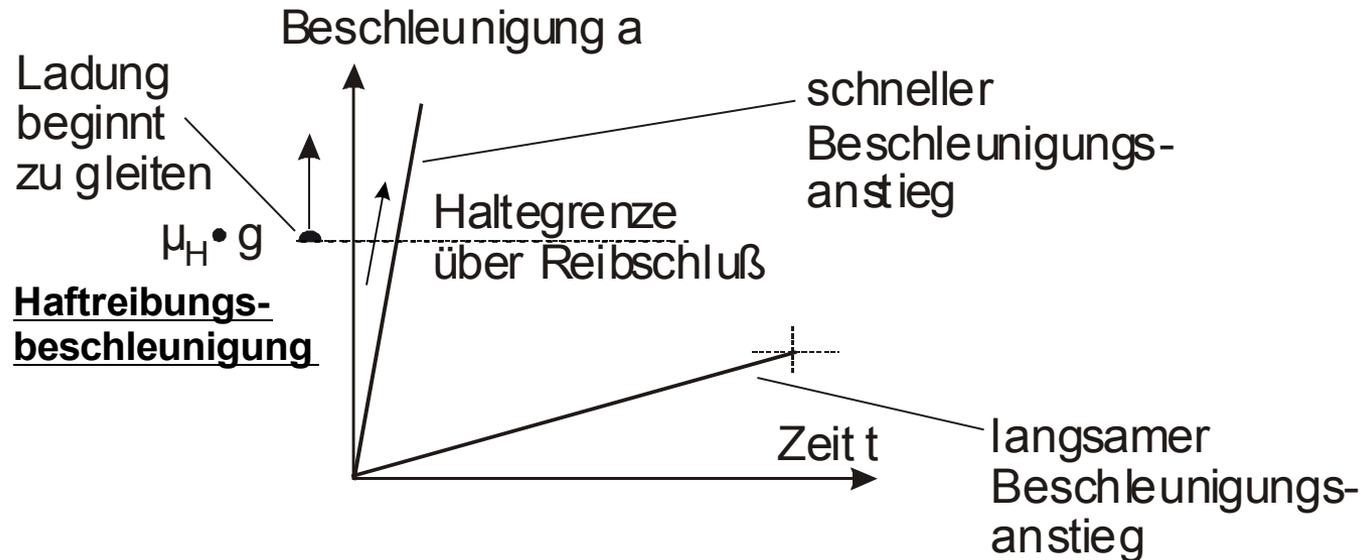


stoßartige Beschleunigung

= „Stoßantrieb“

am Fahrzeug z. B. aus Fahrbahnhindernis

Lösebeginn für Gleitbewegung

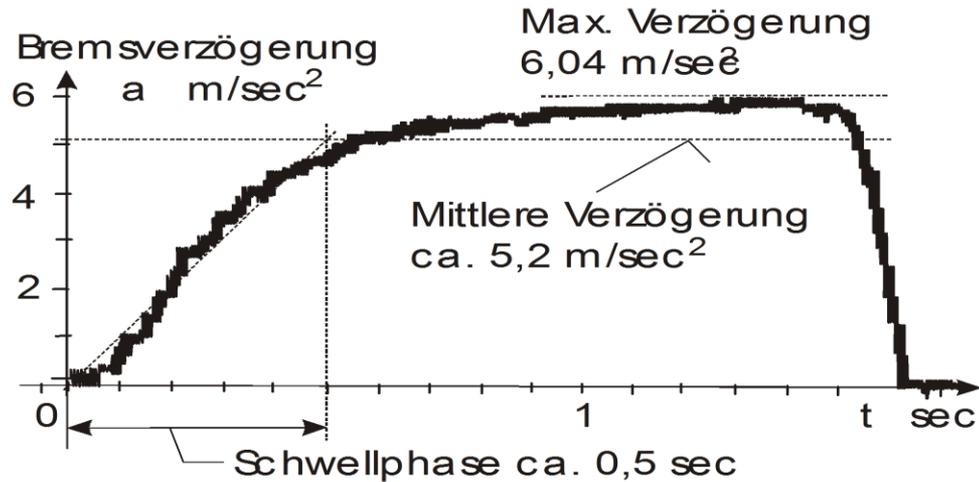


Wird die Beschleunigung $a_B = \mu_H \cdot g$ (Haftreibungsverzögerung) überschritten, beginnt die Ladung zu gleiten.

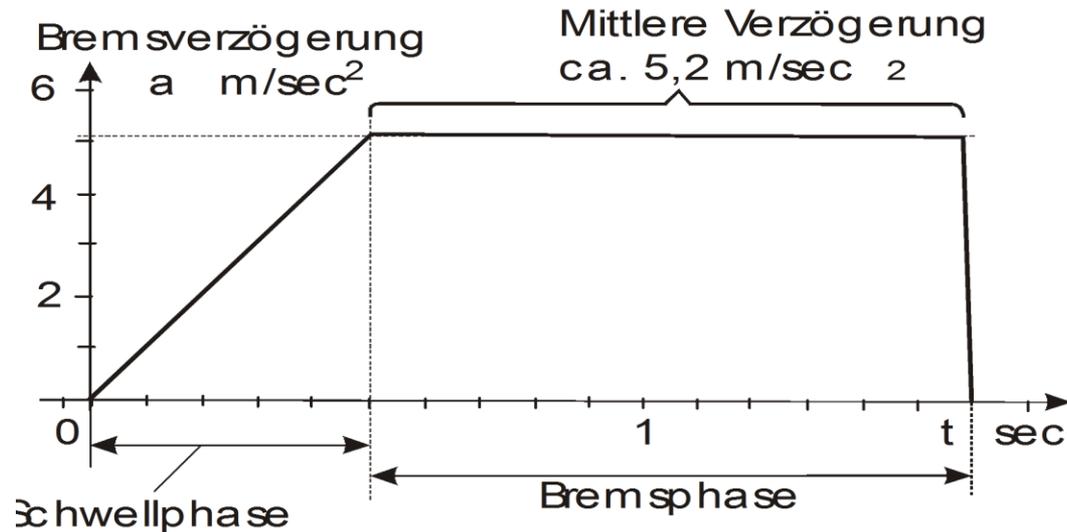
Bremsen

Beispiel für
Konstantantrieb
bei einer
LKW-Bremung

Realer Verlauf



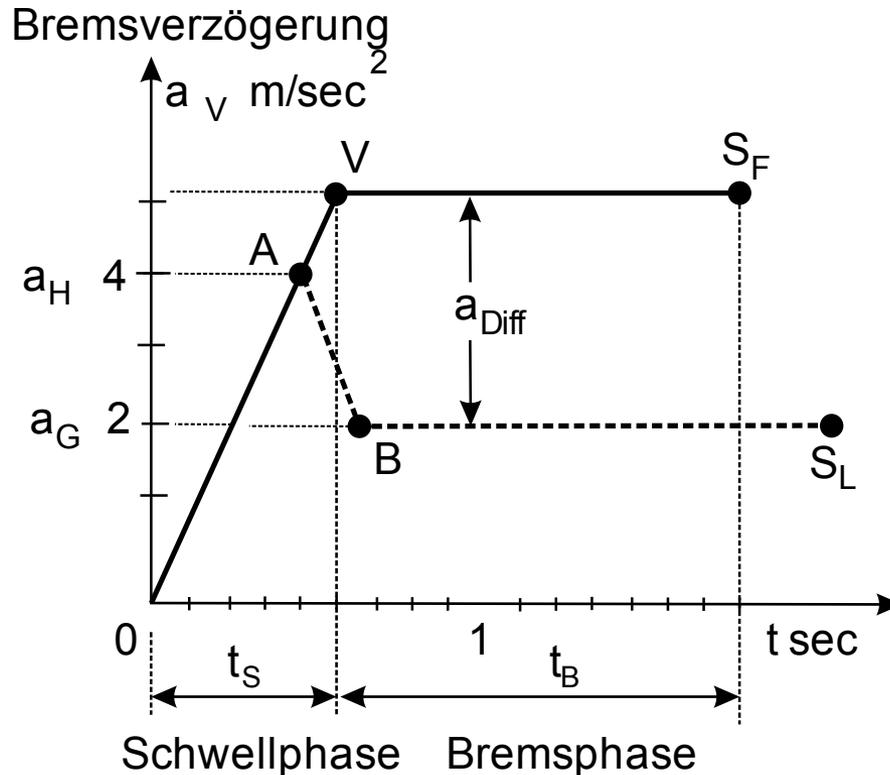
Idealisierter Verlauf



„Bremsdiagramm“ [4]

(Idealisierung)
abgeleitet aus
obigem Meßschrieb

Haftreibungs- und Gleitreibungsverzögerung



- a_H Haftreibungs-
verzögerung $g \mu_H$
- a_G Gleitreibungs-
verzögerung $g \mu_G$
- a_{Diff} Differenzverzögerung
- S_F Stillstand Fahrzeug
- S_L Stillstand Ladung

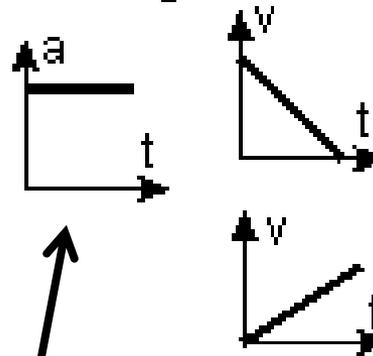
Da die Verzögerungen, aus denen die Differenzverzögerung errechnet wird, konstant sind, ist die Differenzverzögerung in ihrem Verlauf von B an ebenso zeitlich konstant! Für eine gleitende Ladung lassen sich damit wichtige Größen errechnen, wie z. B. die Aufschlaggeschwindigkeit nach einem Weg s_x .

Differenzbeschleunigung bei Konstantantrieb

Berechnungsformeln [5]

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{1}{2} a \cdot t^2 &= \frac{v^2}{2a} &= \frac{v}{2} t \\
 v &= a \cdot t &= \sqrt{2 a s} &= \frac{2 s}{t} \\
 t &= \frac{v}{a} &= \frac{2 s}{v} &= \frac{2 s}{a} \\
 a &= \frac{v}{t} &= \frac{v^2}{2 s} &= \frac{2 s}{t^2}
 \end{aligned}$$

Geltungsbereich

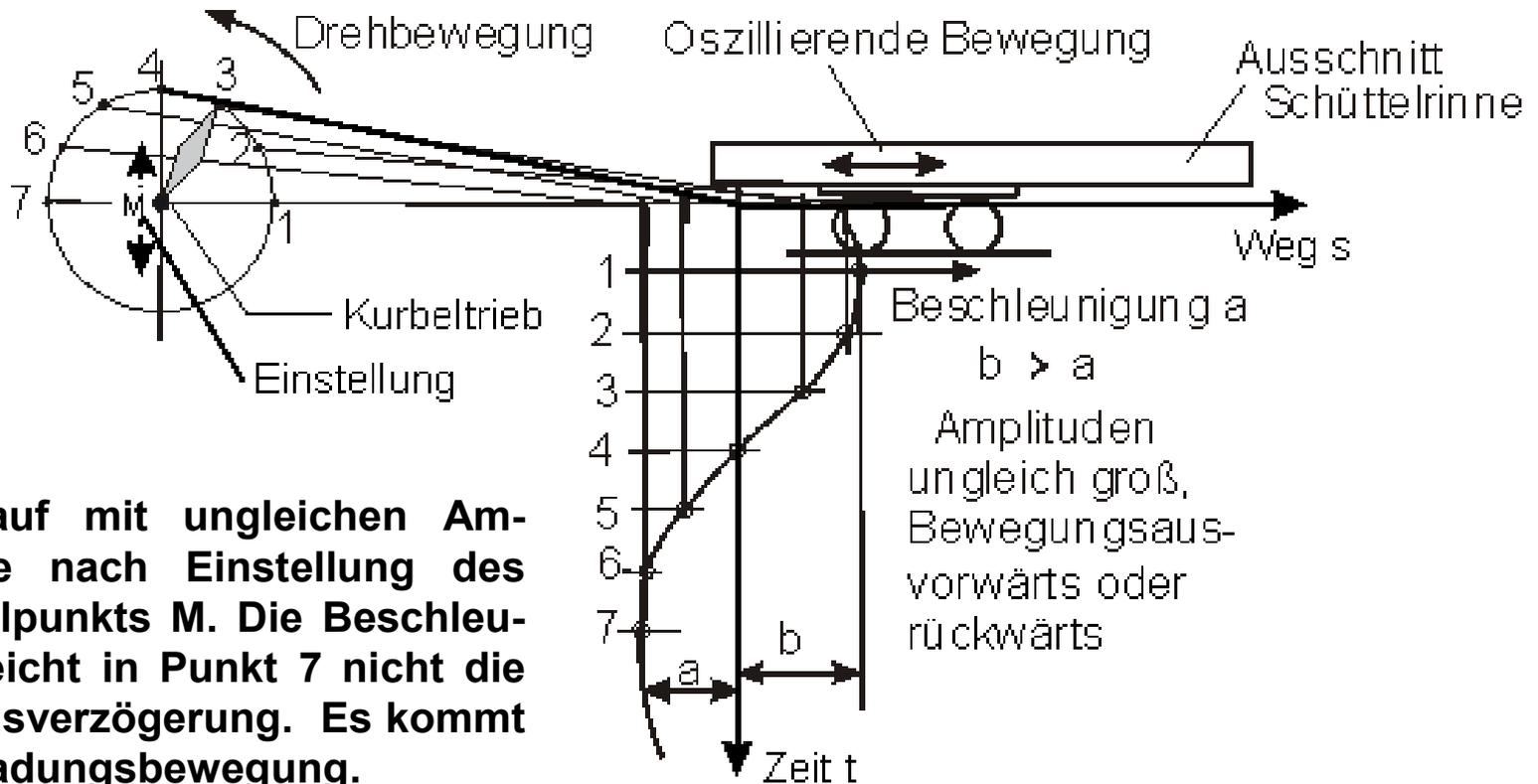


Verzögerungs-
Verlauf!
Geschwindigkeits-
Verlauf!
s Weg
t Zeit
v Geschwindigkeit
a Beschleunigung

Die obigen Formeln dürfen nur benutzt werden, wenn ein über der Zeit konstante Verzögerung vorliegt!

Die Differenzbeschleunigung ist die Beschleunigung, die direkt an der Ladung anliegt. Sie wird bei kleiner Gleitreibungszahl größer werden!

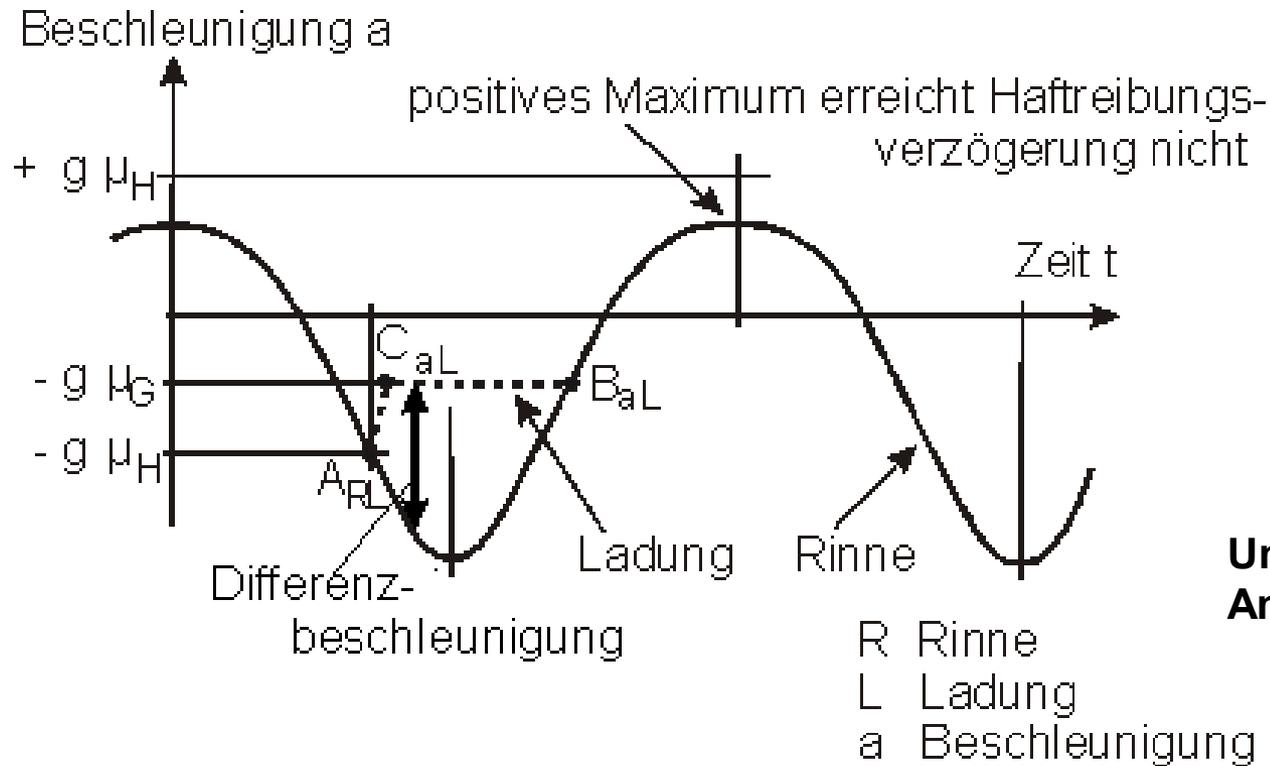
Mechanik der Schüttelrutsche (Lösebeginn bei Stoßantrieb)



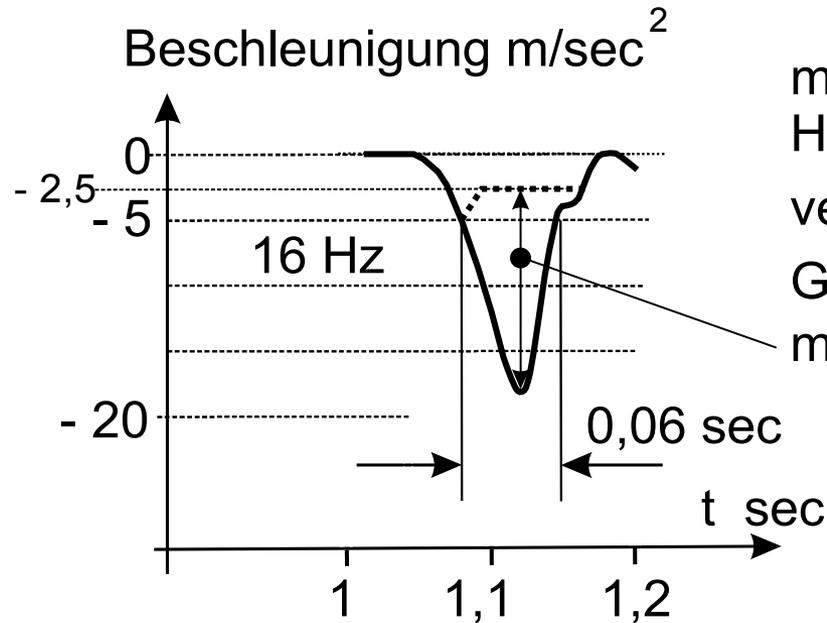
Kurvenverlauf mit ungleichen Amplituden, je nach Einstellung des Kurbelmittelpunkts M . Die Beschleunigung erreicht in Punkt 7 nicht die Haftreibungsverzögerung. Es kommt zu keiner Ladungsbewegung.

[1], [2], [3]

Differenzbeschleunigung Stoßantrieb I



Differenzbeschleunigung bei Stoßantrieb II



maximale
Haftreibungs-

verzögerung 5 m/sec^2

Gleitreibungsverzögerung $2,5 \text{ m/sec}^2$

maximale Differenzverzögerung

Stoß am Puffer

Auflaufversuche der DB 2001

Auflaufgeschwindigkeit 3,3 km/h

Betonklotz 15 t in Container

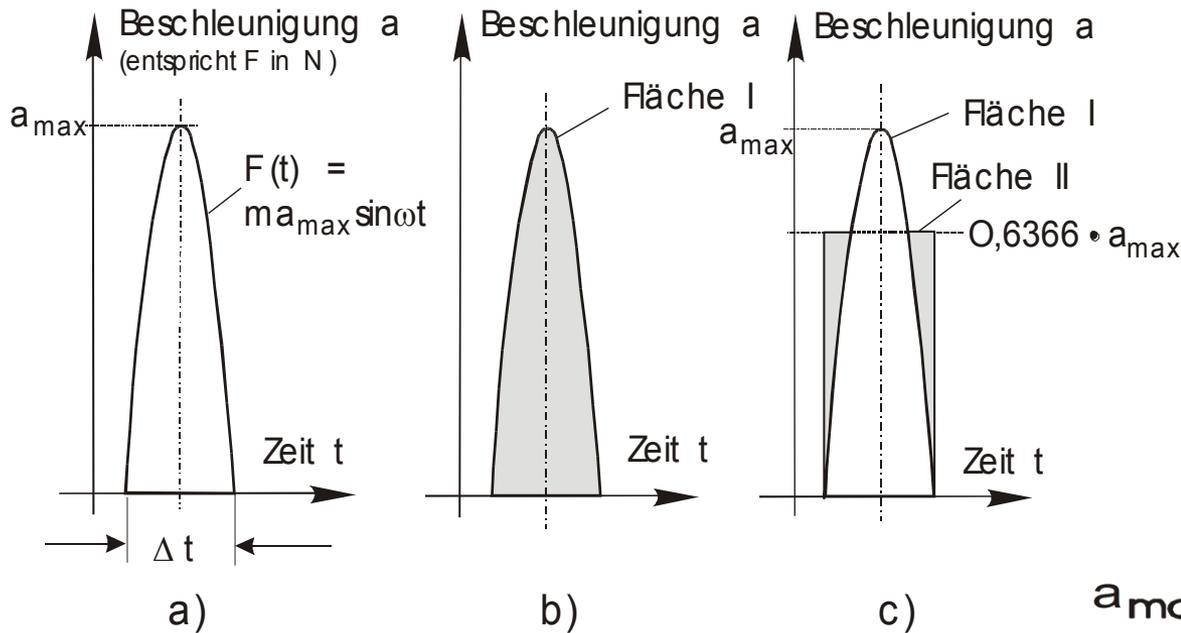
Gleitweg x mm

Bahnbericht 53 002

Anlage 3

Blatt 45

Umrechnung Stoßantriebs auf Konstantantrieb



$$V_{\square} = V_{\cup}$$

.....

$$\Delta s = \frac{a_{\max}^2}{8 \pi^2 f^2 g \mu_{\text{gleit}}}$$

$$a_{\max} \cdot \frac{2}{\pi} = a_{\text{Kon}}$$

$$0,6366 \cdot a_{\max} = a_{\text{Kon}}$$

$$a_{\max} = 1,57 \cdot a_{\text{Kon}}$$

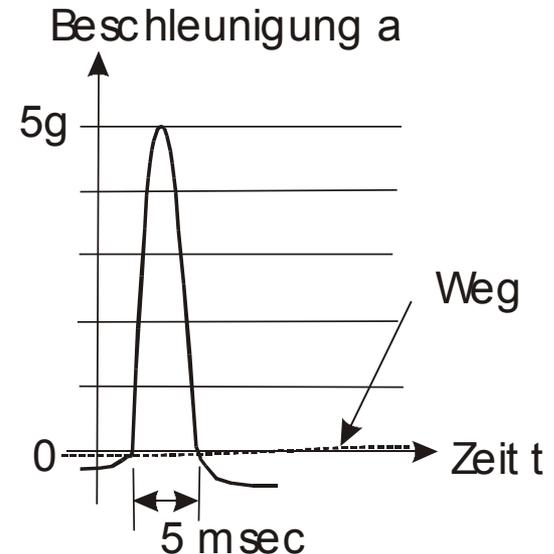
Berechnungsbeispiel Stoßantriebswirkung

$$\Delta s = \frac{a_{\max}^2}{8 \pi^2 f^2 g \mu_{\text{gleit}}}$$

Maximale Amplitude a_{\max} 5 g
 Frequenz f 5 1/sec
 Bewegungsweg Ladung s 1 mm (gemessen)
 Annahme: Reibungszahl μ 0,3
 Auslösung im Maximum der Beschleunigung

$$\Delta s = \frac{(5g)^2}{8 \cdot 9,869 \cdot 100^2 \cdot 9,81 \cdot 03}$$

$$\Delta s = 1 \text{ mm} \longrightarrow$$



Messung: nach [7]:
 Nach 1 mm Weg war Ladung im Gleitreibungszustand!
 Vorgehen: Bis 5 mm Weg soll Haftreibung vorliegen! Statische Berechnung!

Einzelkräfte im Fahrbetrieb

Längskräfte (Längsdynamik)

- 1. Brems- und Beschleunigungskräfte**
- 2. Längskräfte beim Überfahren eines beidseitigen Hindernisses**
- 3. Absacken der Bremsverzögerung, weil die Räder plötzlich auf nasser Fahrbahn blockieren**
- 4. Längsruck beim Schalten eines Gangs**
- 5. Auflaufen eines Anhängers beim Bremsen eines Zuges**
- 6. . . .**

Einzelkräfte im Fahrbetrieb

Querkräfte (Querdynamik)

1. Kurvenfahrt
 - Kurveneinlauf
 - Kurvenfahrt mit (mit nicht) konstantem Radius
 - Kurvenfahrt mit (mit nicht) konstanter Geschwindigkeit
 - Aus- oder Einscherbogen bei Spurwechselmanöver
 - Ausschermanöver/Spurwechsel
2. Überfahren eines einseitigen Hindernisses (Verkehrsinsel)
3. Seitliches Anfahren an einen Bürgersteig
 - mit der Felge
 - mit dem Reifen
4. Einknicken eines Zuges beim Bremsen
5. Dynamische Kräfte aus Seitenwind auf den Aufbau
6. Seitenkräfte aus einem Aufbauwanken
7. Sich seitwärts bewegende Ladung
8. Seitenkräfte aus dem Gieren eines Fahrzeugs
9. Seitenwind
10. . . .

Einzelkräfte im Fahrbetrieb

Vertikalkräfte (Vertikaldynamik)

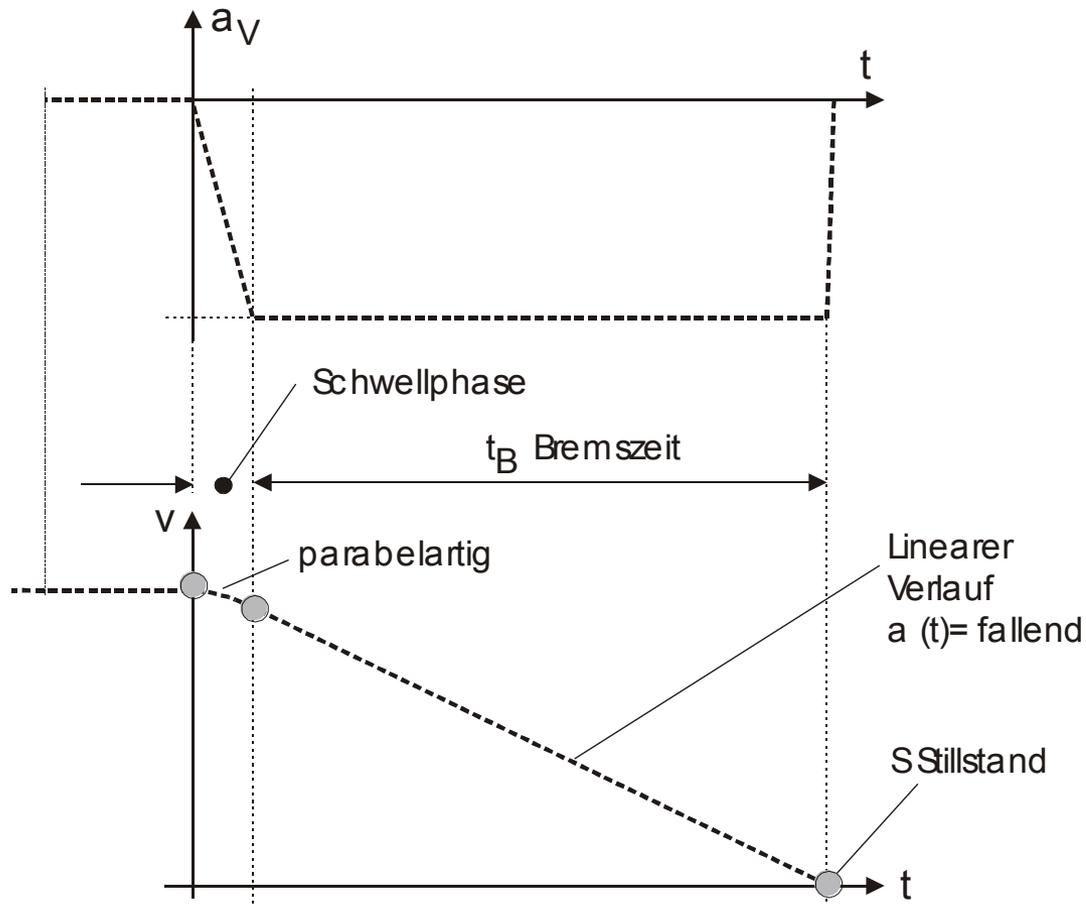
- 1. Gewichtskraft**
- 2. Aus- und Einfederungskraft**
- 3. Vertikale Anteile aus einem Aufbauwanken**
- 4. Vertikale Anteile aus einem Aufbaunicken**
- 5. Vertikale Fliehkraft (!)**
- 6. . . .**

Kräfteüberlagerungen

1. **Zwei Einzelkräfte in Längsrichtung
Bremsung über beidseitiges Hindernis**
...
2. **Zwei Einzelkräfte in Querrichtung
Kurvenfahrt über einseitiges Hindernis**
...
3. **Zwei Einzelkräfte in Längs- und Querrichtung
Bremsung bei Kurvenfahrt**
...
4. **Zwei Einzelkräfte in Längs- und Vertikalrichtung
Bremsen über Hindernis**
...

Kräfteüberlagerungen kennen die VDI-Richtlinien nicht!

Überlagerungsfall Bremsen bei Kurvenfahrt

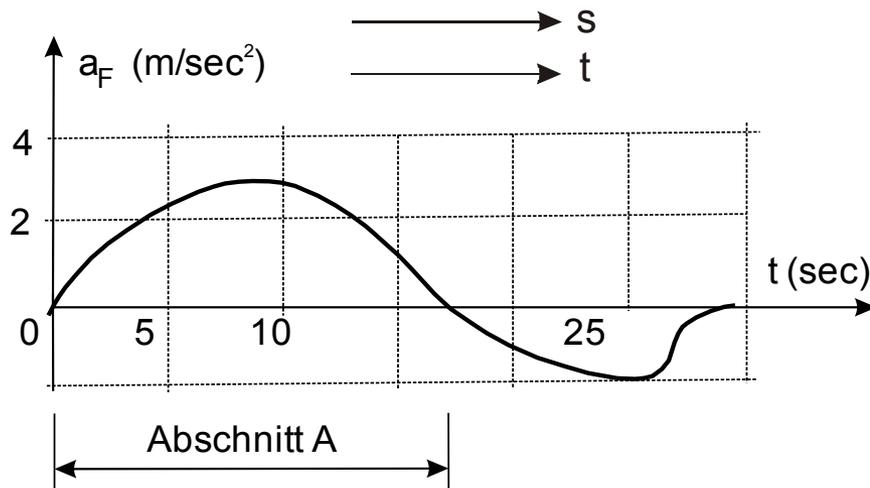
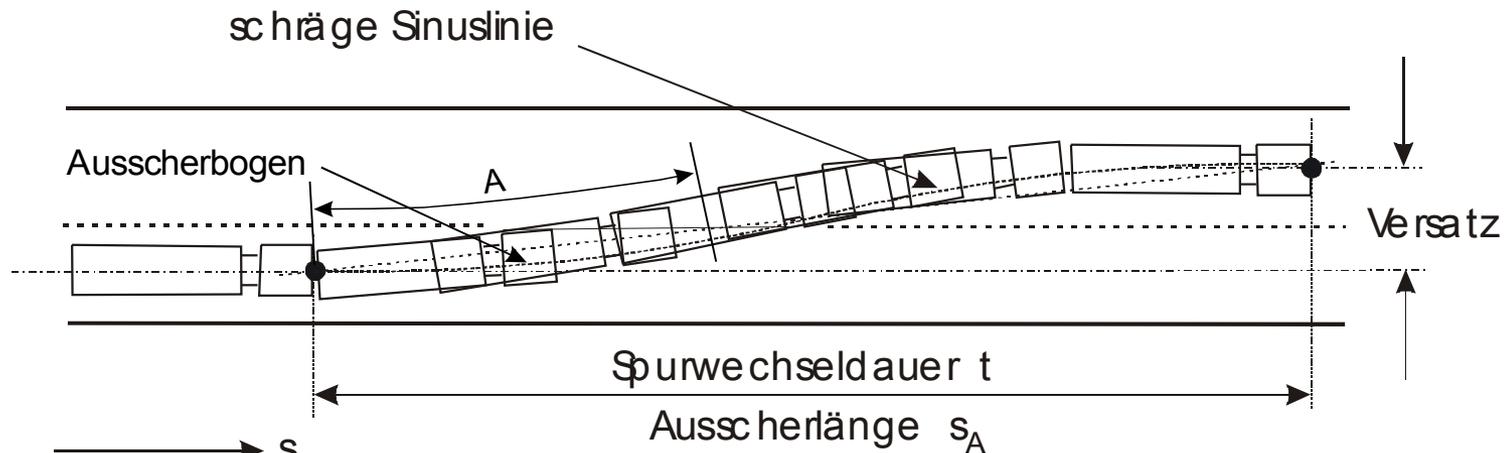


a-Verlauf Bremsen

Annahme

Geschwindigkeitsverlauf Bremsung

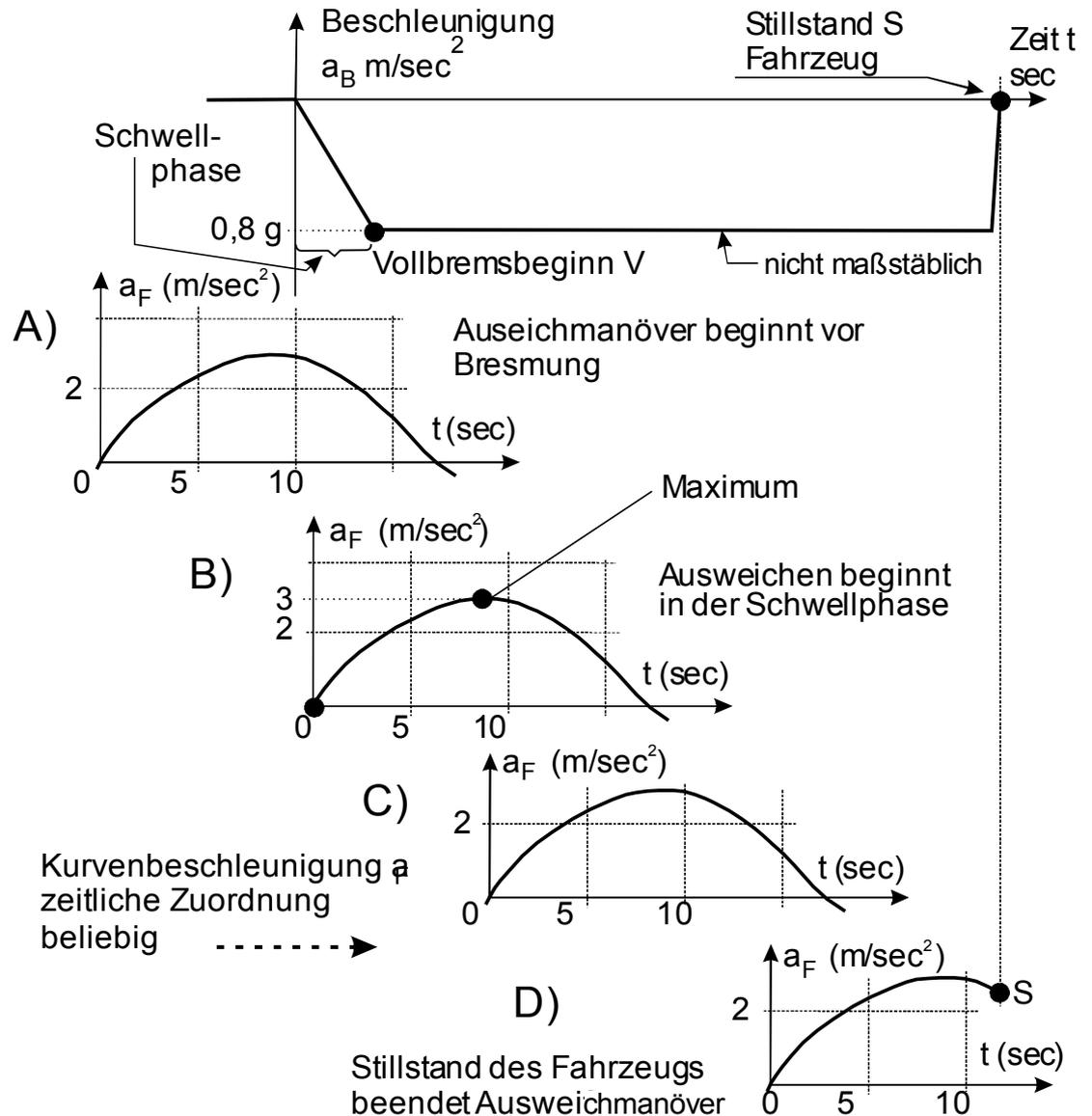
Kurvenfliehkraft mit Bremsung Ausweichmanöver



**Annahme für Berechnung
Fliehkraft bei Ausweichmanöver.**

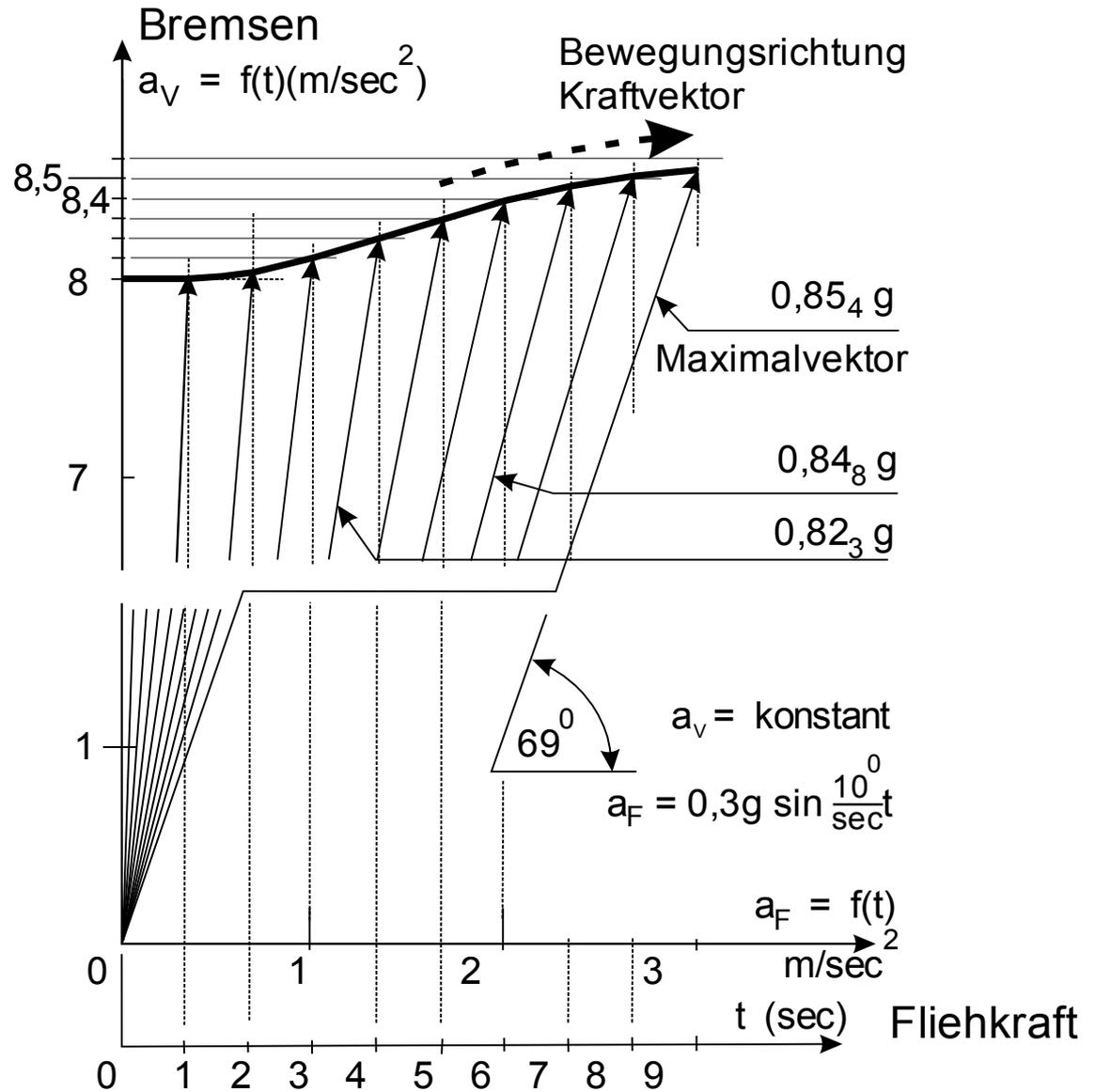
Überlagerung - Fälle

**Bremswerte und
Beschleunigung
im Ausweichbogen
Abschnitt A
angenommen**

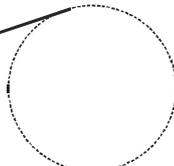
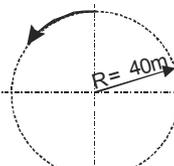
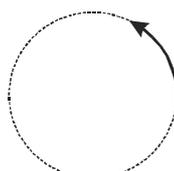
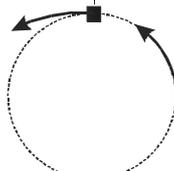
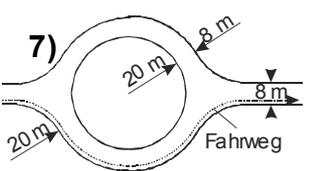
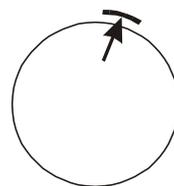


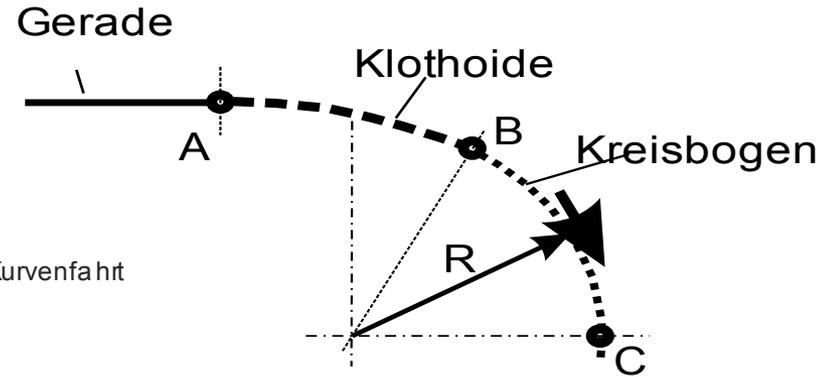
Resultierende Kräfte und Wirkrichtungen im Ausscherbogen

im Ausscherbogen



Kreisfahrvarianten

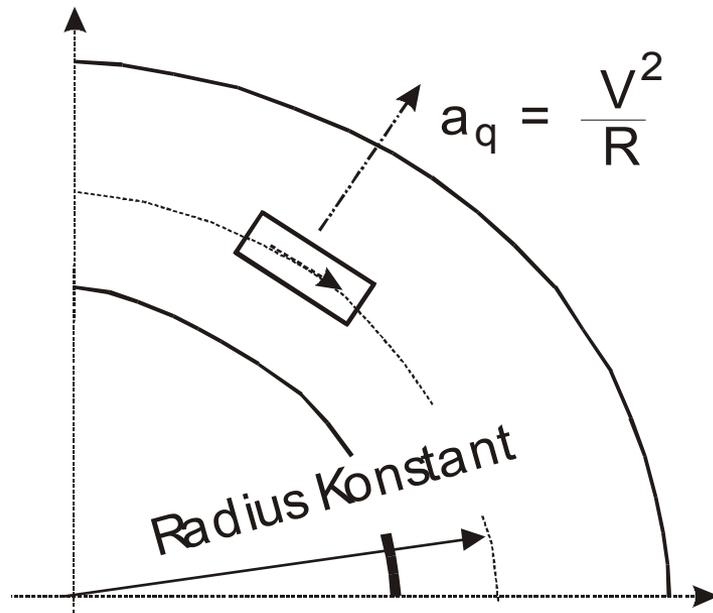
- 1)  Bremsen aus stationärer Kreisfahrt
- 2)  Stationäre Kurvenfahrt
- 3)  Sprungartiger Lenkeinschlag
- 4)  Kreisfahrt über Hindernis
- 5)  Spurwechsel
6) Sinusförmiger Lenkeinschlag
- 7)  Kreisfahrversuch
8) Roundabouttest
- 9)  Kreisfahrt mit seitlichem Anstoßen



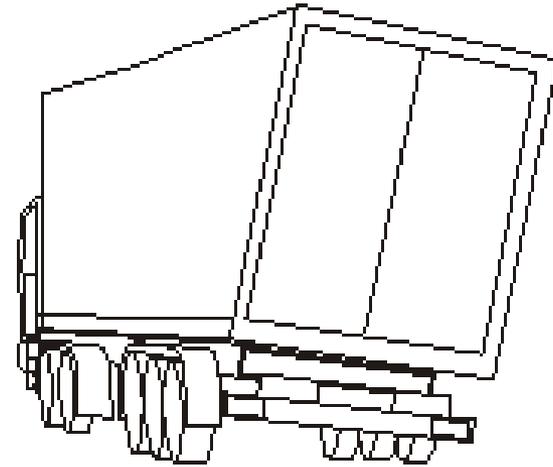
Kurveneinlauf

[6]

Kurvenfahrt



Berechnung Kurvenfliehkraft

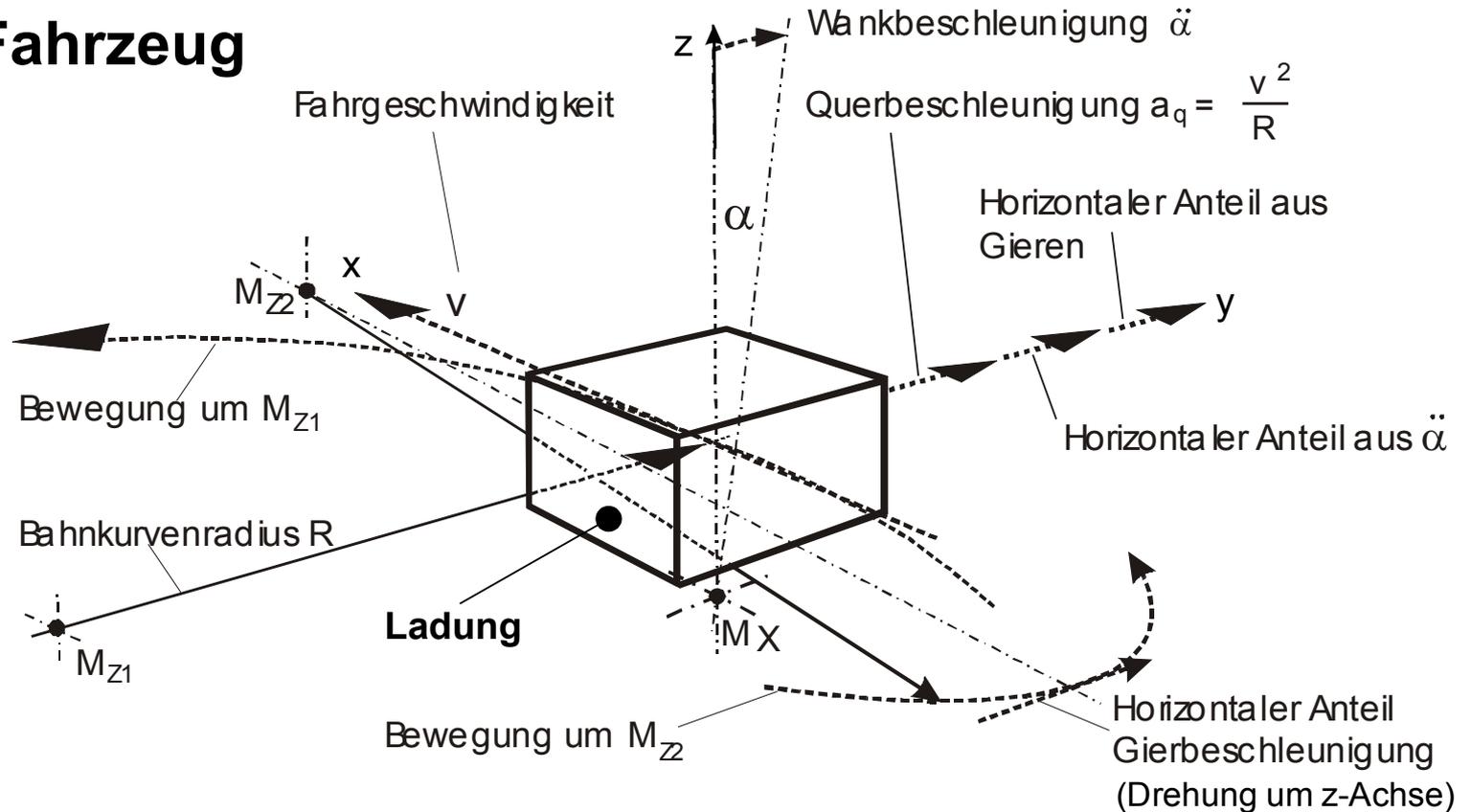


Das Wankproblem große Winkel im Heck!

Aufliegerleichtbau – bis zu 14 Grad Wankneigung im Heck!

**Andere Einflüsse auf die Fliehkraft werden vernachlässigt.
(Folie 327)**

Fliehkraft am Fahrzeug



Deutlich werden soll, daß die Kurvenfliehkraft sich aus drei Komponenten zusammensetzen kann.

Das Kurvenradiusproblem

Resultierende Querschleunigung a aus

Seitenbeschleunigung $a_q = \frac{v^2}{R}$



Radius am Auflieger
in der Kurve unterschiedlich
Seite 26
BOKraft - Kreis

+ Gierbeschleunigung a_{qG}

+ Wankbeschleunigung mit und ohne
Eigenlenkung a_{qW}

Aus Folie 26 ist erkennbar, daß die Tangentialgeschwindigkeit je nach Radius sich ändert. Es kann aber auch ein Lastwechsel während der Kurvenfahrt stattfinden, wenn der Fahrer „Gas“ wegnimmt!

Kurvenfliehkraft eines überlangen Zuges

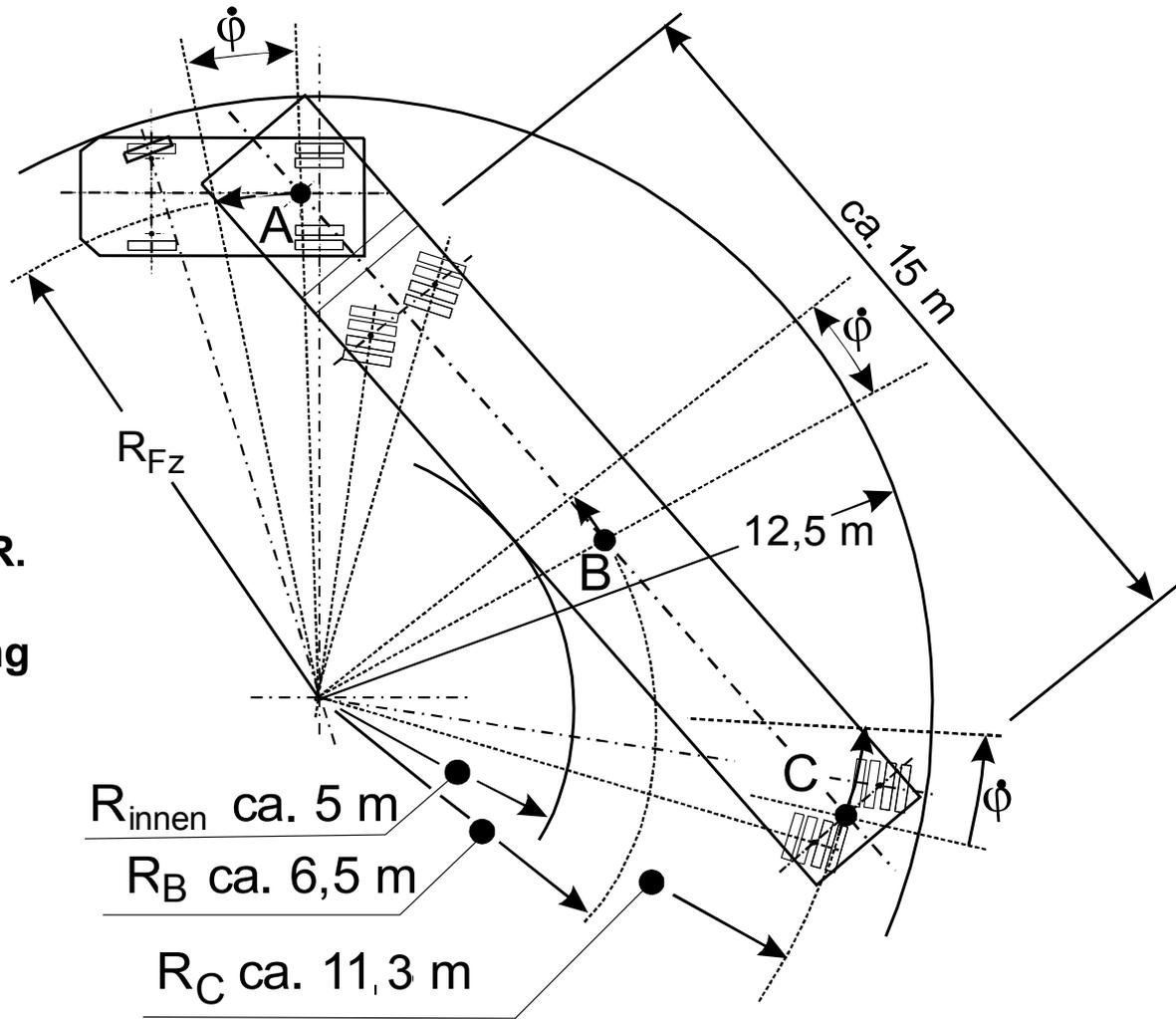
Für eine Kreisfahrt gilt: die Winkelgeschwindigkeit bleibt gleich!

Die Tangentialgeschwindigkeit ist eine Funktion des Kurvenradius R.

Damit ist die Radialbeschleunigung wechselnd, je nach Radius und Tangentialgeschwindigkeit.

$$a_{\text{quer}} = \frac{v_{\text{tangential}}^2}{R}$$

$$v_{A,\text{tangential}} = R_A \cdot \dot{\phi} \quad \text{aus A} \\ \text{für B und C}$$



Radiuseinfluß

Annahmen: $v_{F_2} = 25 \text{ km/h}$

$$R_B = 6,5 \text{ m} \quad \dot{\varphi} = \frac{v_{\tan, F_2}}{R_{F_2}} = \frac{6,9 \text{ m}}{10 \text{ m sec}} = 0,69 \text{ sec}^{-1}$$

$$R_C = 11,3 \text{ m}$$

Für B: $a_{q,B} = \frac{4,485^2}{6,5} \text{ m/sec}^2 = 2,1 \text{ m/sec}^2$

Für C: $a_{q,C} = \frac{60,8}{11,3} \text{ m/sec}^2 = 5,34 \text{ m/sec}^2$

	R [m]	$v_{\tan j}$ [m/sec]	a_{qj} [m/sec ²]	
A	10	6,9	4,8	
B	6,5	4,5	2,1	←
C	11,3	7,8	5,34	←

Entscheidend für die Größe der Kurvenfliehkraft ist, an welcher Stelle des Aufliegers gemessen wird? In B werden sich die kleinsten Werte ergeben.

Dynamischer Kraftverlauf

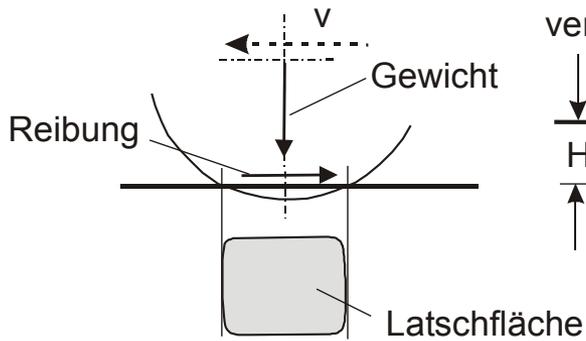
- **Kräfte durch Lenkvorgänge (Kurvenfahrt)**
Aufbauwanken + Gieren
- **Kräfte durch Bremsvorgänge über Fahrbahnhindernis**
- **Kräfte aus dem Rollen auf der Fahrbahn (Vertikalstöße)**

Federungsabfolge in Bezug auf den Aufbaurahmen

Stöße am Rad	Reifenfederung, dann Aufbaufederung
Stöße am Aufbau	Aufbaufederung, dann Reifenfederung

Kraft am Rad

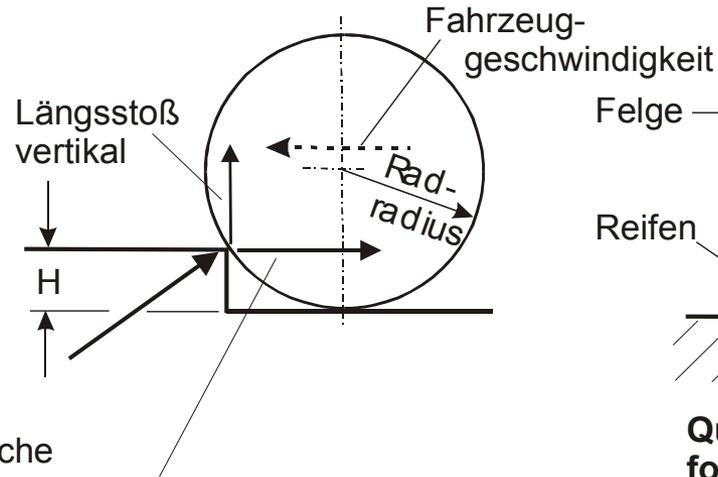
1. Bremsen



Umfangskraft horizontal
längs - quer
reibschlüssig

Konstantantrieb

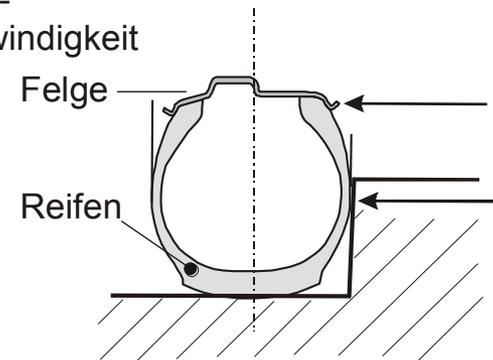
2. Fahrbahnhindernis



Längsstoß horizontal
formschlüssig, gefedert

Stoßantrieb

3. Seitliches Anfahren



Querstoß horizontal
formschlüssig, gefedert
Querstoß an Felge
formschlüssig, ungefedert

Stoßantrieb

Literatur

- [1] Spiwakowski, A. O., Djatschkow, W. K., Förderanlagen, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1959
- [2] Zebisch, H.-J., Fördertechnik 2, Vogel-Verlag, Würzburg, 1976, ISBN 3-8023-0058
- [3] Pfeifer, H., Grundlagen der Fördertechnik, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1983, ISBN 3-528-24061-X
- [4] Manfred Burckhardt, Fahrwerktechnik: Bremsdynamik und PKW-Bremsanlagen, Vogel Fachbuch, 1991
- [5] Burg, H., Rau, H., Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion, Verlag INFORMATION Ambis GmbH, 1981
- [6] Rompe, Klaus, Heißig, Bernd, Objektive Testverfahren für die Fahreigenschaften von Kraftfahrzeugen, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1984
- [7] Podzuweit, Ulrich, Forschungsvorhaben des deutschen Bundesverkehrsministeriums „Ermittlung der Transportbeanspruchungen zur Optimierung der Ladungssicherung in Containern“, Teil Straßentransport, 2001, BMV FE Nr. A.24/16.49.00 – 96473/97 – K

12 Ladungsbewegungen

Inhalt

- **Einführung**
- **Ladungsbewegungen**
- **Verschub/Versatz**
- **Bewegungsarten**
 - Rollen**
 - Gleiten**
 - Kippen**
- **Bewegungen - Fälle**
 - Auslösung**
 - Auslösung bei Längsstoß**
 - Übergang Haften – Gleiten**
 - Aufprall auf Stirnwand**
 - Durchschlag**
 - ...**

Ursache und Wirkung

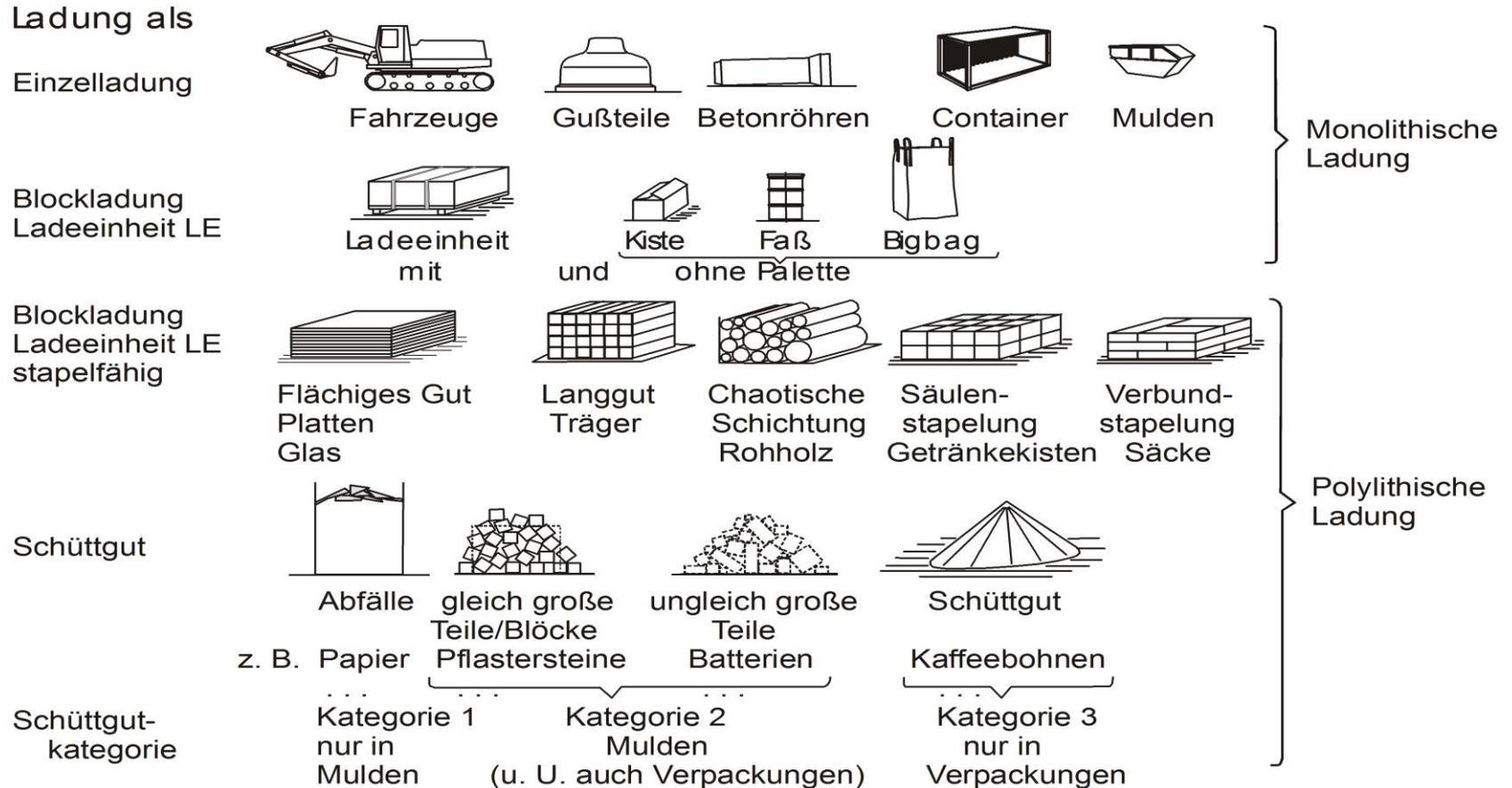
Einführung

Mechanik:

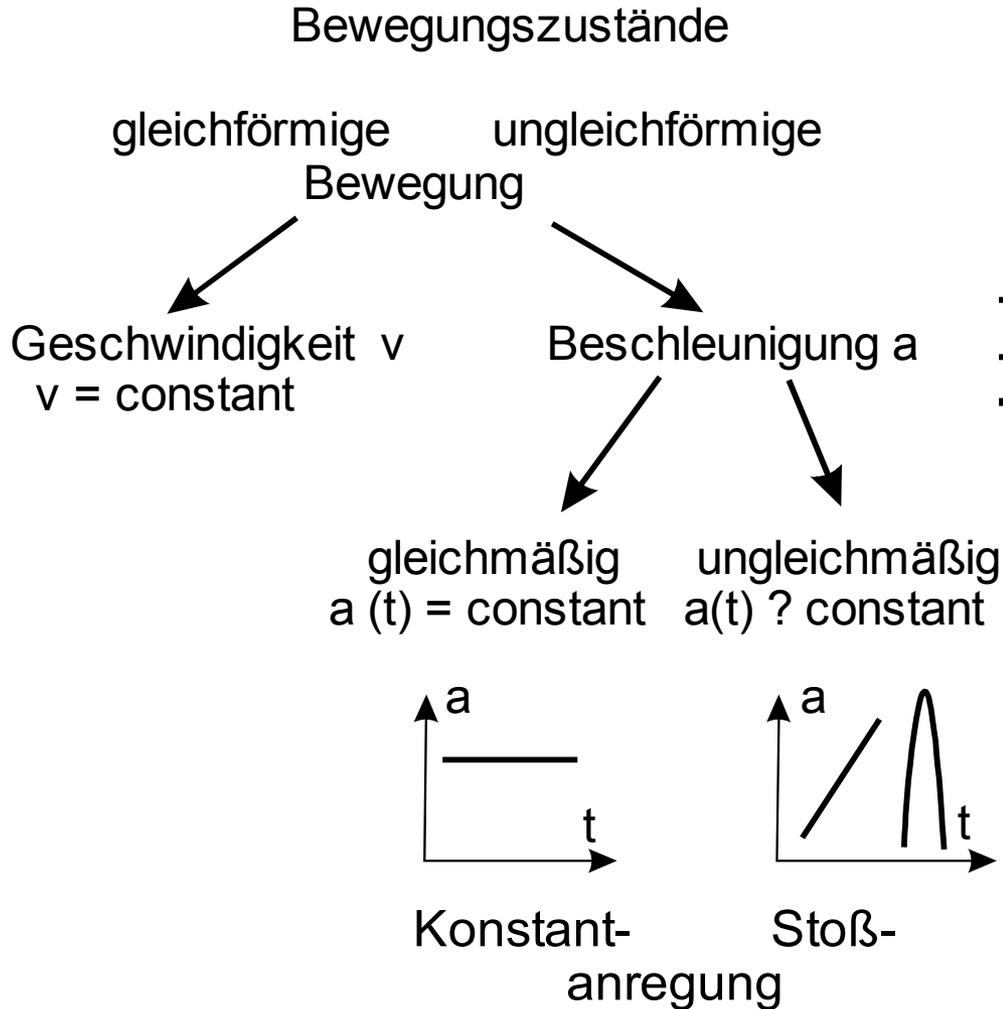
Auf Ursache	folgt	Wirkung	
Kraft wirkt auf Masse .		Masse wird beschleunigt oder deformiert.	} <u>Kräfte</u> Dynamik Kinematik <u>Weg, Geschwindigkeit Beschleunigung, Ruck</u>
Voraussetzung: Kraft ist ausreichend groß! Sonst keine Massebewegung			

Aufprallgeschwindigkeit folgt Beschleunigungsweg!

Ladungen, Übersicht



Bewegungszustände



Bewegungsgrößen:

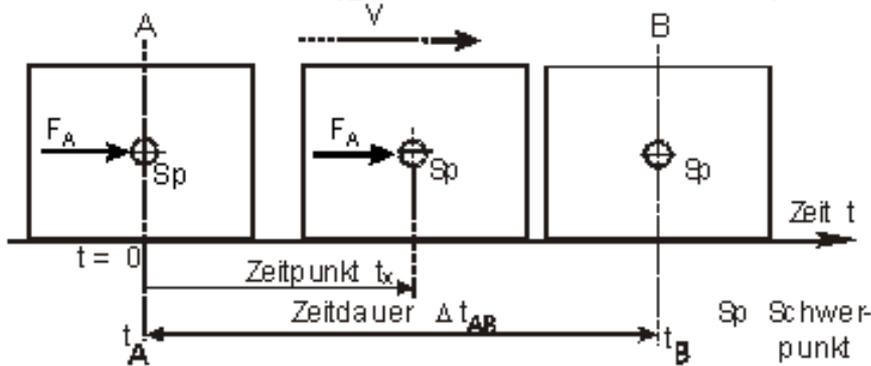
→	Weg	s	m
→	Geschwindigkeit	v	m/s
→	Beschleunigung	a	m/sec²

**Bei einer starren Masse
entspricht eine
Beschleunigung
einer Kraft!**

$$F = m \cdot a$$

Ladungsbewegung mit und ohne Verformung

Starre Masse (gleiten von A nach B)



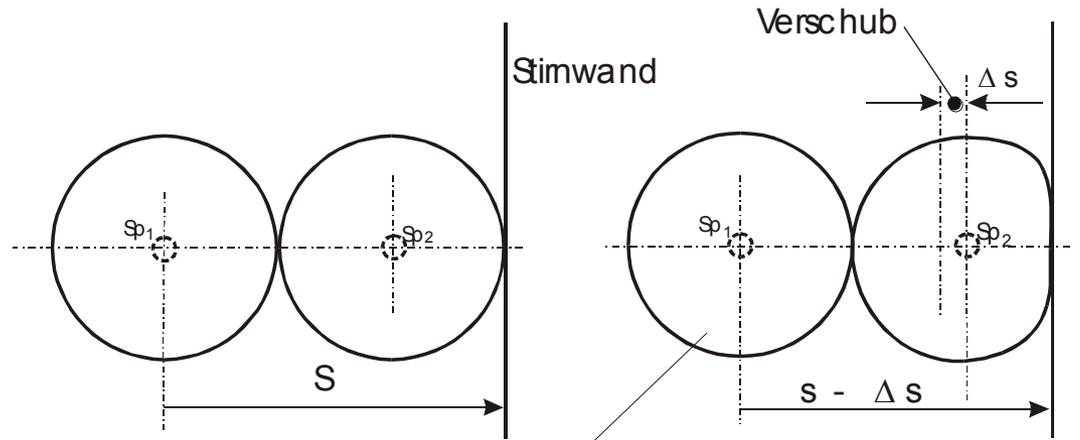
Lageänderung Vershub
(gleiten, ebenso
rollen und kippen)

Elastische Masse



Lageänderung Versatz
elastische/plastische Masse

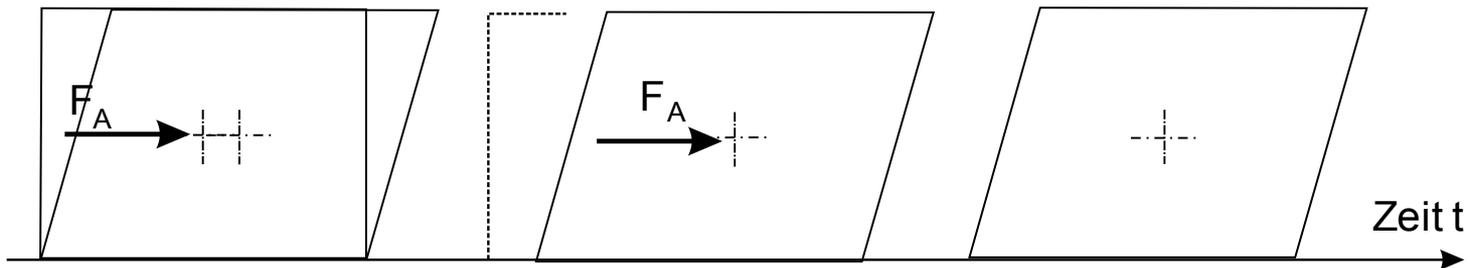
Ladungsbewegung bleibende Deformation



Faß 1 (macht Versatz in Bezug zum Fahrzeug)

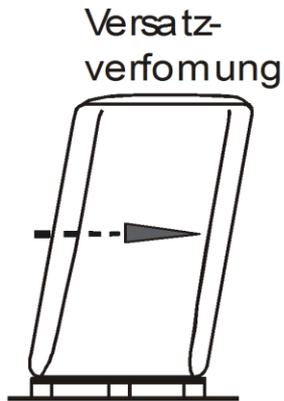
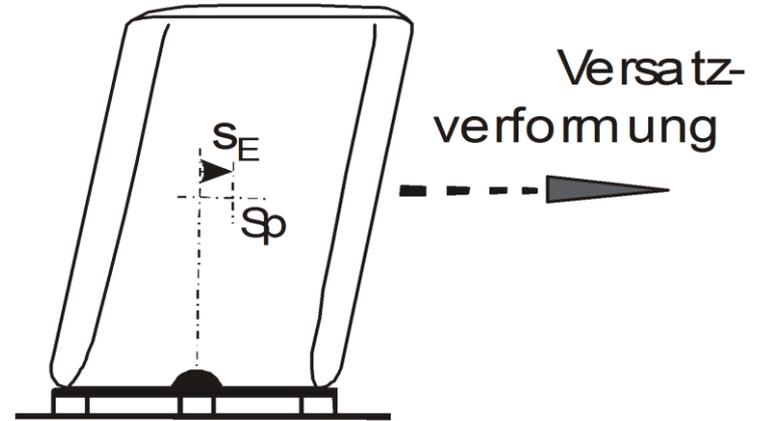
plastische Masse
A

B

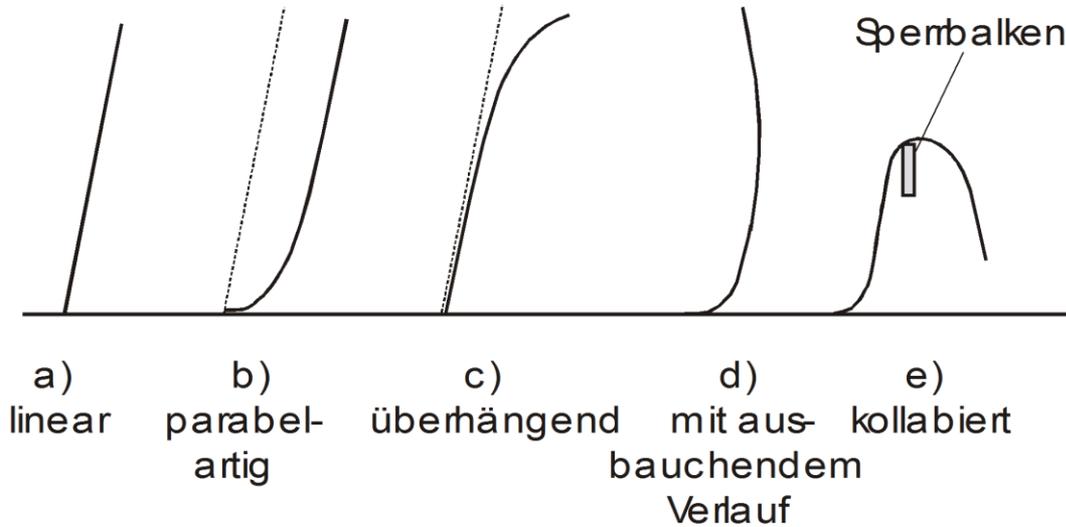


Versatzverformung

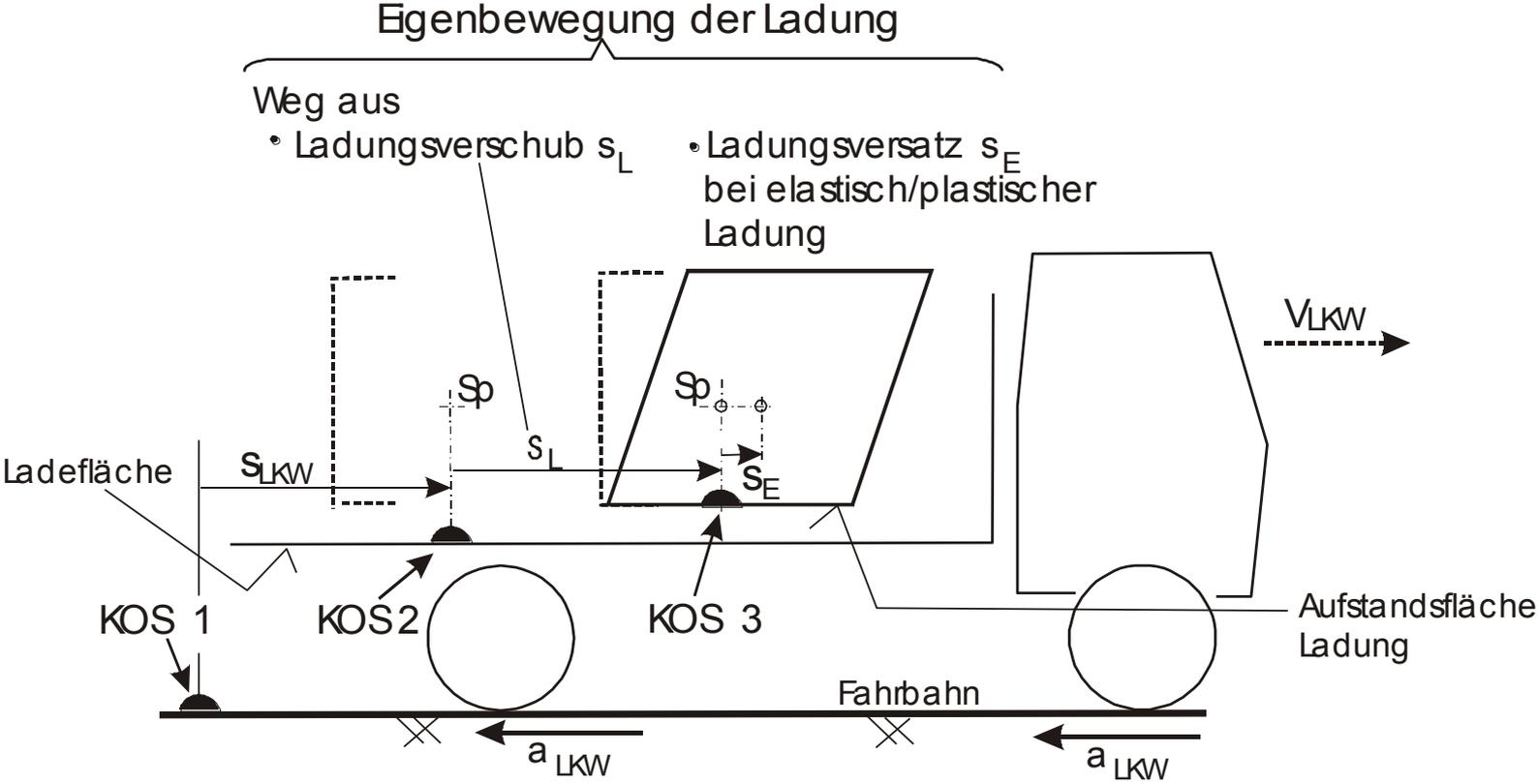
Bigbag = plastische Ladung
[2]



Kontur



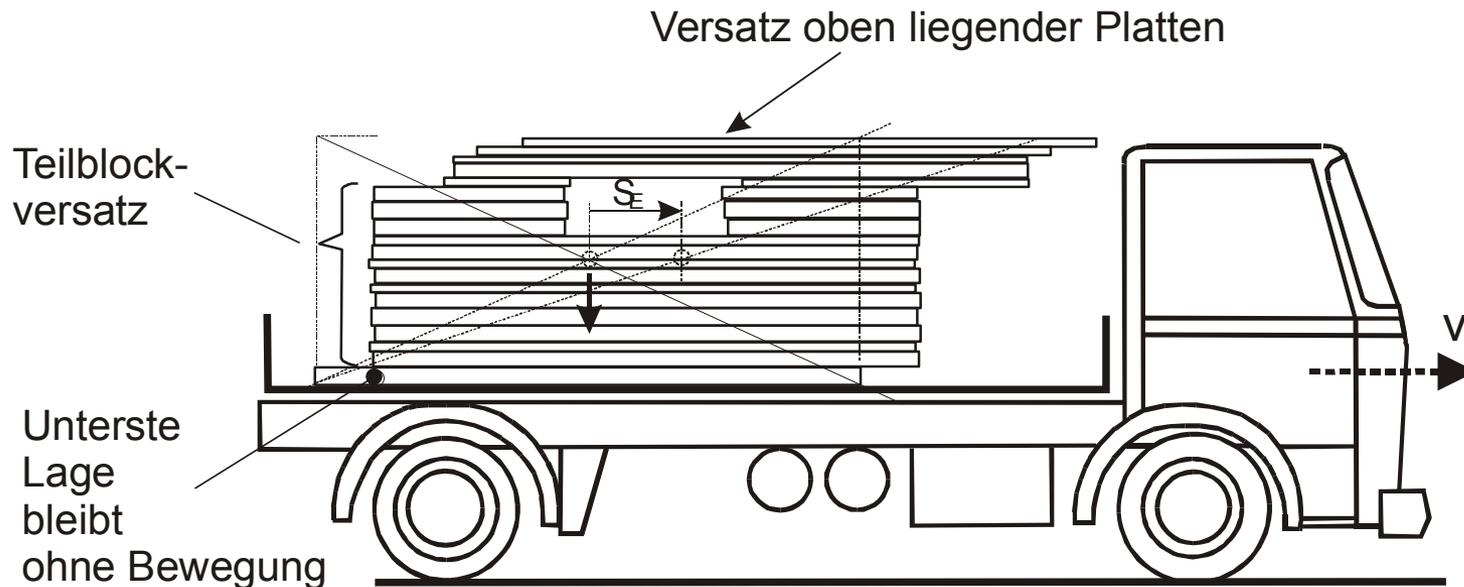
Verschub - Versatz



KOS Korrdinatensystem

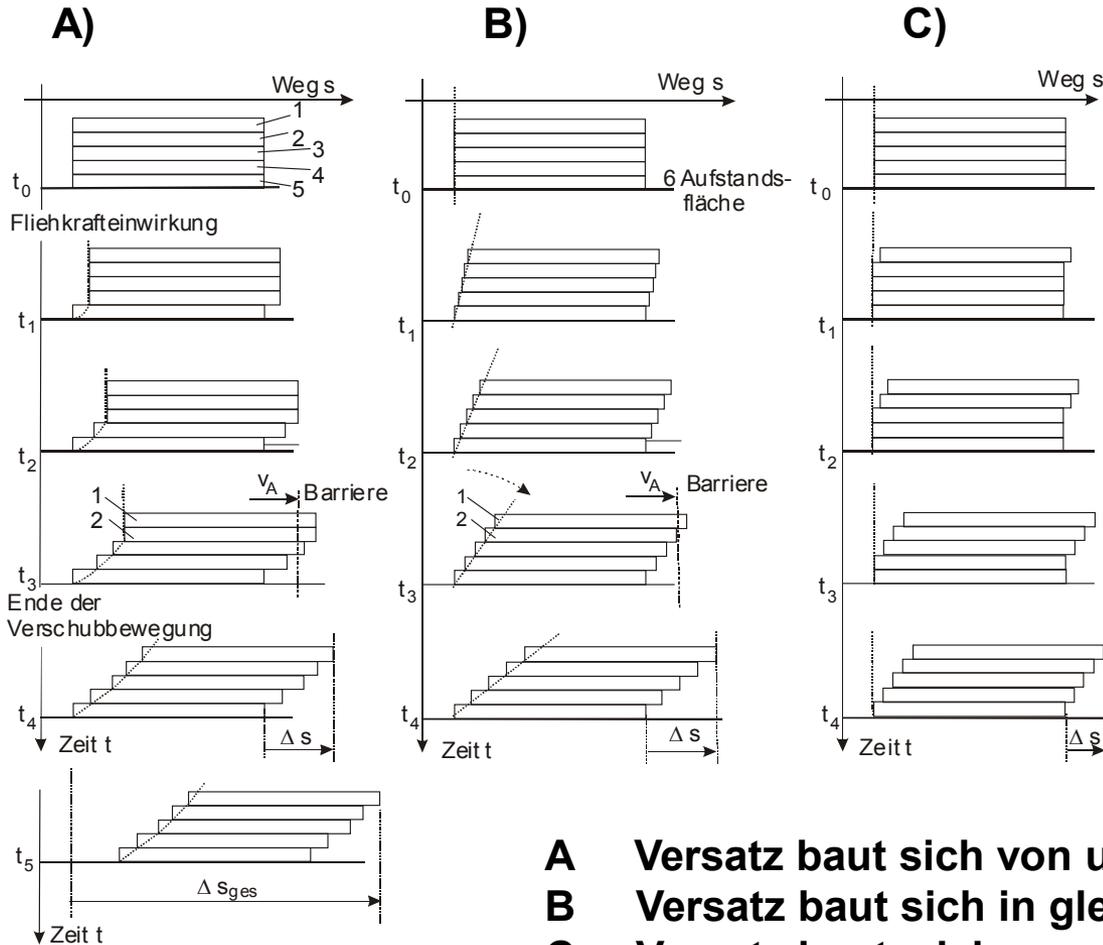
Versatz

Beispiel Platten

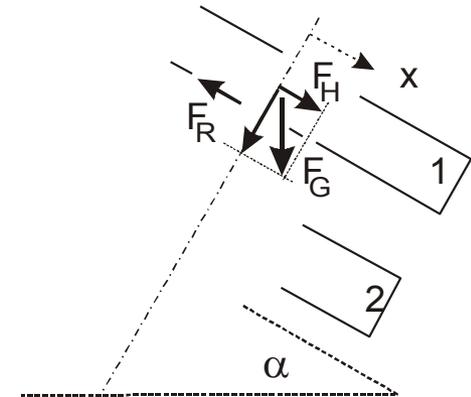


Veränderung Lage des Schwerpunkts bei Versatz.
Annahme: Unterste Lage auf rauhem Holz und ohne Versatz.
Unterste Lage bei Kurzholz auf Zahnleisten.

Modelle Plattenversatz

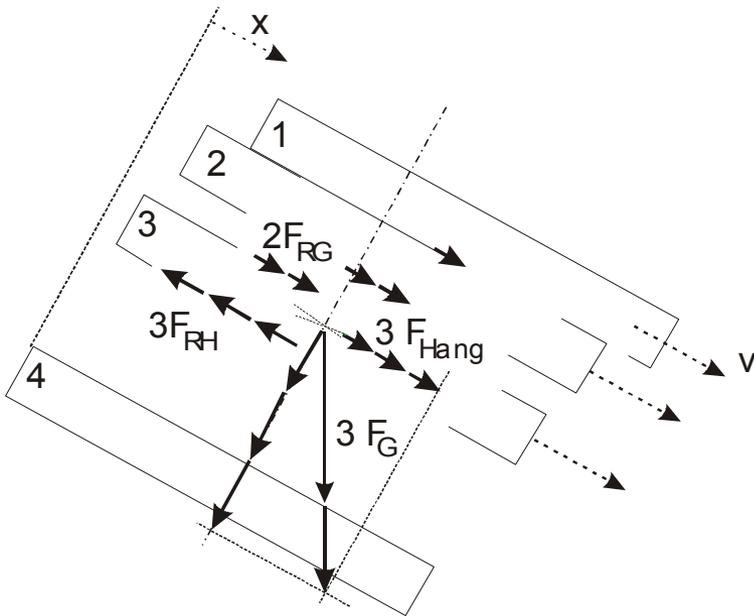


**Annahme:
Versatz nach Modell C)**



- A** Versatz baut sich von unten auf.
- B** Versatz baut sich in gleichmäßiger Schräge auf.
- C** Versatz baut sich von oben nach unten auf.

Kräfte Plattenversatz



Indizes: R Reibung
 G Gleiten
 H Haften
 Hang Hangabtrieb

für die 3. Platte

$$3 \mu_H \cos \alpha = 3 \sin \alpha + 2 \mu_G \cos \alpha$$

$$\mu_H - \frac{3-1}{3} \mu_G = \tan \alpha$$

für die xte Platte

$$\mu_H - \frac{x-1}{x} \mu_G = \tan \alpha$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x-1}{x} = 1$$

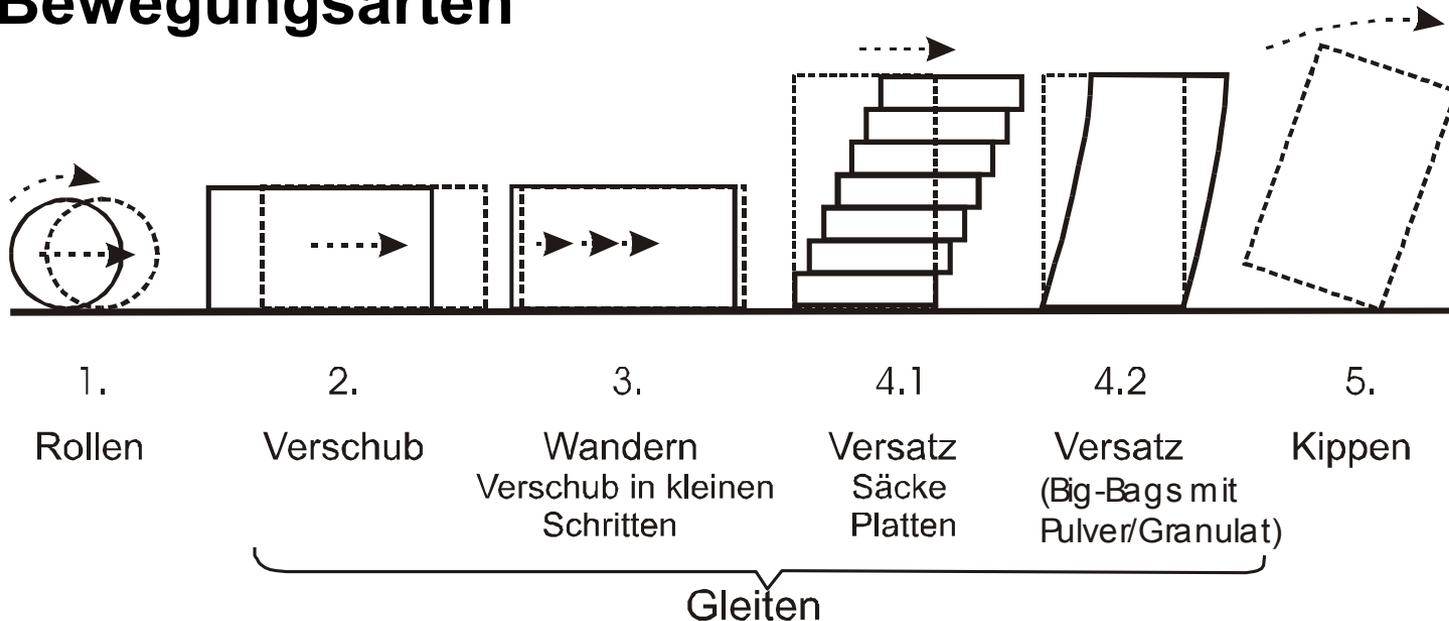
$$\rightarrow \mu_H - \mu_G = \tan \alpha$$

Beschleunigungsdifferenz

Voraussetzung: Modell C) trifft zu?

$$1 \text{ Platte} \Rightarrow \mu_G = 0$$

Bewegungsarten



Eine Kippbewegung in Längs- und Querrichtung soll als Trudeln bezeichnet werden.



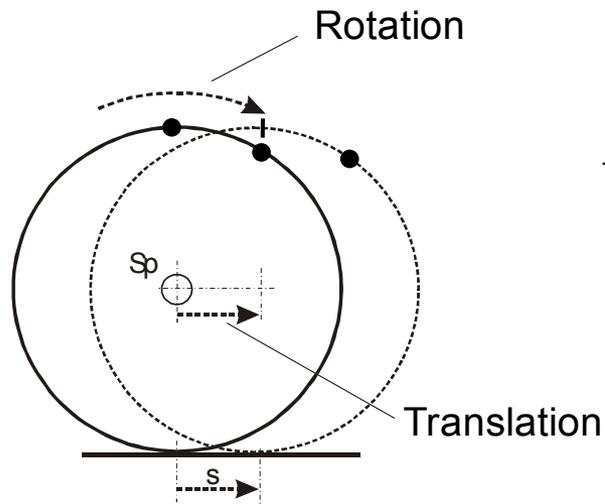
Gleiten in Form von Verschub/Versatz

Wie kann eine „kritische“ Gleitbewegung einer Ladung verhindert werden?

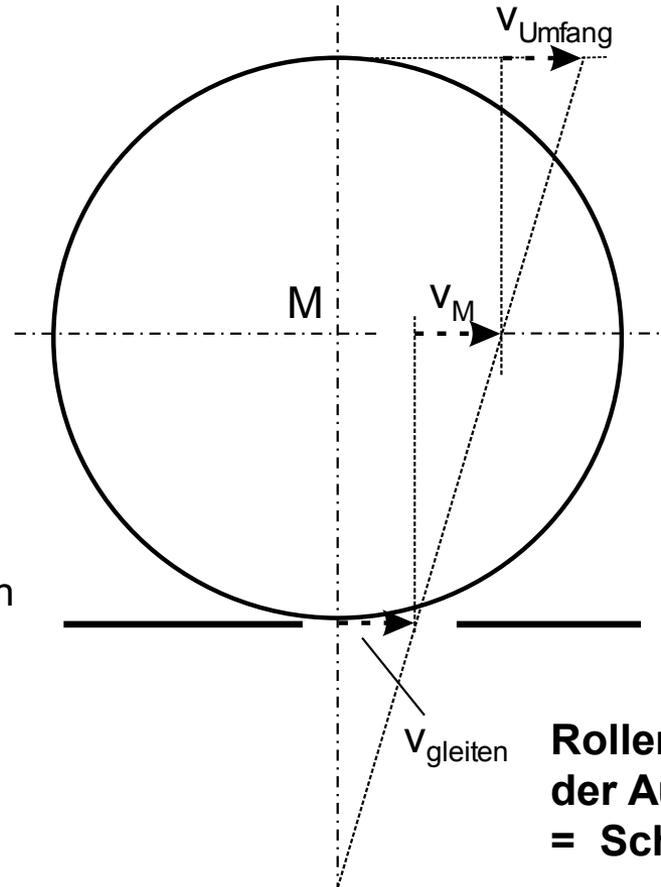
In dem sie „fest mit dem Fahrzeug verbunden wird“ oder andere rückhaltende Kräfte entgegenstehen.

Rollen

(ohne und mit Gleiten/Schlupf)



**Abrollen ohne Gleiten an
der Aufstandsfläche**



**Rollen mit Gleiten an
der Aufstandsfläche
= Schlupf**

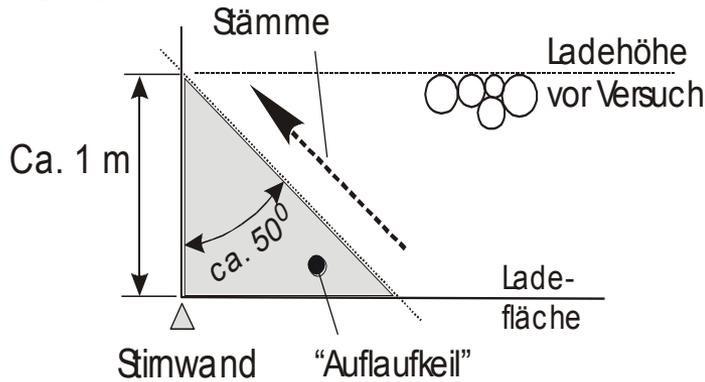
Schwall bei Kurzholz



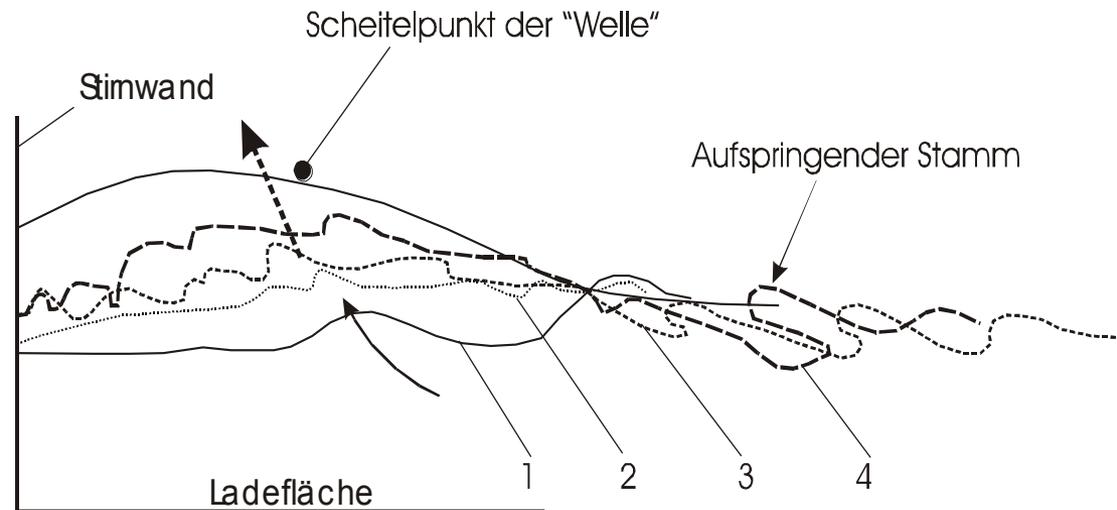
Schwall: Gleiten mit Verschub bei Kurzholz
An der Stirnwand bildet sich „Auflaufkeil“.
Unten bleibt alles liegen!



Bewegung der auflaufenden



Auflaufkeil

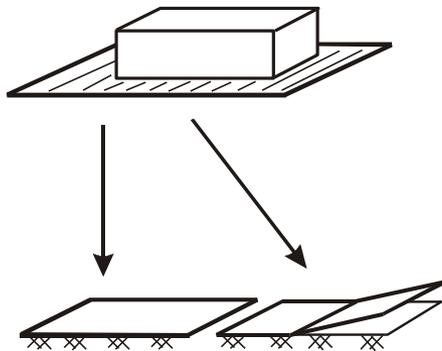


Gleiten

Bewegt sich eine Ladungsmasse mit ihrem Schwerpunkt parallel zu ihrer Aufstandsfläche, wird von einem Gleitvorgang gesprochen werden.

Bei einem Gleitvorgang stehen normalerweise zwei Flächen in Berührung. Verschieben sich diese Flächen gegeneinander, tritt das Phänomen Reibung auf. Es gibt aber auch die linienartige Auflage und die Punktbelastung.

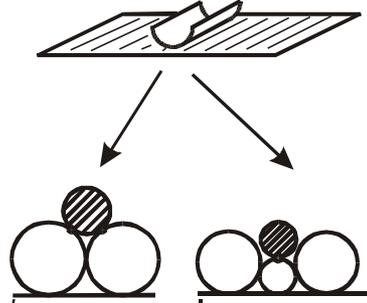
1 Flächige Auflage



Ladefläche

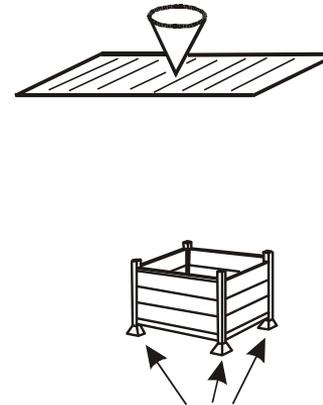
eben schräg
(Getränke-
aufbauten)

2 Linienauflage



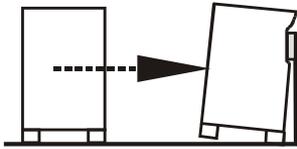
Sattellage Linienauflage

3 Punktförmige Auflage

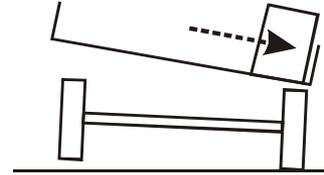


Punktbelastung

Folgen von Gleitbewegungen (Stückgutladungen)



1. **Stoßvorgang**
Ladung prallt auf . . .



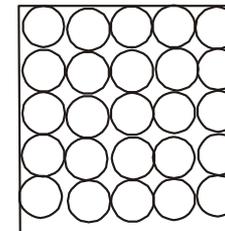
4. **Seitliche Ladungsverlagerung** mit Erhöhung der Fahrzeugkippgefährdung



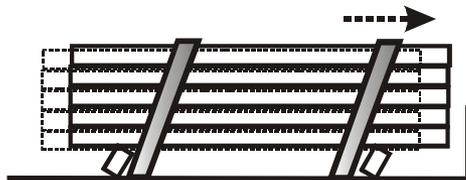
Horizontale Kraft durch andere Ladung

Vertikale Kraft durch Zurrmittel

2. **Druck-, Preßkraft** auf die Ladung von oben oder horizontal



5. Ladungsverlagerung durch **Wanderungsbewegungen** der Ladung.
Fässer stehen dichter, Freiräume entstehen.
Umsturzgefahr!
Aufgleiten von Fässern!



3. **Versagen von Sicherungsmitteln** (Niederzurrkraft am Gurt wird unwirksam)



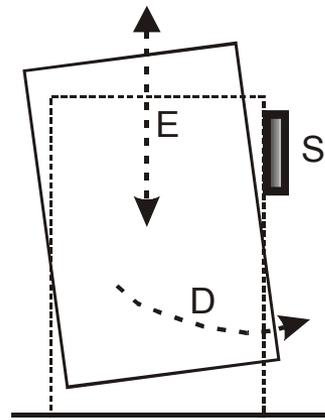
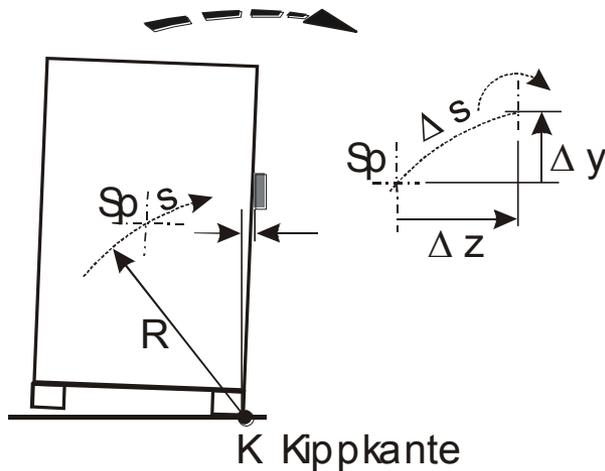
Folgen: Ladung wird beschädigt
Sicherungsmittel versagen
Fahrzeug wird beschädigt
Ladung auf der Straße

Fahrzeug kippt seitwärts
Fahrzeugkurs beeinflußt
(Bremsen, Kurvenfahrt, . . .)

Folgen bei „normaler“ Ladung!

Kippen

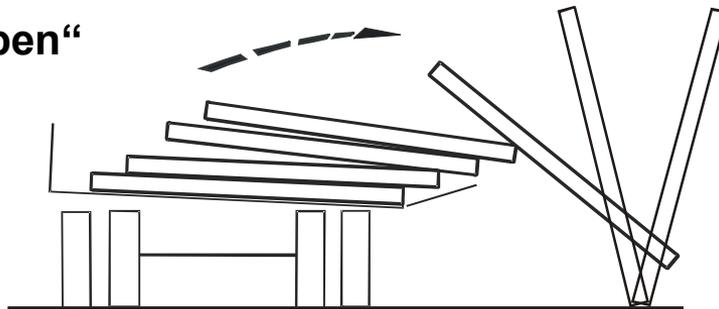
Kippen ist eine Drehbewegung eines Körpers um eine Kippkante K. Kippen kann auch in Form von Ankippen, Umkippen, Abrollen oder Abkippen vorkommen.



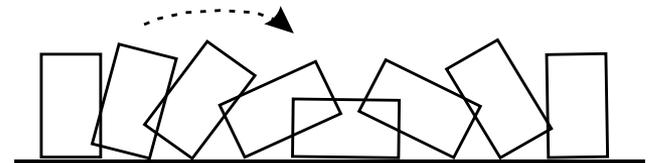
Scherungsmittel S
zu hoch angesetzt

E Ladungsbewegung aus
Einfederung Ladefläche
D Drehung

„Abkippen“

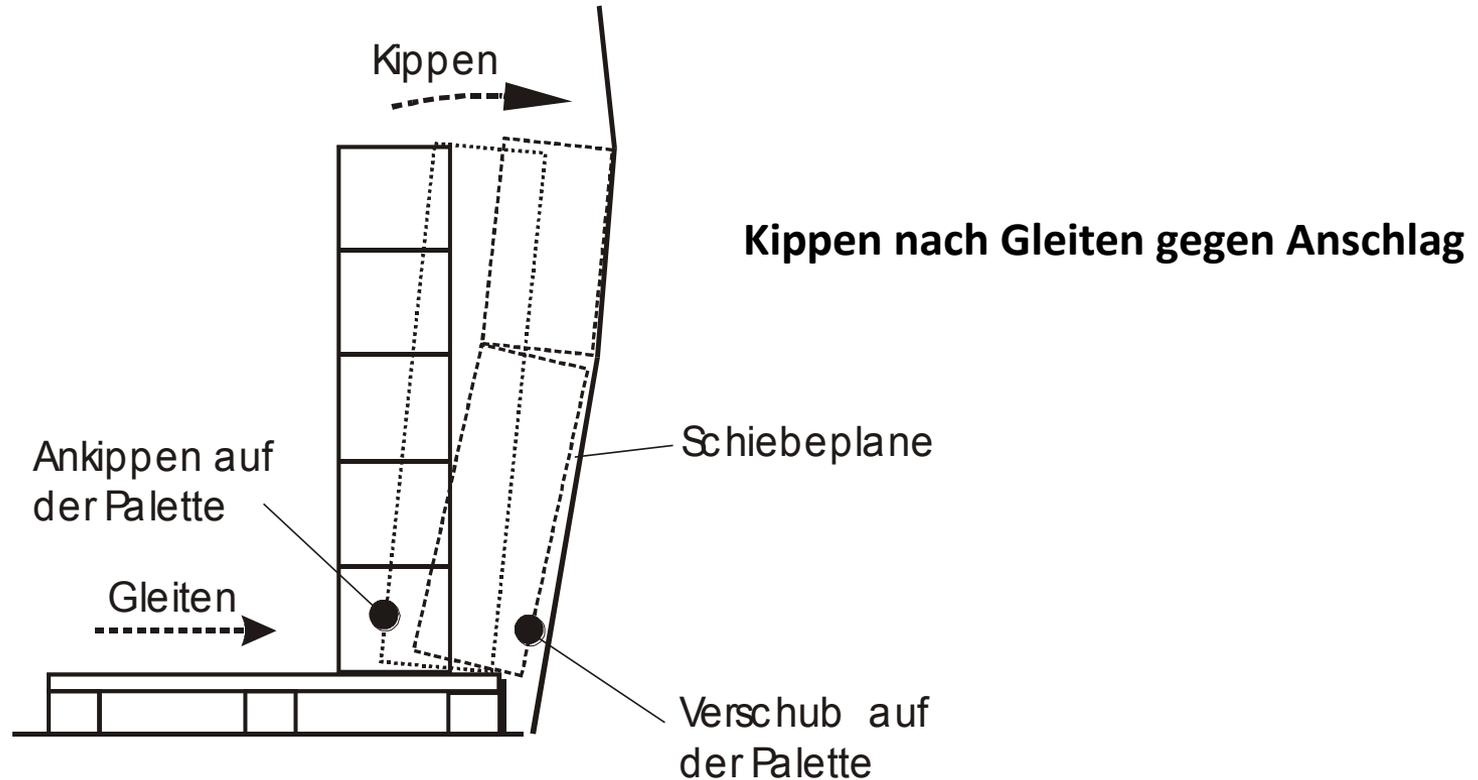


Abrollen = Gleiten mit
Kippen



Gleiten mit Kippen

Beispiel



Kippen

Kräftebilanz in s-Richtung

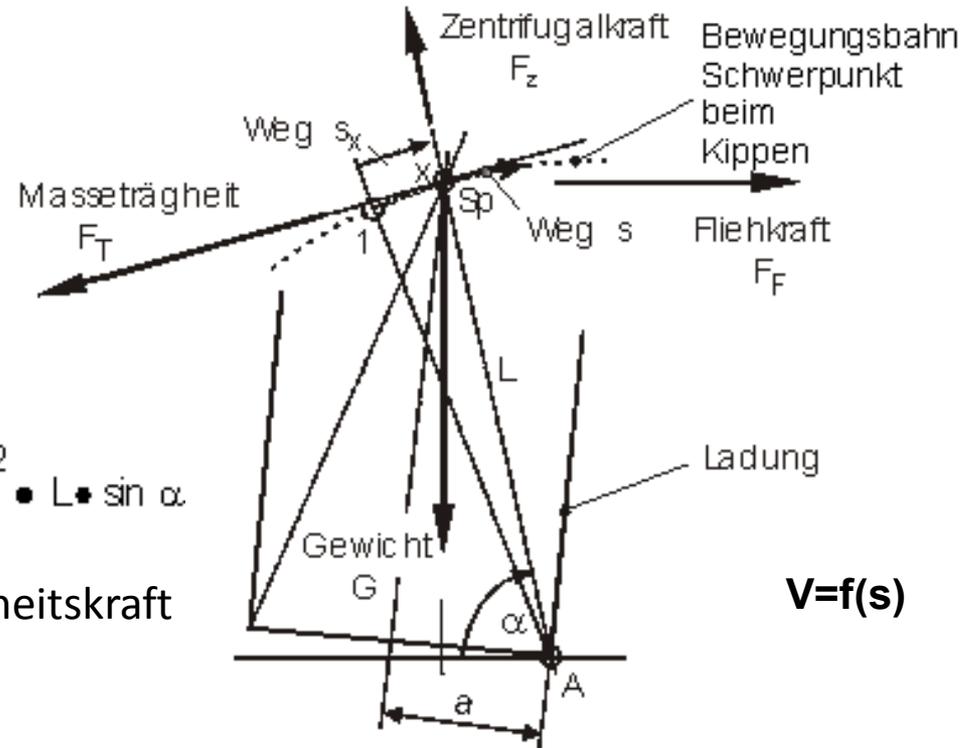
$$m \cdot g \cdot L \cdot \cos \alpha + m \cdot \ddot{s} \cdot L = m \cdot \frac{v^2}{R} \cdot L \cdot \sin \alpha$$

$\ddot{s} = 0$ Bei Ankippen ist Trägheitskraft gleich Null!

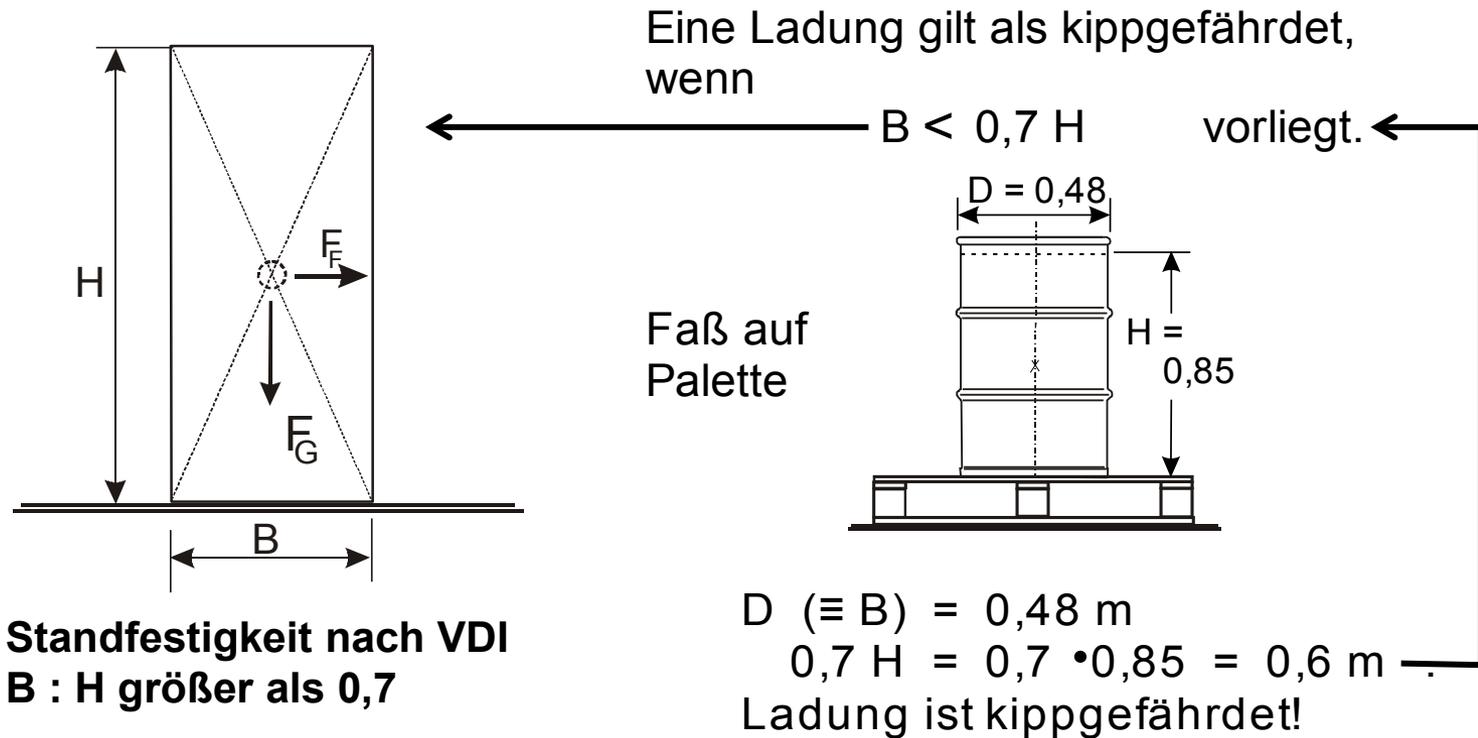
$$g \cdot \cos \alpha = \frac{v^2}{R} \cdot \sin \alpha$$

Kurvengrenzgeschwindigkeit: $v = \sqrt{R \cdot g \cdot \operatorname{ctg} \alpha}$

Kurvengeschwindigkeit des Fahrzeugs, bei der die Ladung zu kippen beginnt!

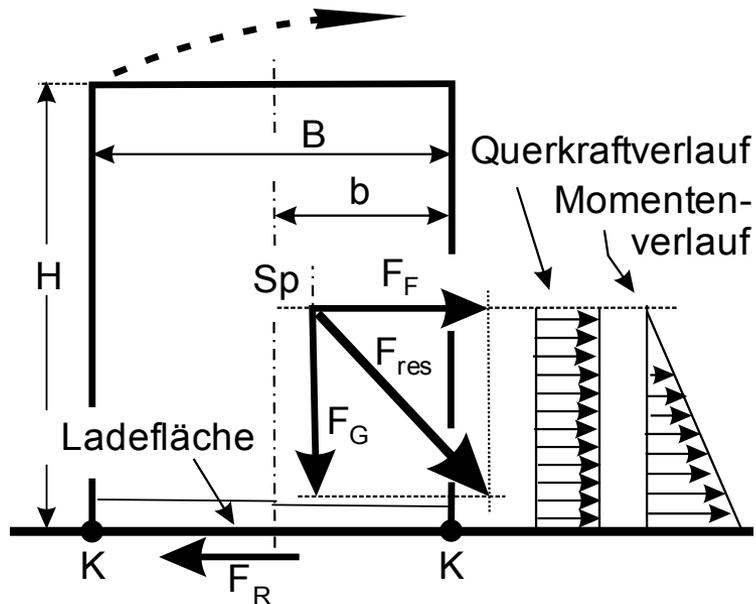


Standfestigkeit gegen Kippen nach VDI 2700



Das in obiger Skizze verwendete Modell zur Kippgefährdung geht von folgenden Annahmen aus: 1. die Ladungsmasse ist von der Geometrie her kippgefährdet, 2. die Ladungsmasse ist starr, 3. die Ladefläche verbleibt in der Horizontalen und 4. es greift seitlich eine zeitlich konstante Kraft (Fliehkraft F_F) an.

Der Kippvorgang



Im Folgenden wird $b = B/2$ gewählt.

In der nebenstehenden Skizze wirke eine Seitenkraft auf eine Ladung ein. Die Ladung werde nur über Reibschluß auf der Ladefläche gesichert.

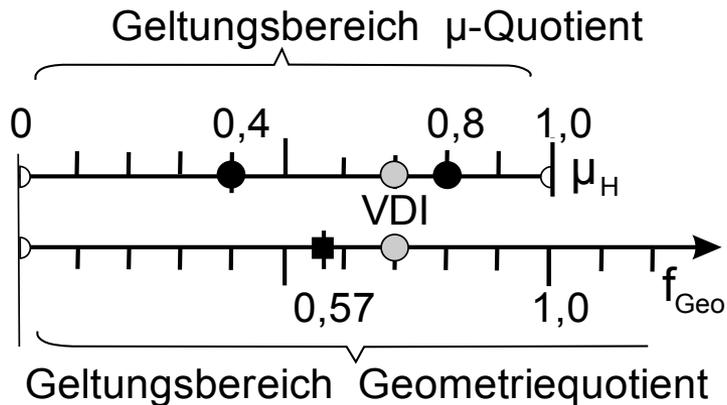
Da die Fliehkraft F_F nicht in der Ebene der Aufstandsflächenreibung wirkt, hat die Kraft zwei Wirkungen. Einmal wird sie als Querkraft durch die Ladung bis zur Aufstandsfläche „laufen“ und auf die gegenhaltende Reibhaftung treffen. Und zweitens wird sie als Moment aus Fliehkraft F_F mal $H/2$ (= Kippmoment) wirken. Wenn eine Kraft in einem Abstand zu einer Gegenkraft wirkt, muß immer diese Teilung einer Kraftwirkung vorgenommen und untersucht werden! Es ergeben sich drei Fälle.

1. Ist die Reibhaftung ausreichend groß und das Moment zu klein, verharrt die Ladung in Ruhe.
2. Ist die Reibhaftung in Bezug zur angreifenden Kraft zu klein, so kommt es zu einer Bewegung der Ladung, sie beginnt zu beschleunigt gleiten.
3. Die dritte Möglichkeit ist, daß die Haftreibung und die Ladungshöhe Werte annehmen, so daß die Ladung haftet aber zu kippen beginnt. Für das Kippen ist das Kippmoment und nicht die Querkraft entscheidend!

Liegt also nur eine Reibhaftung und nicht zusätzliche Sicherungen vor, wie z. B. Blocken, muß zunächst untersucht werden, ob die Ladung zuerst zu gleiten beginnt oder ob sie zuerst kippt!

„Beweglichkeitsdiagramm“

Kippen vor Gleiten?



Beispiel: 200 l-Faßladung, ausgestaut!
Für obiges Diagramm wurde zugrunde gelegt:

1. $\mu_{\text{Haft}} = 0,4$ alternativ
2. $\mu_{\text{Haft}} = 0,8$
3. Höhe H Schwerpunkt Sp
4. Breite B ($b = b$)
5. Lage Kippkante K
6. Geometriequotient

$$f_{\text{geo}} = \frac{0,48 \text{ m}}{0,85 \text{ m}} = 0,565$$

Mit dem „Beweglichkeitsdiagramm“ können die Beweglichkeiten beim Auftreten von Kippmomenten und Querkräften deutlich und gemacht werden.

„Beweglichkeitsdiagramm“
 (Darstellung auf Zahlenstrahlen)
 entsteht aus:

Querkraftbilanzierung horizontal

gleiten, wenn $\longleftrightarrow F_R < F_F$

$$F_G \cdot \mu_H < F_F$$

$$\mu\text{-Quotient: } \mu_H < \frac{F_F}{F_G}$$

Momentengleichgewicht um K,
 kippen, wenn

um \curvearrowright $F_F \cdot H/2 > F_G \cdot B/2$

$$\frac{F_F}{F_G} > \frac{B}{H} (> \mu_H)$$

$$\text{Geometriequotient: } f_{\text{geo}} > \frac{B}{H}$$

Ablesungen aus dem „Beweglichkeitsdiagramm“

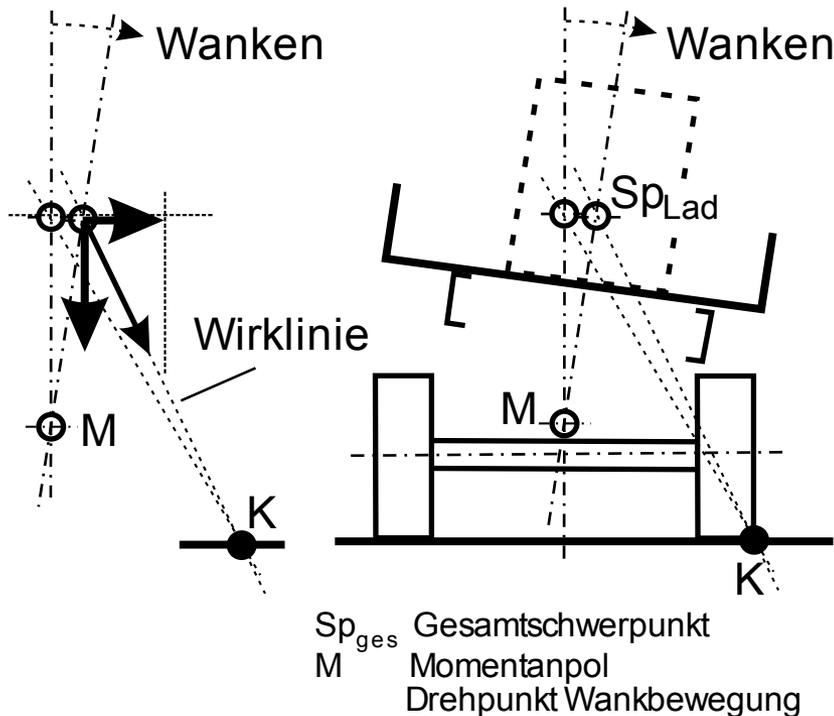
Aus dem Diagramm Folie 355 kann folgendes abgelesen werden:

1. Liegt die Haftreibung bei $\mu = 0,4$, wird ein Ladungsgleiten der Fässer vor dem Kippen eintreten.
2. Bei $\mu = 0,8$ ergibt sich μ_H -Quotient, der ist größer als Geometriequotient f_{geo} . Es wird zu einem Kippen kommen.
3. Da f_{geo} größer als 0,5 ist, ergibt sich auch, daß die Forderung nach einer Sicherung mit 0,5 g seitwärts erfüllt ist.
4. Die Kippsicherheit 0,7 g seitwärts nach VDI (alt) ist nicht erfüllt.

Anmerkung: Es gibt sekundäre Ursachen für ein Kippen bei Fässern, die aus der Reibpaarung kommen. Dazu gehören: Der Stahlaufstandsring steht auf einer rutschhemmenden Matte oder auf einem Holzboden (der Ring dringt ein, es entsteht eine Kippkante). Auch Aluminiumladeflächen sind kritisch, weil bei einem Gleiten ein Abrieb entstehen kann und sich damit eine Kippkante bildet.

Wankbewegung des Aufbaus mit Ladung

Im Folgenden soll ein anderes Modell für das Ladungskippen zugrunde gelegt werden.



Durch das Wanken des Aufbaus bei Fliehkräften oder einseitigen Fahrbahnhindernissen wird ein Kippen der Ladung durch eine Hangabtriebskraft begünstigt.

An einem LKW kann maximal ein Wankwinkel bei ca. 4 bis 8 Grad vorkommen.

An Leichtbauaufliegern sind im Heck Wankwinkel bis ca. 14 möglich.

Für den Nickvorgang an LKW werden Winkel von ca. 4-5 Grad vorkommen.

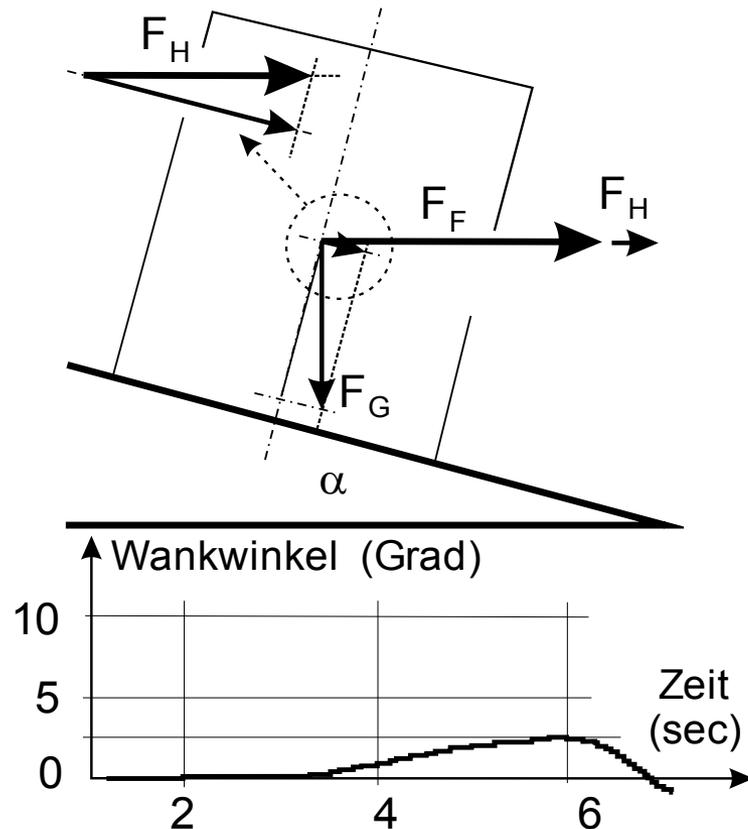
Das Nicken von Sattelaufleger wird dagegen sehr klein bleiben. Wird von einer Einfederung von ca. 60 mm an der Hinterachse ausgegangen, kann ein Nickwinkel von ca. 0,3 Grad auftreten.

Neben der Hangabtriebskraft wird auch die Dynamik aus Aufbaudrehung Trägheitskräfte im maximalen Aufbaudrehwinkel entstehen.

Dynamisches Wanken

Annahmen:

Faßladung sei als starr
angenommen,
nur Reibschlußsicherung



Wird ein Wankwinkel von 8 Grad zugrunde gelegt, wird eine Ladung wegen der Hangabtriebskraft um ca. 0,14 g „früher“ kippen. Allein durch Änderung des Modells (nicht horizontale Ladefläche ergibt sich bei 0,5 g Seitenkraft eine effektive Kippkraft auf 0,64 g!

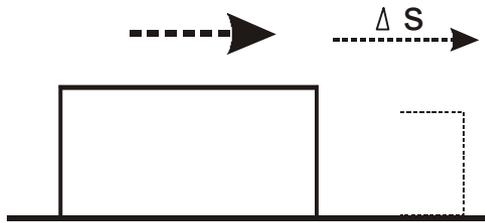
Für die Berechnung der Masseträgheit müsste eine Kurve des zeitabhängigen Drehwinkels beim Wanken vorliegen.

Das nebenstehende Diagramm ist einer Wankwinkelmessung in [4] entnommen. In etwa 2,4 sec steigt der Wankwinkel φ auf ca. 2,5 Grad. Wird für den den Anstieg eine sinusförmige Kurve angenommen, kann bei Vorliegen des Aufbaudrehpunkts M und des Drehradius (Abstand M zu Ladungsschwerpunkts Sp die Masseträgheitskraft errechnet werden.

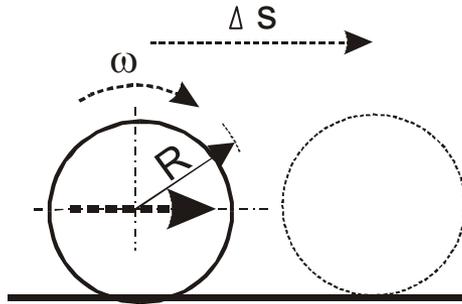
Die Annahme von 0,7 g der alten Richtlinien für Seitenkräfte erscheint für ein seitliches Kippen durchaus als sinnvoll.

Gleiten - Rollen - Kippen

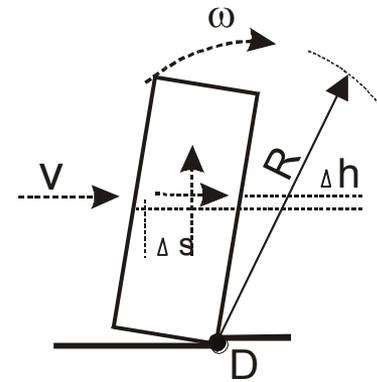
Vergleich der Bewegungsenergien



$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = F_R \cdot \Delta s$$

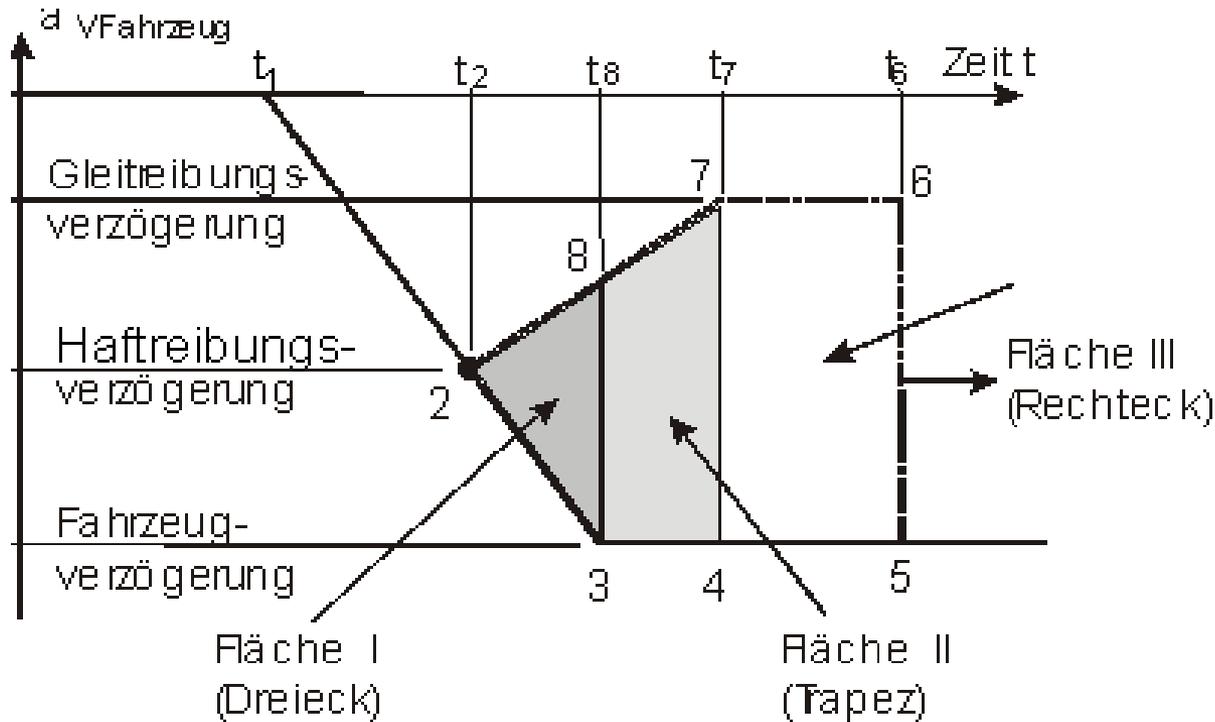


$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \theta \cdot \omega^2 = F_{\text{Roll}} \cdot \Delta s$$



$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \theta \cdot \omega^2 = F_{\text{Roll}} \cdot \Delta s + F_G \cdot \Delta h$$

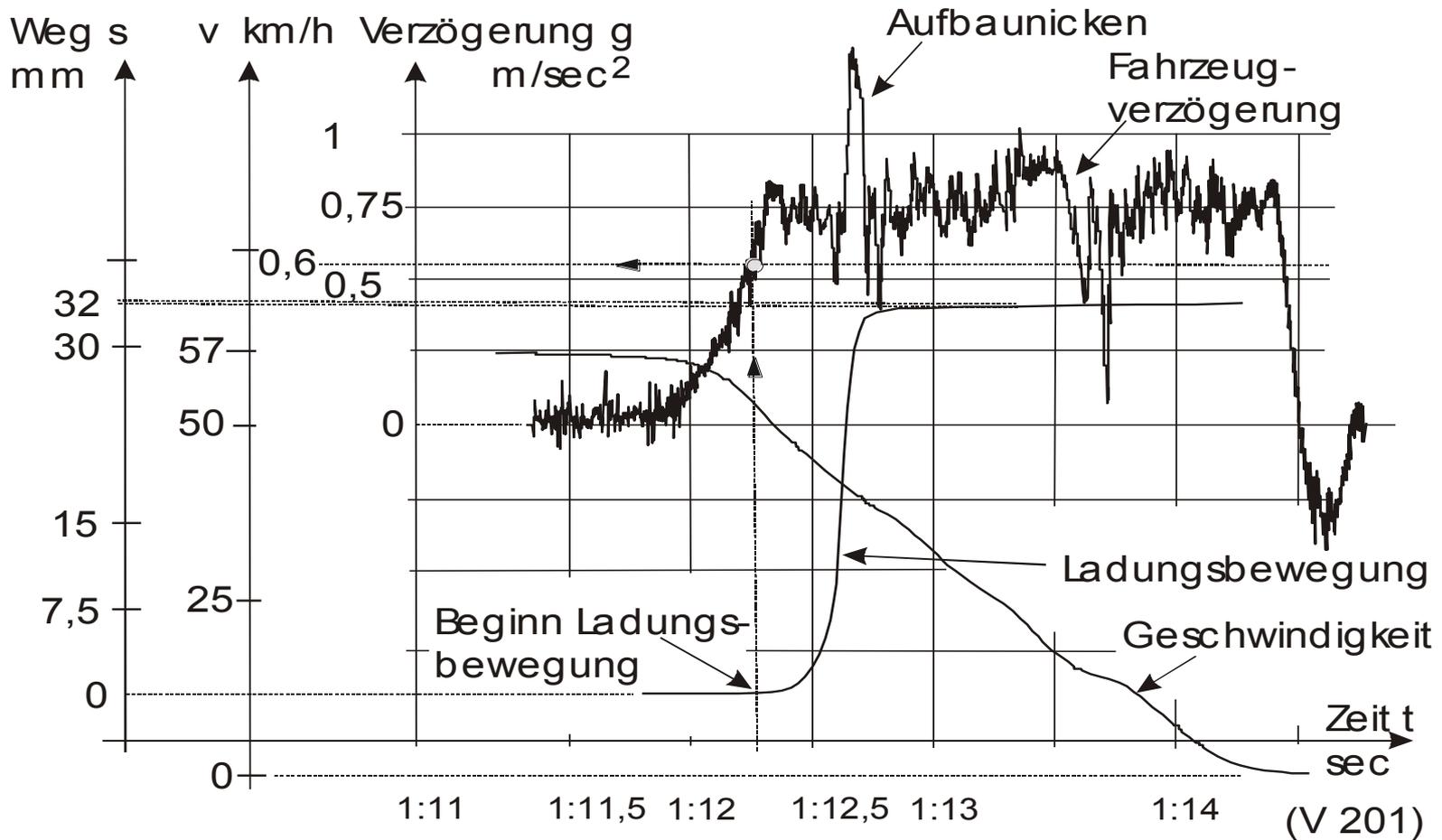
Bewegungsauslösung



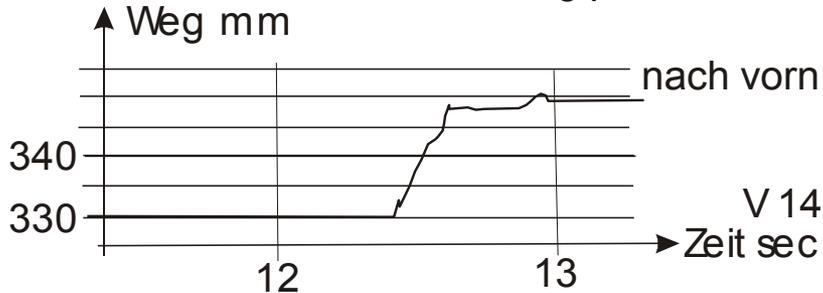
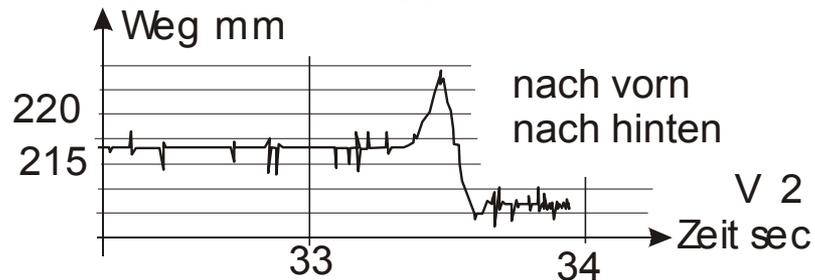
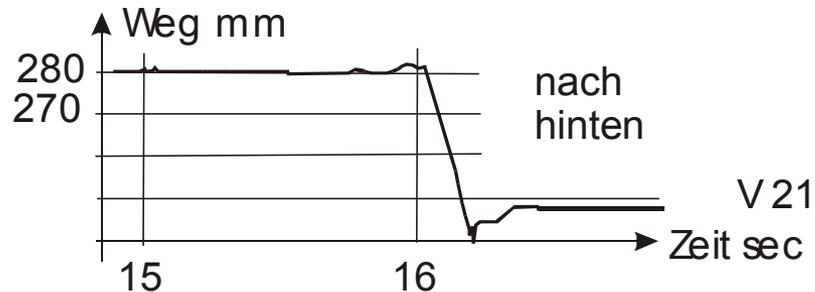
Annahme:
Ladung nur über
Haftreibung gesichert.

Wenn in der Schwellphase einer Bremsung eine Verzögerung überschritten wird, die die Größe von μ_{Haft} mal g hat, kommt es zu einer Ladungsbewegung. Zeit von t_2 bis t_7 : 0,3 bis 0,7 sec (Annahme: Verlauf linear). Die LKW-Bremsung von t_1 bis t_3 : 0,3 bis 0,5 sec.

Beispiel für Auslösung durch Aufbaunicken beim Bremsen (Holzstamm auf Holzstamm in Linienuflage geführt)

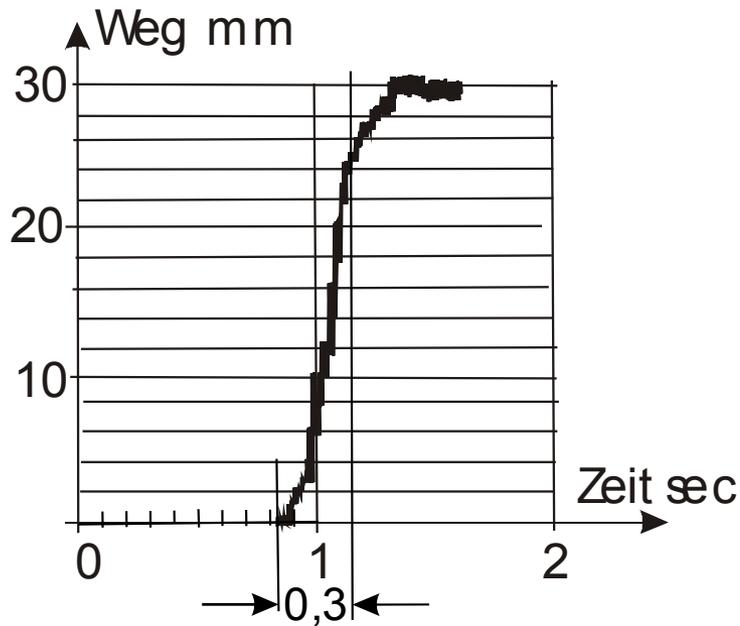


Beispiele für Auslösung aus Längsstoß am Fahrzeug



**Beidseitiges Fahrbahnhindernis:
Ladungsweg beim Überfahren
einer Schlauchbrücke mit
ca. 15 km/h,
beidseitiges Hindernis.**

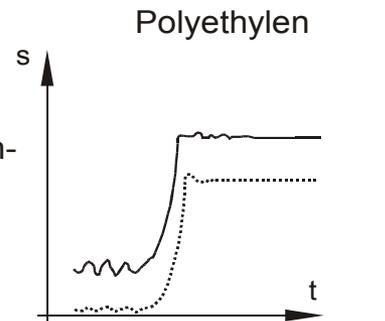
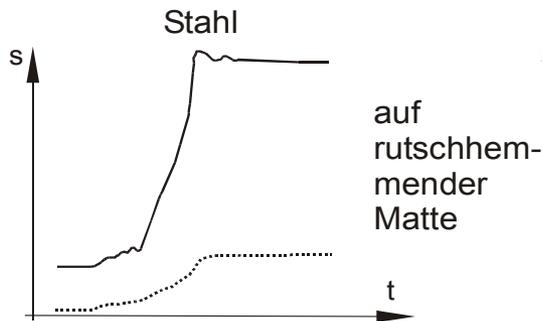
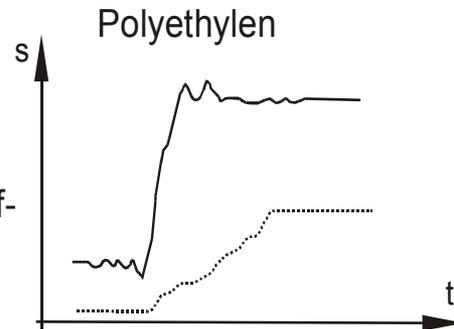
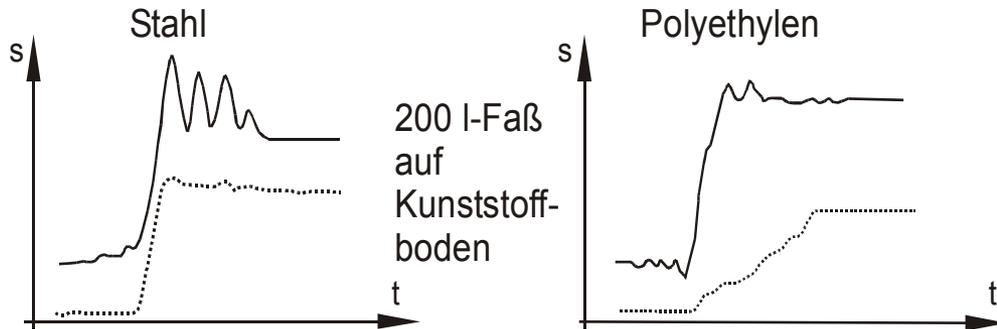
Übergang Haften zum Gleiten aus Stoßanregung längs



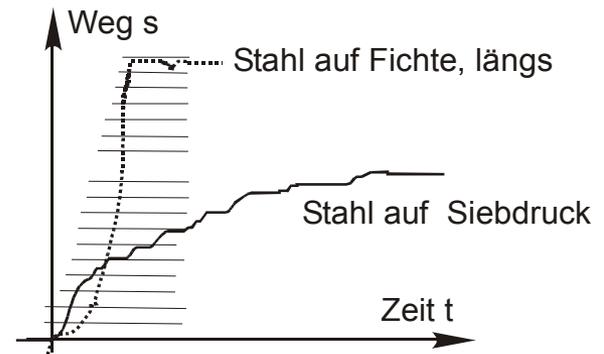
Ladungsweg bei
Überfahren einer
Schlauchbrücke mit ca. 15 km/h
Zeitdauer ca. 0,3 sec

[5]

Übergangsverhalten verschiedener Fässer bei Stoßanregung



Bewegung
Oberboden ———
Unterboden ······



**ca. 0,7 sec Dauer
Stick-Slip-Effekt**

[1], □

Auslaufverzögerung aus Stoßanregung bei Reibungsverzögerung

$$\frac{1}{2} m_L \cdot v_1^2 = m_L \cdot g \cdot \mu_{\text{gleit}} \cdot \Delta s$$

$$\Delta s = \frac{v_1^2}{2 g \mu_{\text{gleit}}}$$

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \mu_{\text{gleit}} \cdot \Delta s}$$

Endgeschwindigkeit eines Stoßes

Reibungskraft ma Gleitweg

$$v_{\text{v}} = a_{\text{max}} \frac{T}{2 \pi}$$

$$\text{Frequenz } f = \frac{1}{T}$$

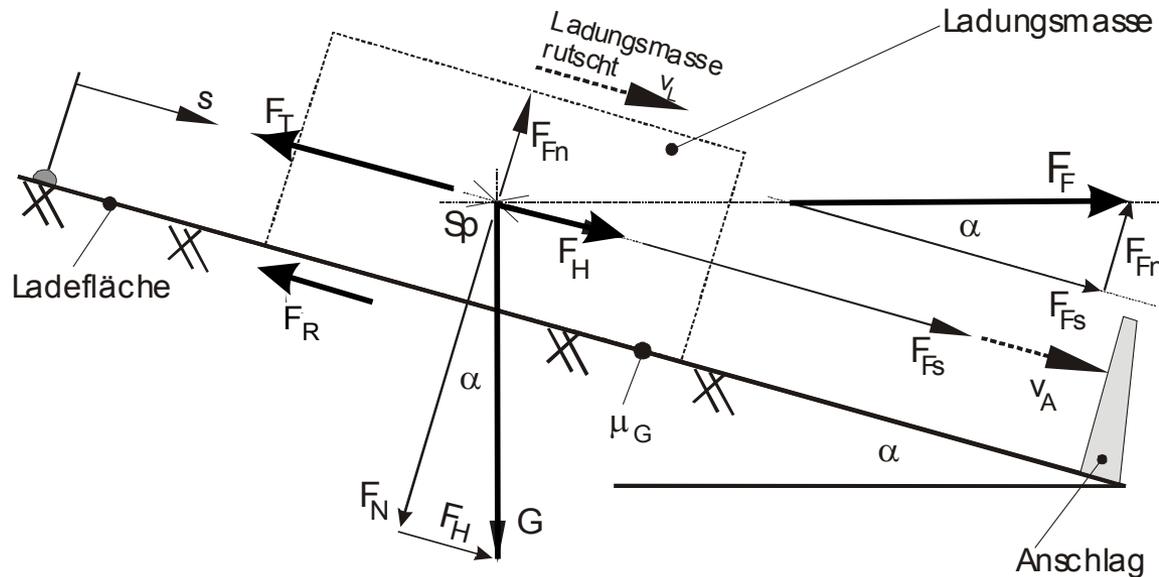
$$\Delta s = \frac{a_{\text{max}}^2}{8 \pi^2 f^2 g \mu_{\text{gleit}}}$$

Energiebilanz aus einer Stoßanregung

Gleitweg aus dieser Anregung

Kurvenfliehkraft

(bei „eingestellter“ Wankneigung und konstanter Kurvengeschwindigkeit - Ladung gleitet¹⁾)



Antrieb: Hangabtriebskraft (eingestellte Wankneigung) ist mit der Kurvenfliehkraft ($v_{\text{Fahrzeug}} = \text{konst.}$) die beschleunigende Kraft: $g = \text{konstant}$.

1) Ladung kippt = Folie 359

Trägheit	Reibung	Hangabtrieb	Fliehkraft	
				$= 0$
	$- F_T$	$- F_R$	$+ F_H$	$+ F_{Fs}$
	F_T	$+ F_R$	$- F_H$	$- F_{Fs}$

Ableitung der Berechnungsformel

$$m \cdot \ddot{s} = m \cdot g \cdot \sin \alpha + m \frac{v^2}{R} \cos \alpha - m \cdot \mu_g \cdot (g \cdot \cos \alpha - \frac{v^2}{R} \sin \alpha)$$

$$\ddot{s} = g \cdot \sin \alpha + \frac{v^2}{R} \cos \alpha - \mu_g (g \cdot \cos \alpha - \frac{v^2}{R} \sin \alpha)$$

$$\ddot{s} = \frac{dv}{dt} = A = \text{konstant}$$

$$\ddot{s} = \frac{dv}{dt} = A = \text{konstant}$$

$$\frac{dv}{dt} = A = \text{konstant}$$

$$dv = A dt \rightarrow \int dv = \int A dt + C_1$$

$$s = \frac{1}{2} A t^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{v^2}{R} \cos \alpha - \mu \cdot g \cdot \cos \alpha \right) \cdot t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2s}{A}}$$

$$v = \sqrt{2 A s}$$

$$v = \left(\frac{v^2}{R} \cos \alpha - \mu \cdot g \cdot \cos \alpha \right) \cdot t$$

Berechnungsbeispiel

Annahmen:

Ladung mache einen Gleitweg

zur Seite von 0,2 m

Geschwindigkeit des Fahrzeugs

sei $v = 50 \text{ km/h} = 13,8 \text{ m/sec}$

Kurvenradius $R = 50 \text{ m}$

Gleitreibungszahl $\mu_G = 0,2$

Erdanziehung $g = 10 \text{ m/sec}^2$

Ladeflächenneigung $\alpha = 4 \text{ Grad}$

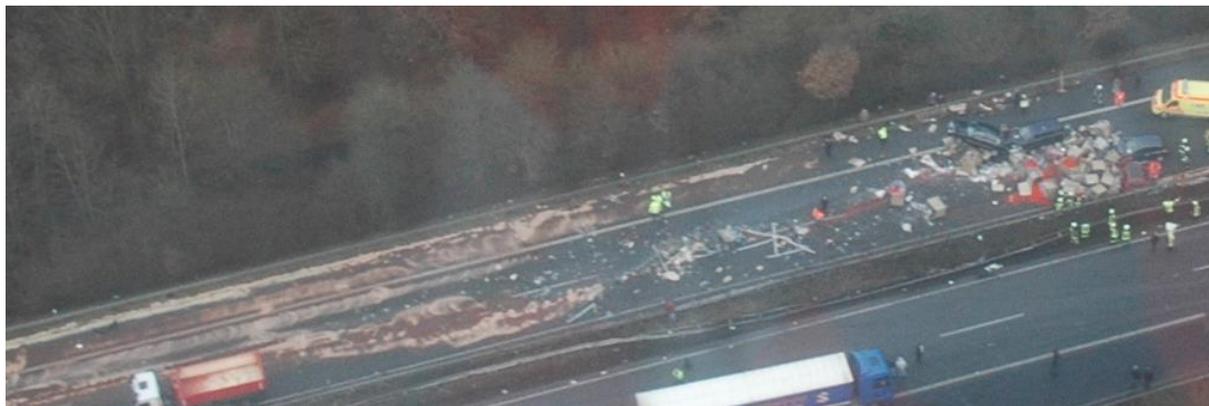
$$A = 10 \cdot 0,069 + \frac{13,8^2}{50} 0,9975 - 10 \cdot 0,9975 \cdot 0,2 + \frac{13,8^2}{50} 0,069 \cdot 0,2 \quad (\text{m/sec}^2)$$

$$v = \sqrt{2 A s}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 2,55 \cdot 0,2} \quad \text{m/sec}$$

$$v_A = 1,0 \text{ m/sec}$$

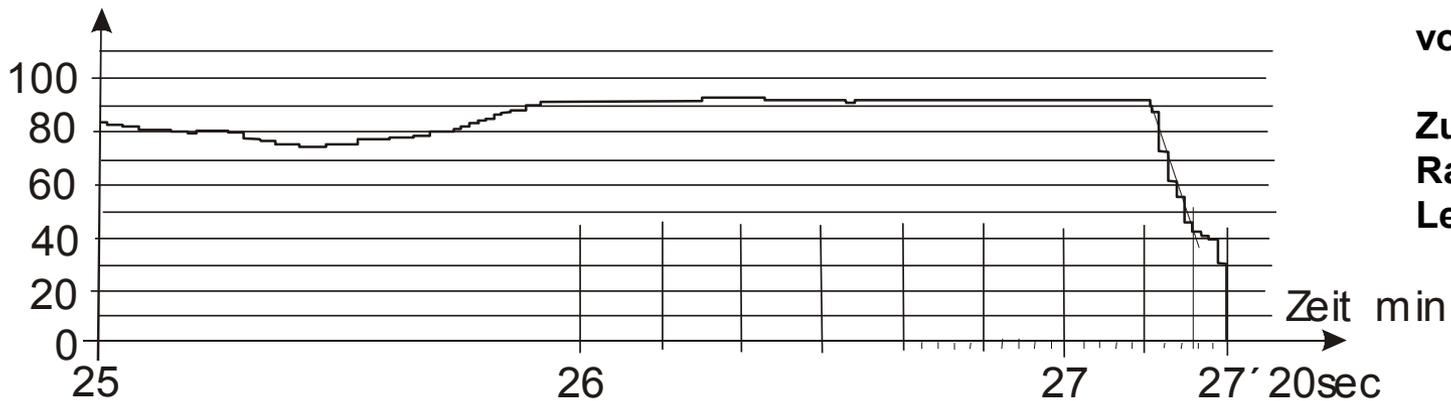
Durchschlag durch Bordwand



Fahrzeuggeschwindigkeit , -verzögerung



Fahrzeug-
geschwindigkeit km/h

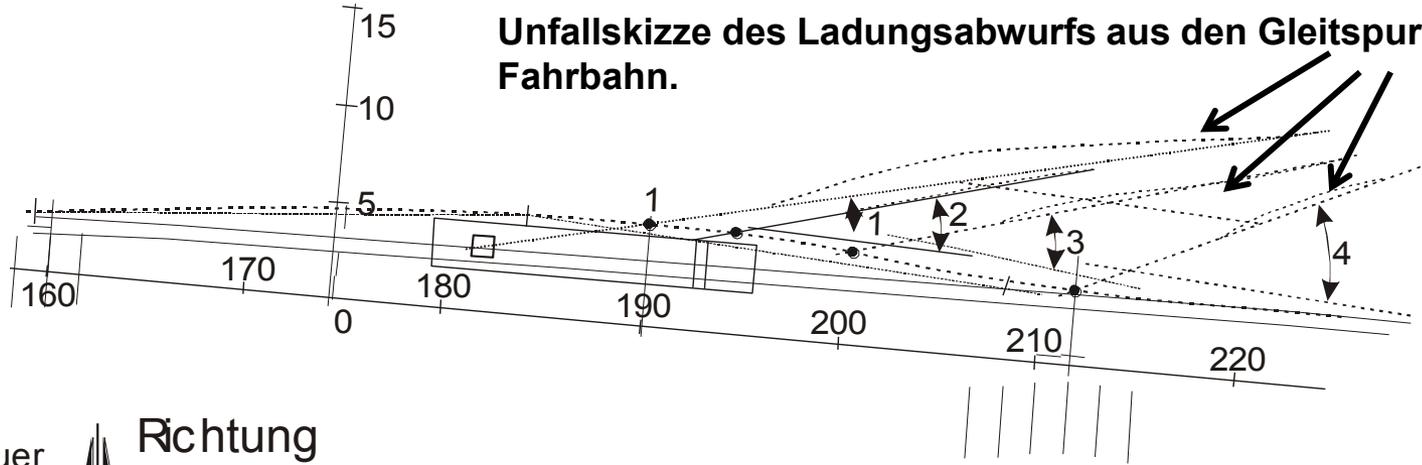


vor Stillstand

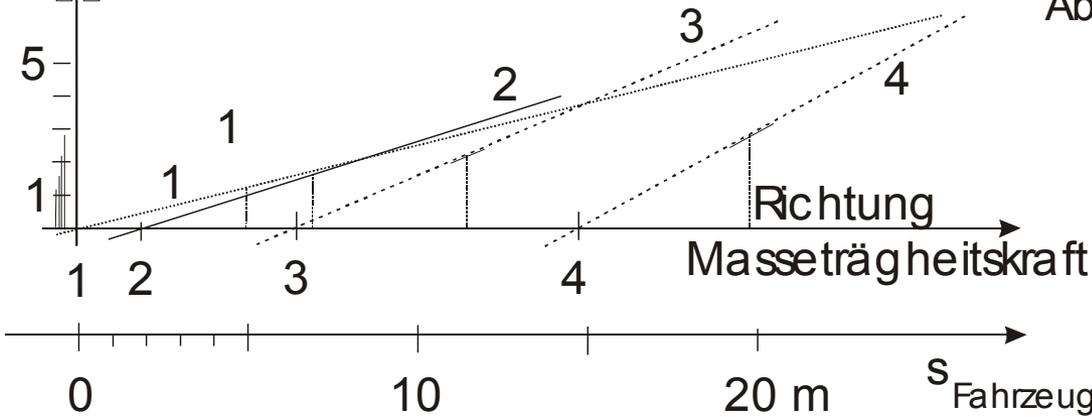
Zusatzverzögerung
Radbolzen an
Leitplanke

Analyse Abwurfwinkel

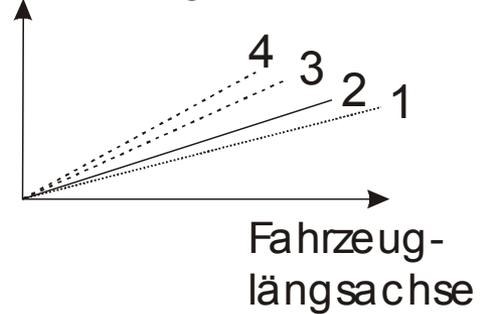
Unfallskizze des Ladungsabwurfs aus den Gleitspuren auf der Fahrbahn.



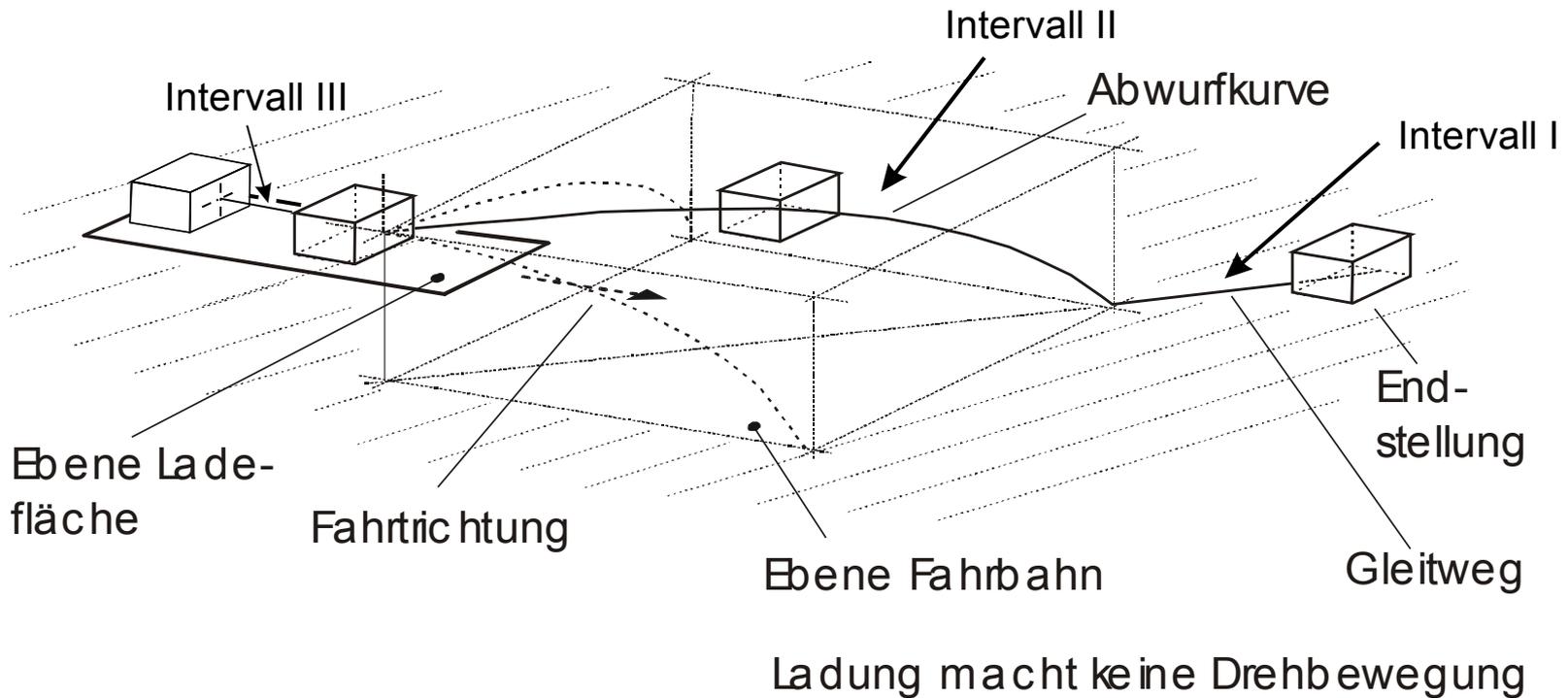
S_{quer} (m) Richtung Seitenkraft



Abwurfrichtung



Bewegungsbahn Ladung



Rückrechnung in Intervallen

Intervall I Auslaufweg

$$v_{2h} = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot s_1}$$

$$v_{2h} = \sqrt{2 \cdot 0,4 \cdot 9,81 \cdot 31} \text{ m/sec}$$

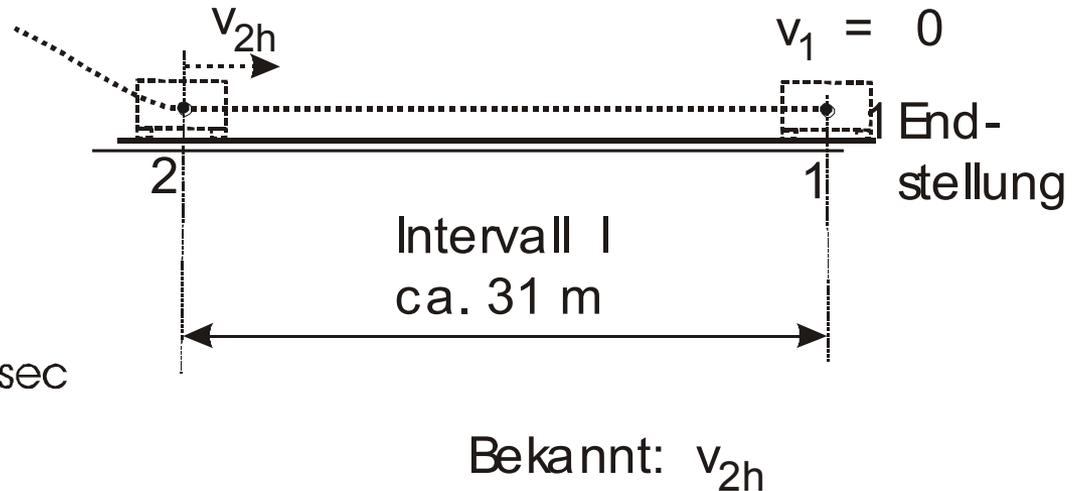
$$= 15,6 \text{ m/sec}$$

Annahme: Gleitreibungsverzögerung

Gleitreibungszahl

Stahl auf Beton $\mu = 0,3/0,4$

Ohne Ober- und Untergrenzen gerechnet.



Literatur

- [1] Podzuweit, U., Zur Theorie der Ladungssicherungsnormung, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 7./8. 1997
- [2] Podzuweit, Ulrich, Ladungssicherung im Bigbagtransport – Studie zur Versatzbewegung von Weichladungen, Bibliothek der Hochschule München, HM Digital, www.hm.edu.bib, Juli 2013
- [3] Podzuweit, U., Vortrag 62. MAS-Tagung, 2011
- [4] Research Report, RR 077, 2004, Gesundheitsministerium GB, Internet
- [5] Podzuweit, Ulrich, Forschungsvorhaben des deutschen Bundesverkehrsministeriums „Ermittlung der Transportbeanspruchungen zur Optimierung der Ladungssicherung in Containern“, Teil Straßentransport, U. Podzuweit, 2001, BMV FE Nr. A.24/16.49.00 – 96473/97 – K

13 Kraftschlüssige Sicherung

Inhalt

Reibung

Coulombsche Reibung

Voraussetzungen Reibungssicherung

Visco-elastische Reibung

. . .

Berechnungen zur Reibungssicherung

Literatur

Reibung

Aufstandsflächenreibung: Ladung auf Ladefläche

Seitenwandreibung: Seitenwand Ladung an anderer Ladung

Werden zwei Körper gegeneinander gedrückt und eine Veschubkraft aufgebracht, so wird ein Widerstand auftreten.

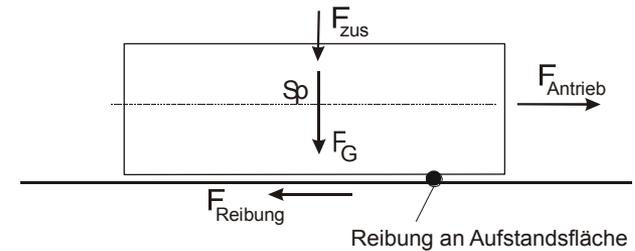
————→ Haftreibung

Wird die Zug-, bzw. Druckkraft erhöht und kommt es zu einer Bewegung mit einem bestimmten Widerstand, so ergibt sich ein Gleitreibungswiderstand.

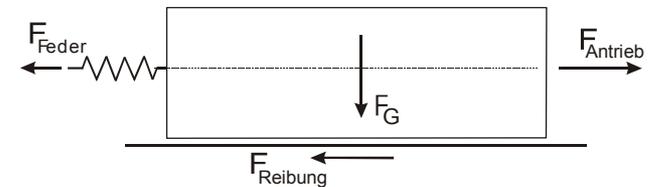
————→ Gleitreibung

Rückhaltemechanismus - Reibung

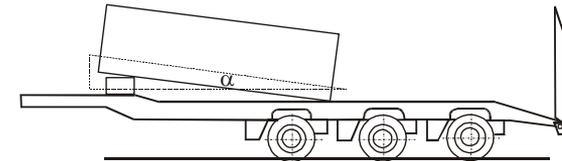
Aufstandsflächenreibung plus
zusätzliche Reibung (Niederzurrung)



zusätzlich Federkraft



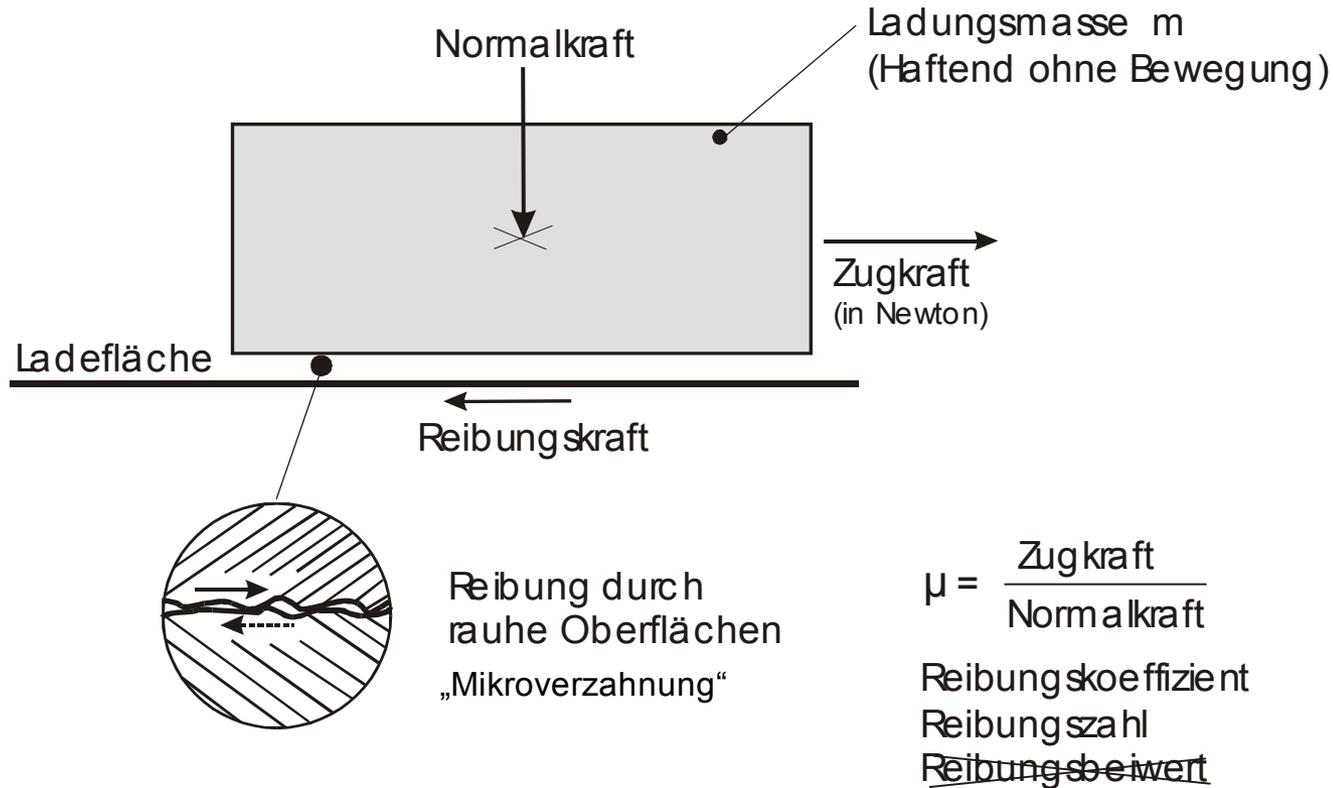
Lagerung auf einer schiefen Ebene



Rückhaltung auf schiefer Ebene

Blocken

Haftreibung



Ladung nicht in Bewegung!
Reibungskraft größer als Zugkraft.

Die Bezeichnung als „-beiwert“ ist falsch!

Reibungsarten

1 Haftreibung

2 Bewegungsreibung



Bewegungsreibung:

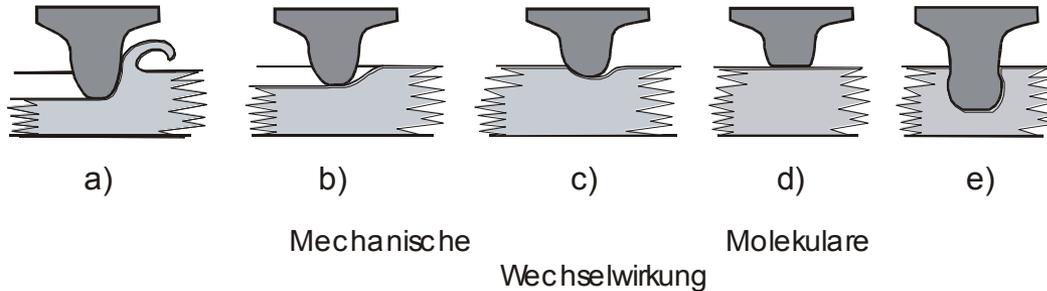
Gleitreibung

Rollreibung

Bohrreibung

Intermittierende Reibung

Wechselwirkung bei Gleitreibung



[4]

a) mit Werkstofftrennung

b) mit plastischer Verformung

c) mit elastischer Verformung

d) mit Werkstoffzerstörung

e) mit Werkstofftrennung, bzw. Werkstoffübertragung

Definition Reibung

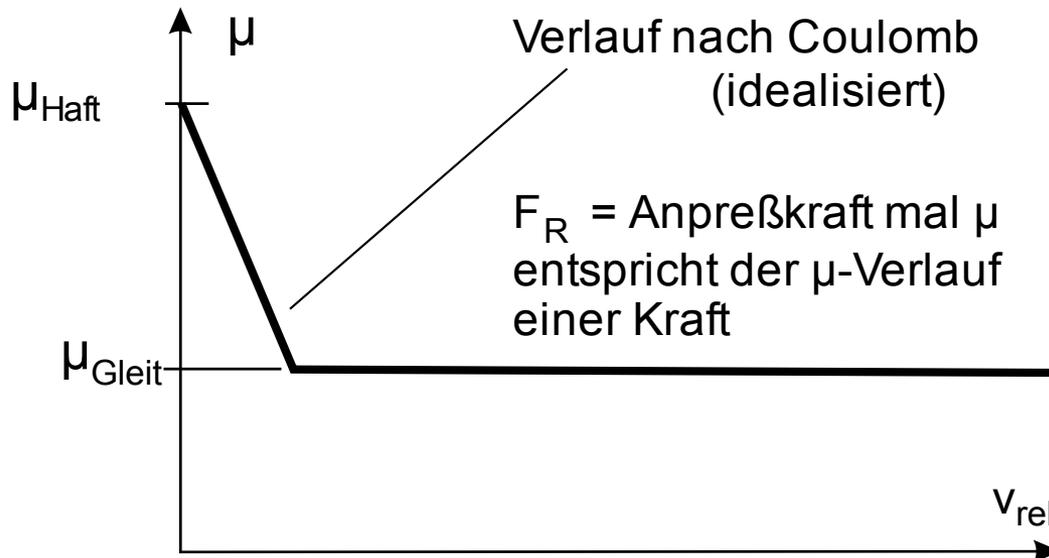
„Reibung ist ein mechanischer Widerstand in der gemeinsamen Berührungsfläche, der eine Relativbewegung zwischen zwei aufeinander gleitenden, rollenden oder wälzenden Körper hemmt (Bewegungsreibung) oder verhindert (Ruhreibung).“

[1]

Grundlage:

Coulombsche Reibungstheorie

(Reibung nicht geschwindigkeitsabhängig) [2]



Coulombsche Reibung

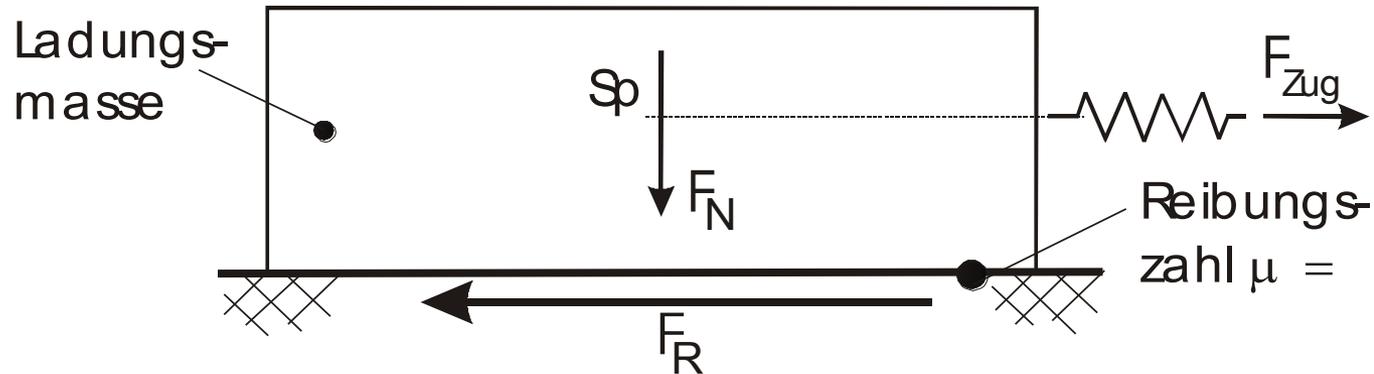
Ladungssicherung setzt Coulombsche Reibung¹⁾ voraus!

Voraussetzungen der Coulombschen Reibung:

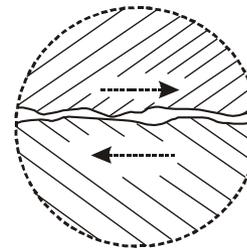
- Die "Körper" (Ladung/Ladefläche) sind im technischen Sinne als „starr“ anzusehen.
(Eine Ladefläche kann durchgebogen und verdreht werden.)
- Die reibenden Oberflächen sind „groß“ (keine punkt- oder linienförmige Berührungsflächen).
- Es gibt eine Haft- (μ_H) und eine Gleitreibungszahl (μ_G).
- Die Reibungszahl ist eine „Eigenschaft eines Systems“.
In der Reibungslehre besteht ein „System“ aus: Grund- und Gegenkörper, Zwischenstoff (Öl, Schmutz) und Umgebung (Feuchtigkeit).
(Diese vier Einflußgrößen müssen immer zusammen betrachtet werden, auch in der Ladungssicherung.)
- Es gilt immer μ_H ist kleiner als μ_G .
(Bei ruhenden Körpern kommen sich die berührenden Flächen am nächsten, deshalb ist die Haftreibungszahl größer als die Gleitreibungszahl.)
- Die Gleitreibungszahl ist eine Konstante (die Temperatur hat keinen Einfluß).
- $\mu_H < 1$
- Das Gewicht FG ist nicht zeitabhängig (vertikale Einfederung an Fahrzeugen).

1) Neben Coulombscher Reibung auch visco-elastische und . . . möglich.

Modell der Coulombschen Reibung



Reibungszahl $\mu_{H/G} = \frac{F_{\text{Reibung}}}{F_{\text{Normalkraft}}}$

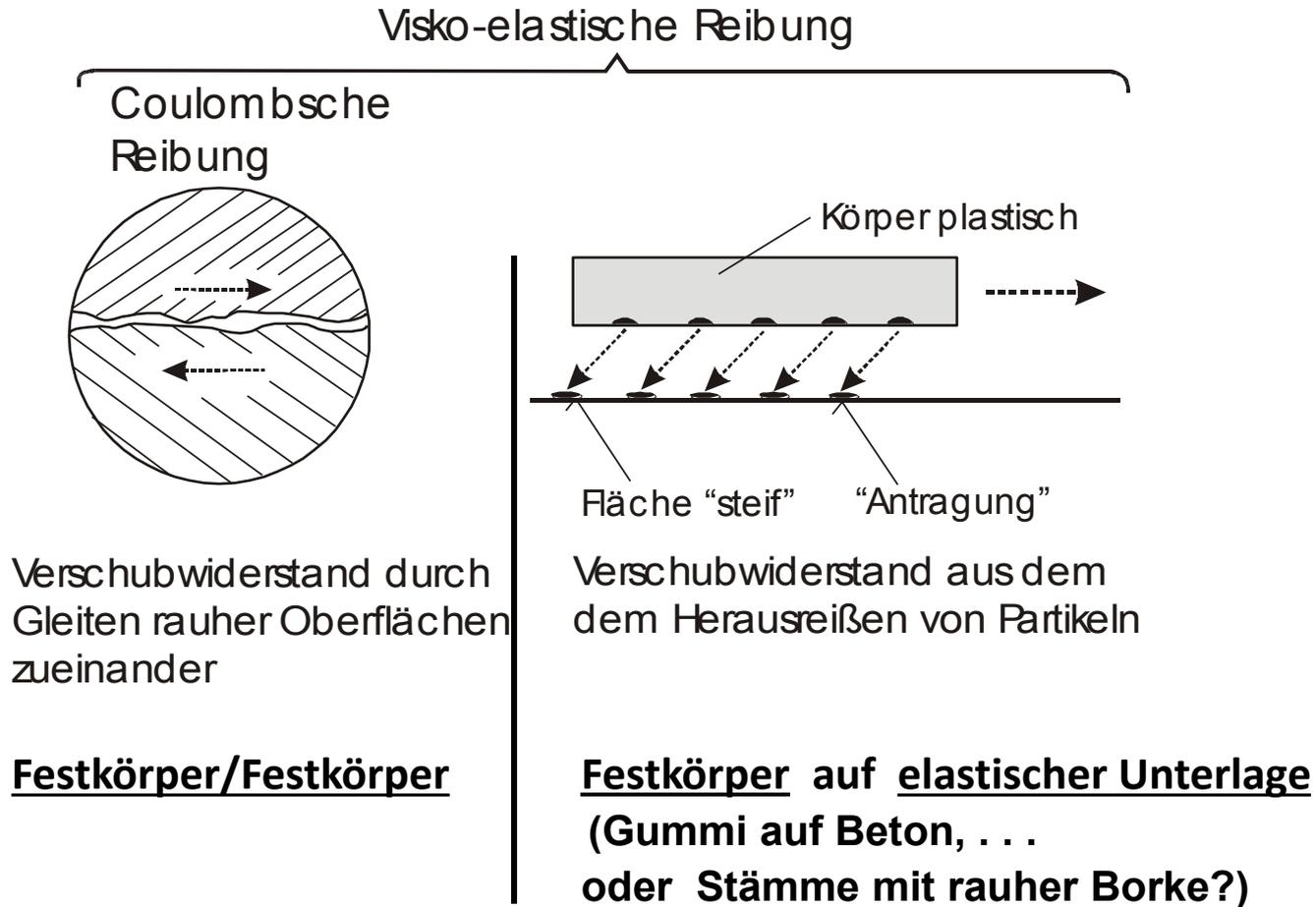


Coulombsche Reibung

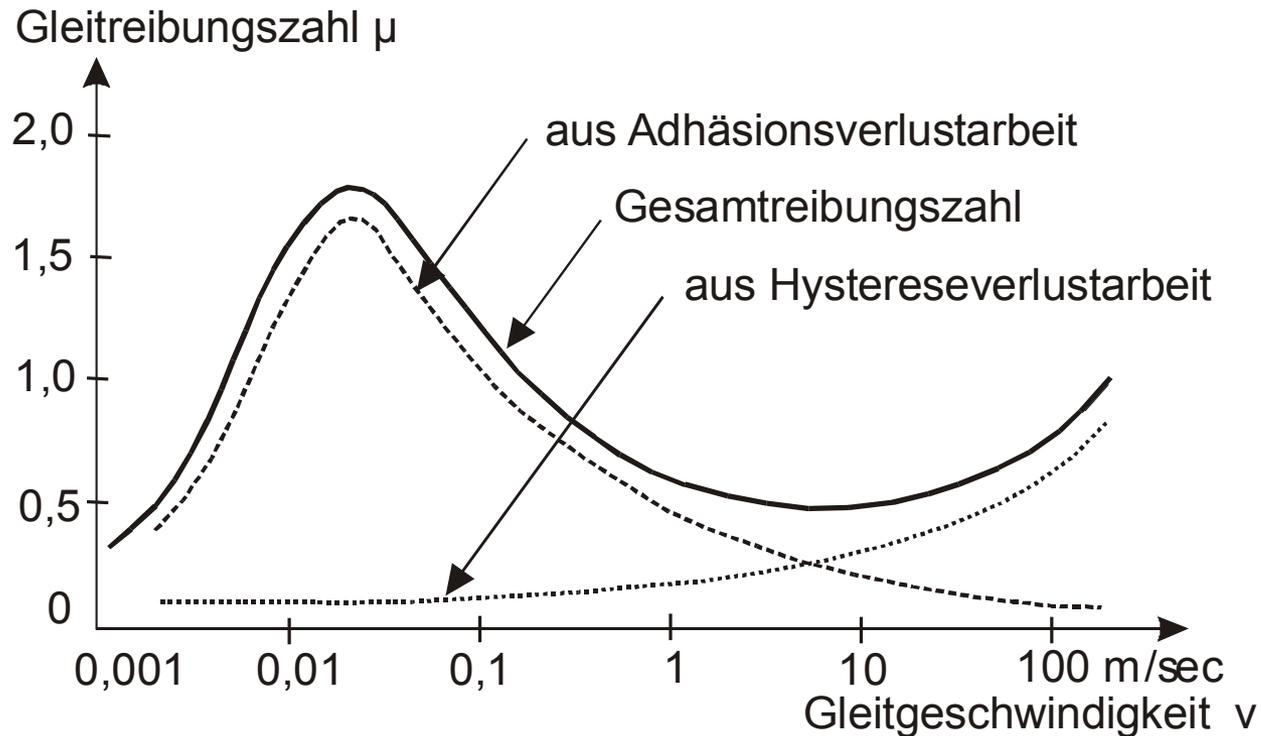
Verschubwiderstand durch Gleiten rauher Oberflächen zueinander

Wird eine Grenze der Zugkraft überschritten, geht die Ladung vom Haften in die Gleitbewegung über.

Coulombsche - visko-elastische Reibung

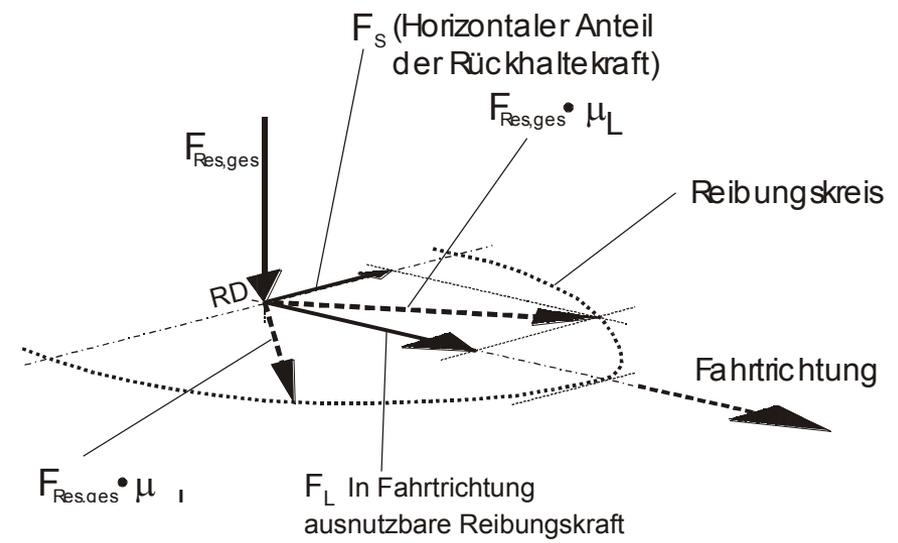
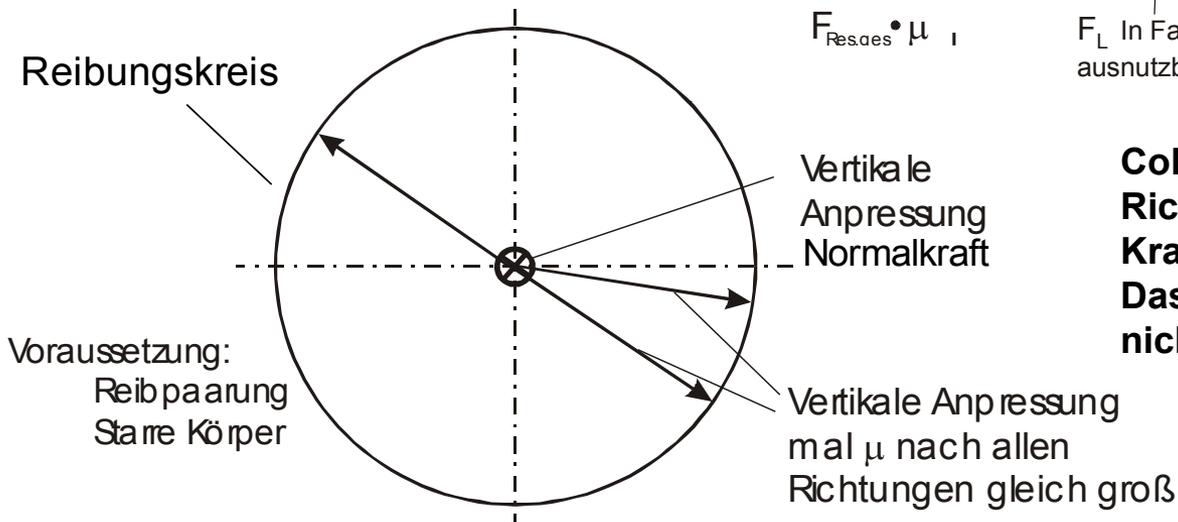


Visco-elastische Reibung



Reibungskreis

Begriff

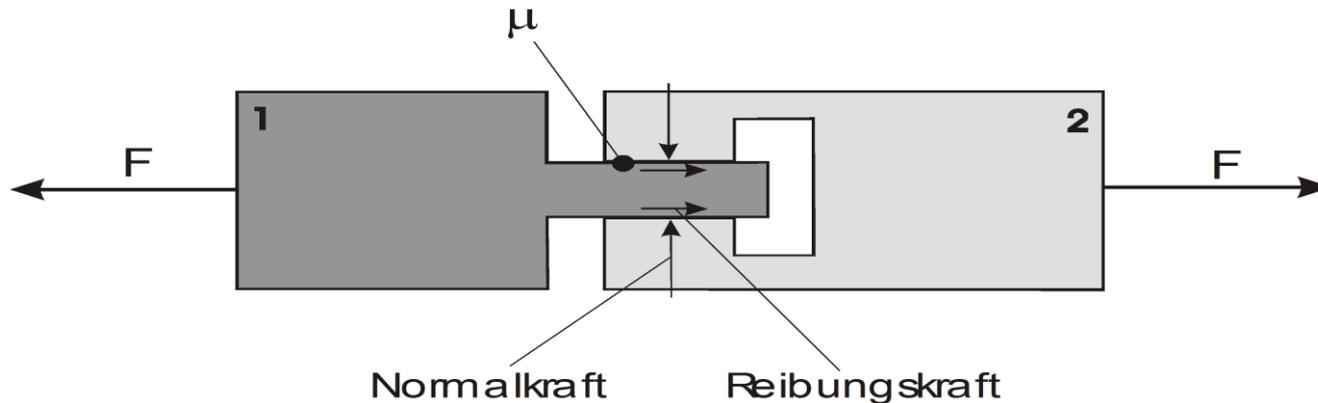


**Colombsche Reibung wirkt nach allen Richtungen mit der gleich großen Kraft.
Das ist bei Reifen auf Fahrbahnen nicht der Fall!**

Reibschluß im Maschinenbau

Die Reibung ermöglicht einen „Schluß“ zwischen Bauteilen, also eine Kraftübertragung .

„Der Schluß erfolgt über die Nutzung von Feldkräften, wie Magnetkräfte, Druckkräfte in hydrostatischen oder aerostatischen Druckfeldern, Zähigkeitskräfte in viskosen Medien oder durch mechanische Reibungskräfte.“
Konstruktionslehre, G. Pahl, W. Beitz et al.



Das Modell hat keine Aufstandsflächenreibung wie es in der Ladungssicherung fast ausnahmslos vorkommt.

Einflußgrößen Reibungssicherung

$$\text{Reibungszahl } \mu_{H/G} = \frac{F_{\text{Reibung}}}{F_{\text{Normalkraft}}}$$

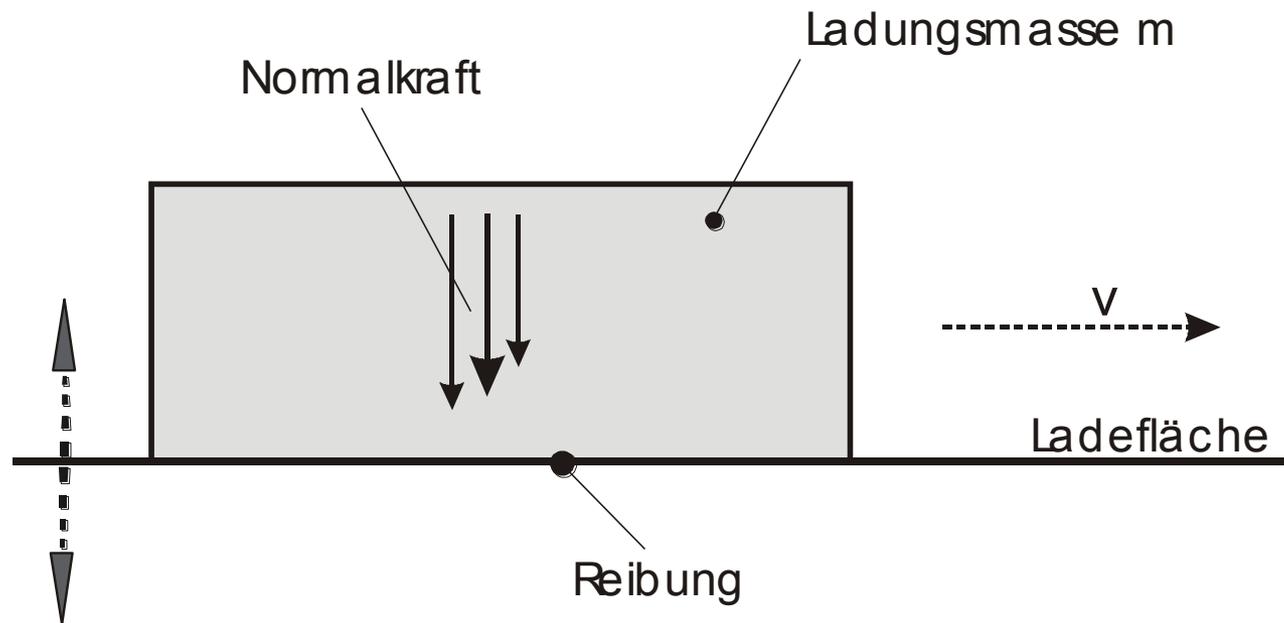
Einflußgrößen:

Normalkraft F_N \longrightarrow vertikale Aus- und Einfederung
Ladefläche

Reibungskraft F_R \longrightarrow Schrägstellung Flächen

Reibungszahl $\mu_{H/G}$ \longrightarrow Messung, welcher Wert

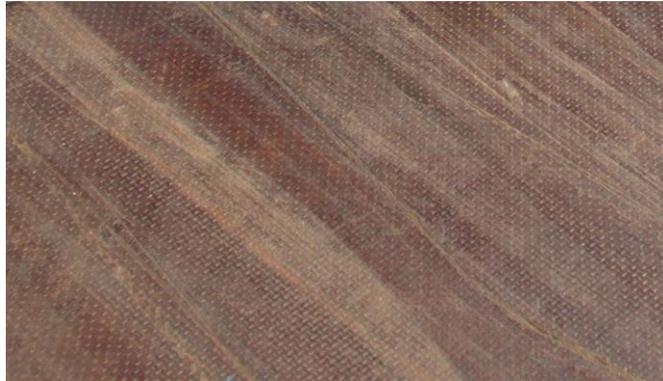
Normalkraft – schwankende Wert



Normalkraft schwankend, wegen vertikaler Einfederung.

An Aufliegern mit Blattfederung kann die Normalkraft einer Ladung bis auf 30 % abfallen?

Aufstandsflächenreibung



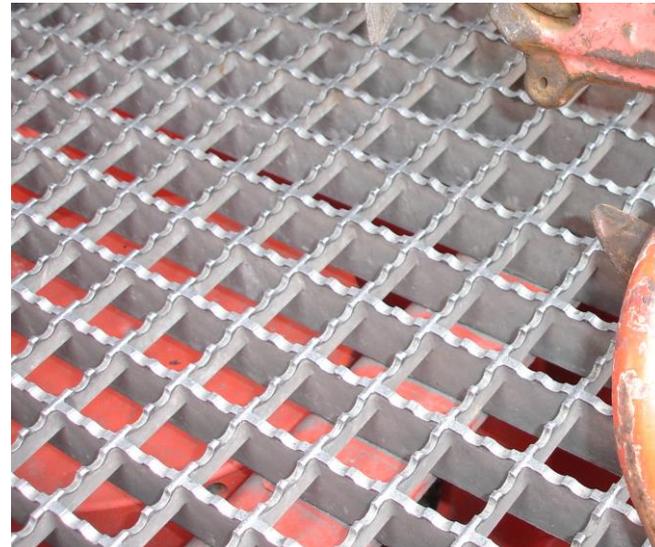
Siebdruckboden, neu



Siebdruckboden, verbraucht



Tropfenblech



Reibungszahl



**Rutschhemmende Matten,
Reibschlußerhöhung
Holzoberflächen: rau, glatt**



Mischreibung



Eignung rutschhemmende Matten

Normalkraft auf schiefer Ebene

$$\mu = \tan \alpha$$

Ladung haftet bei

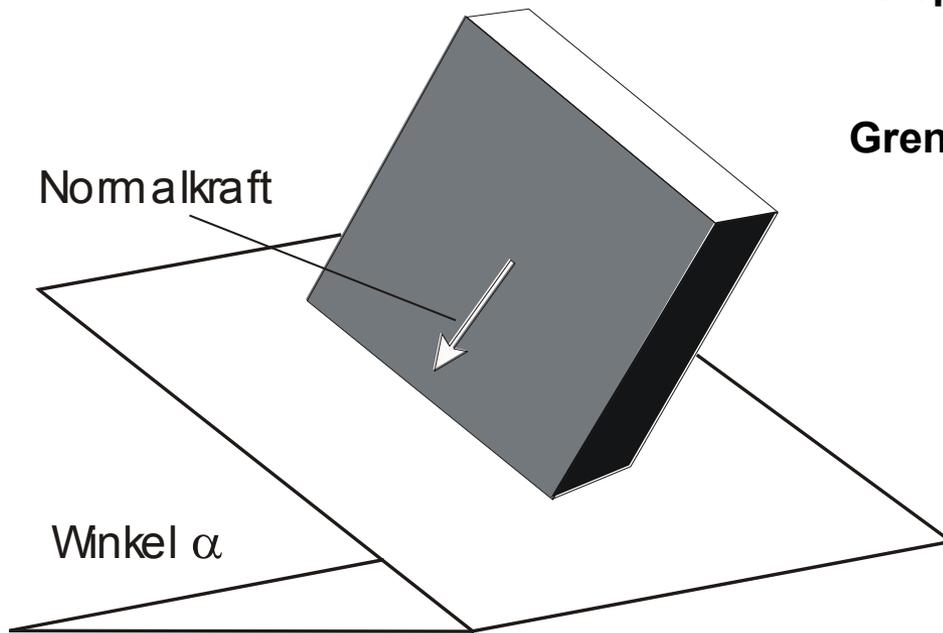
Zum Beispiel: $\mu = 0,8$

Winkel α ca. 40 Grad

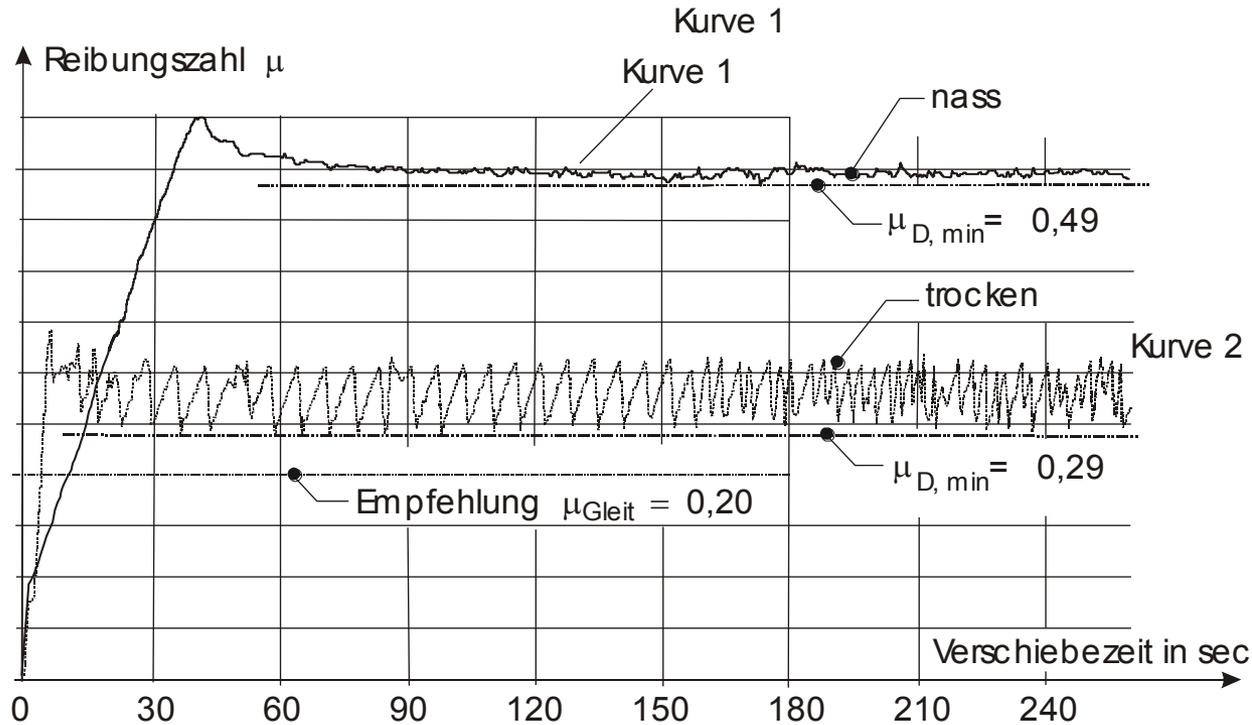
Grenze: $\mu = 0,6$

Winkel ca. 30 Grad

5,7 Grad = 0,1 g

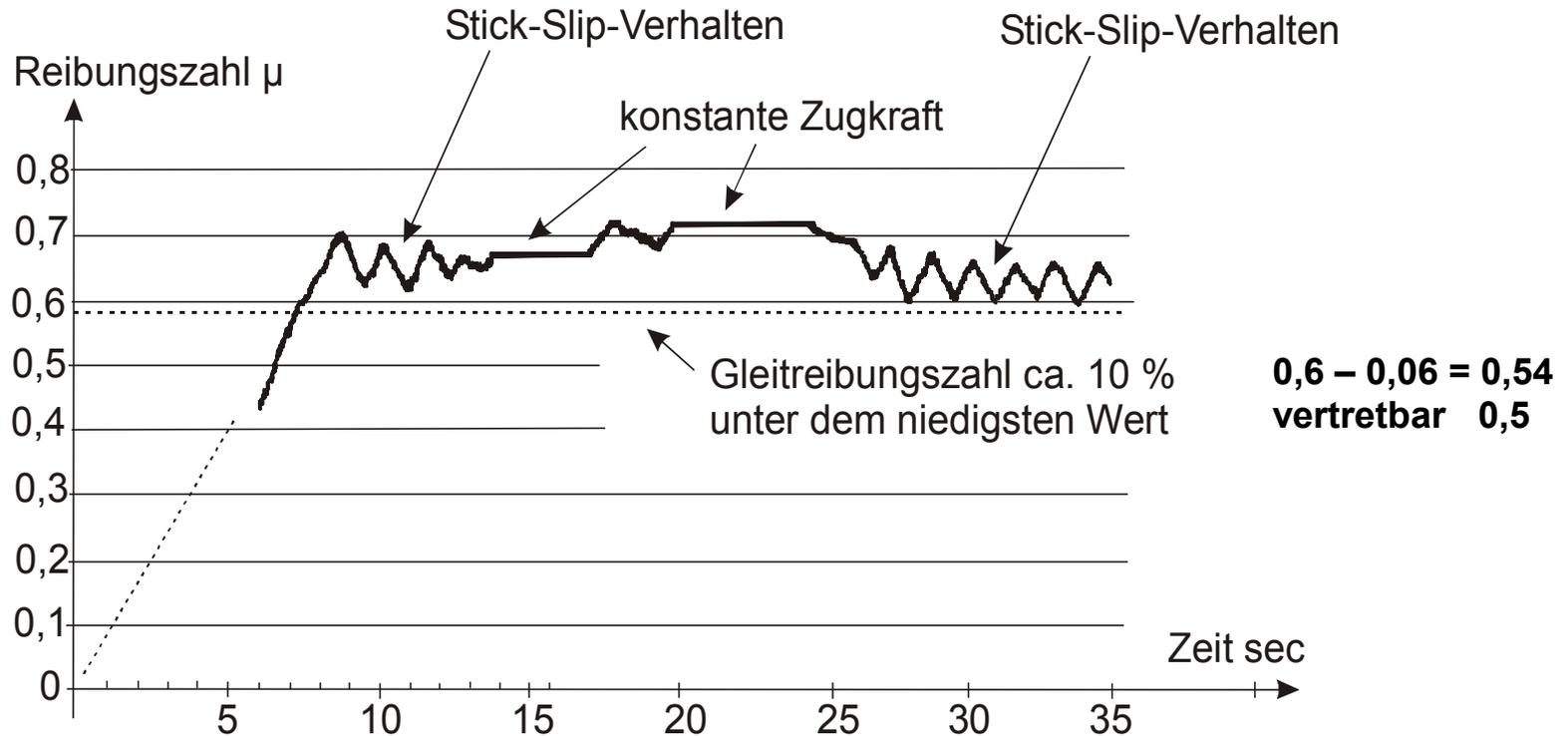


Reibungszahl - Haften und Gleiten



-  **Haften – Gleiten (Festlegung Gleitreibungszahl)**
-  **trocken – naß**
-  **Stick-Slip-Effekt**

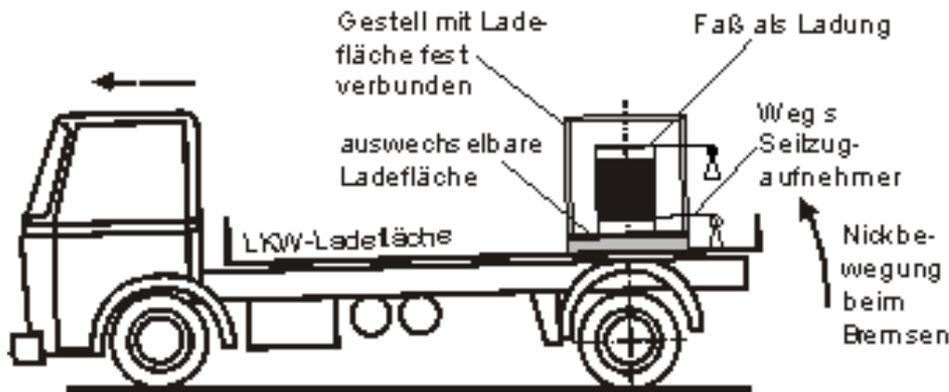
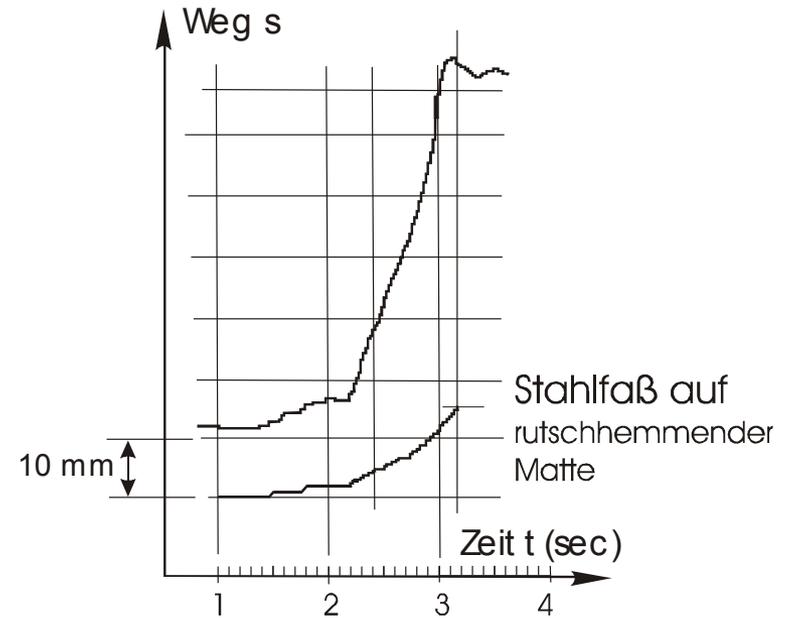
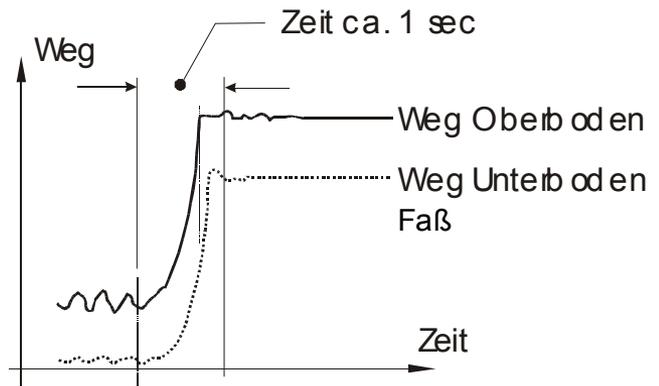
Messung Gleitreibungszahl



Übergang Haften/Gleiten
Wechselnd: Stick-Slip - Gleiten
Gleitwerte unterschiedlich

Reibungszahl - Übergang Haften zu Gleiten

Versuche mit Fässern auf verschiedenen Böden [3]

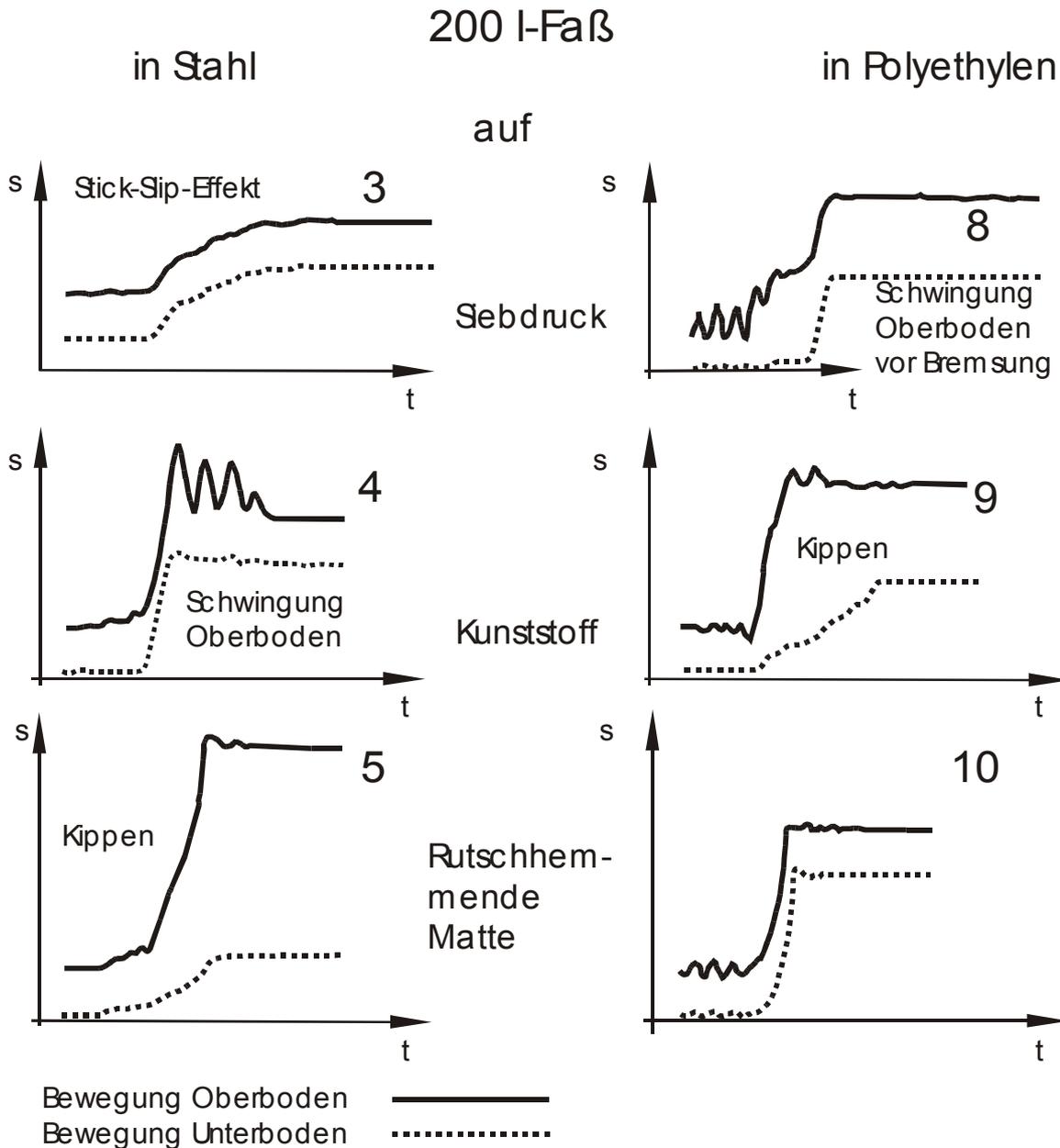


Versuchsanordnung [3]

Übergangs- reibung

Ober- und
Unterboden von
Stahl und
Kunststoffässern
auf verschiedenen
Ladeflächen

Aus Bremsung an
der Grenze
Haftreibungsver-
zögerung.



Berechnungen zur Reibungssicherung

Reibungskraft

Aufstandsflächenreibung als alleinige Sicherung

Reibkraft F_R größer als Verzögerungskraft $F_{V\text{Fahrzeug}}$

$$F_R > F_{V\text{Fahrzeug}}$$

$$F_G \cdot \mu_H > m \cdot a_{VF}$$

$$m \cdot g \cdot \mu_H > m \cdot a_{VF} \quad | : m$$

$$\cancel{m} \cdot g \cdot \mu_H > \cancel{m} \cdot a_{VF}$$

$$g \cdot \mu_H > a_{VF}$$

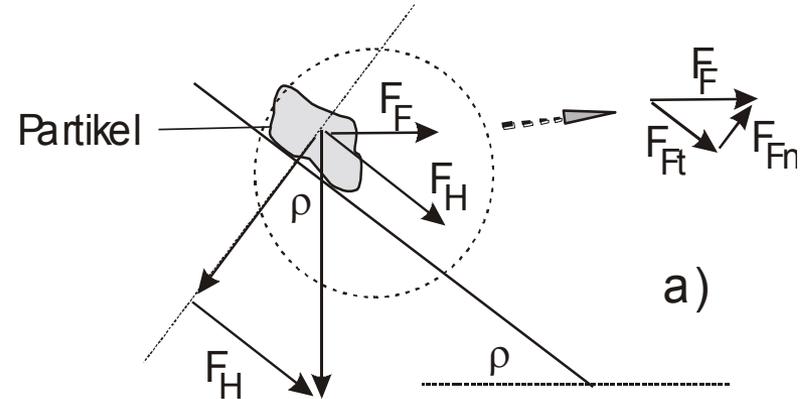
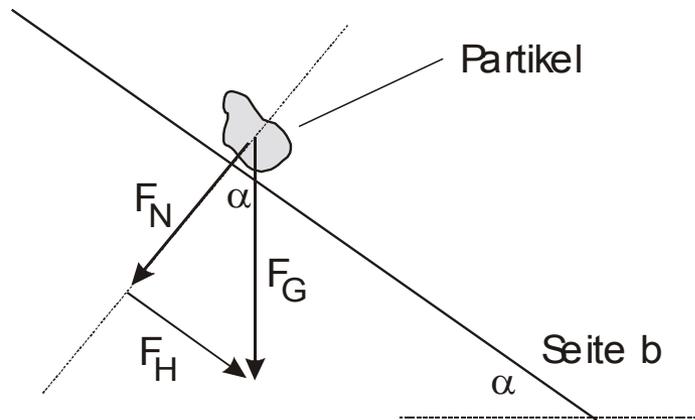
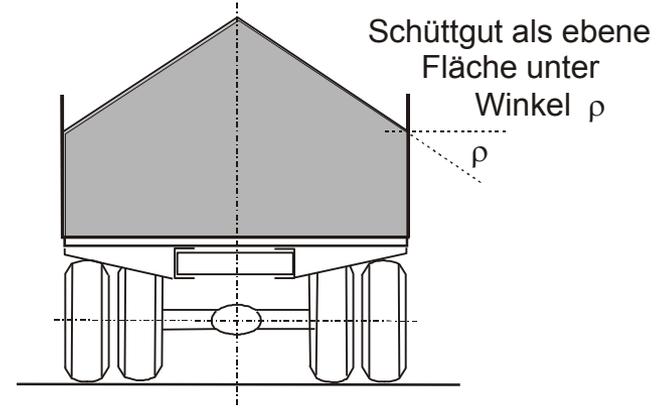
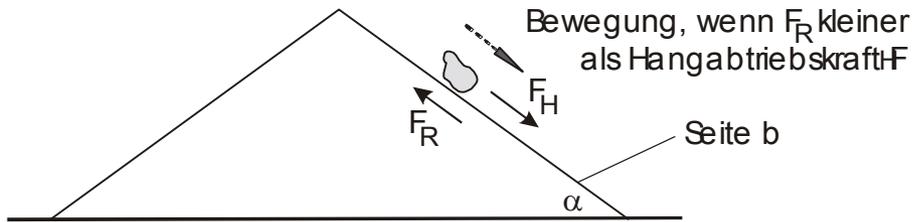
Feststellungen:

Reibung allein ist bei Gleitbewegungen nicht masseabhängig!
Reibhaftung allein aus Gewichtskraft reicht als Rückhaltung
wegen der vertikalen Aus- und Einfederung als Längssicherung
und seitliche Rückhaltung nicht aus.

a_V soll als „Haftreibungsverzögerung“ bezeichnet werden.

Anwendungen in der Ladungssicherung

Schüttgutkegel

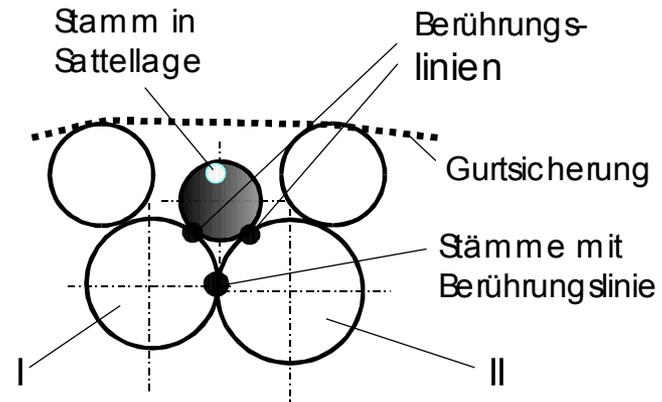
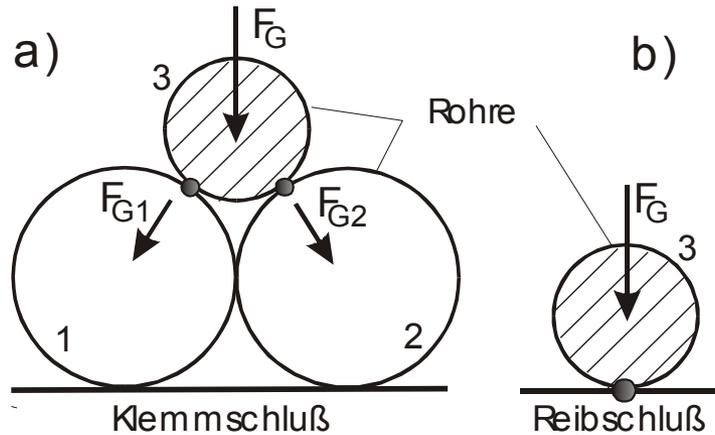


Hangabtriebskraft

Hangabtriebskraft und Fliehkraft

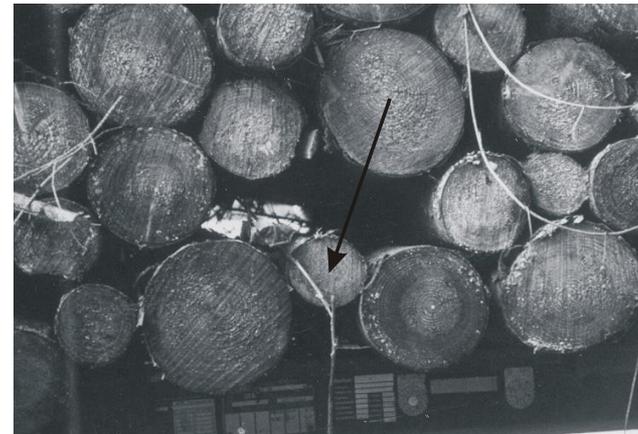
am Schüttgutkegel

Selbstverstärkung

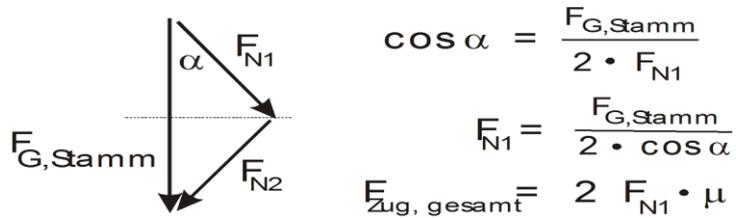


Stämme, Rohre

im Sattel liegend

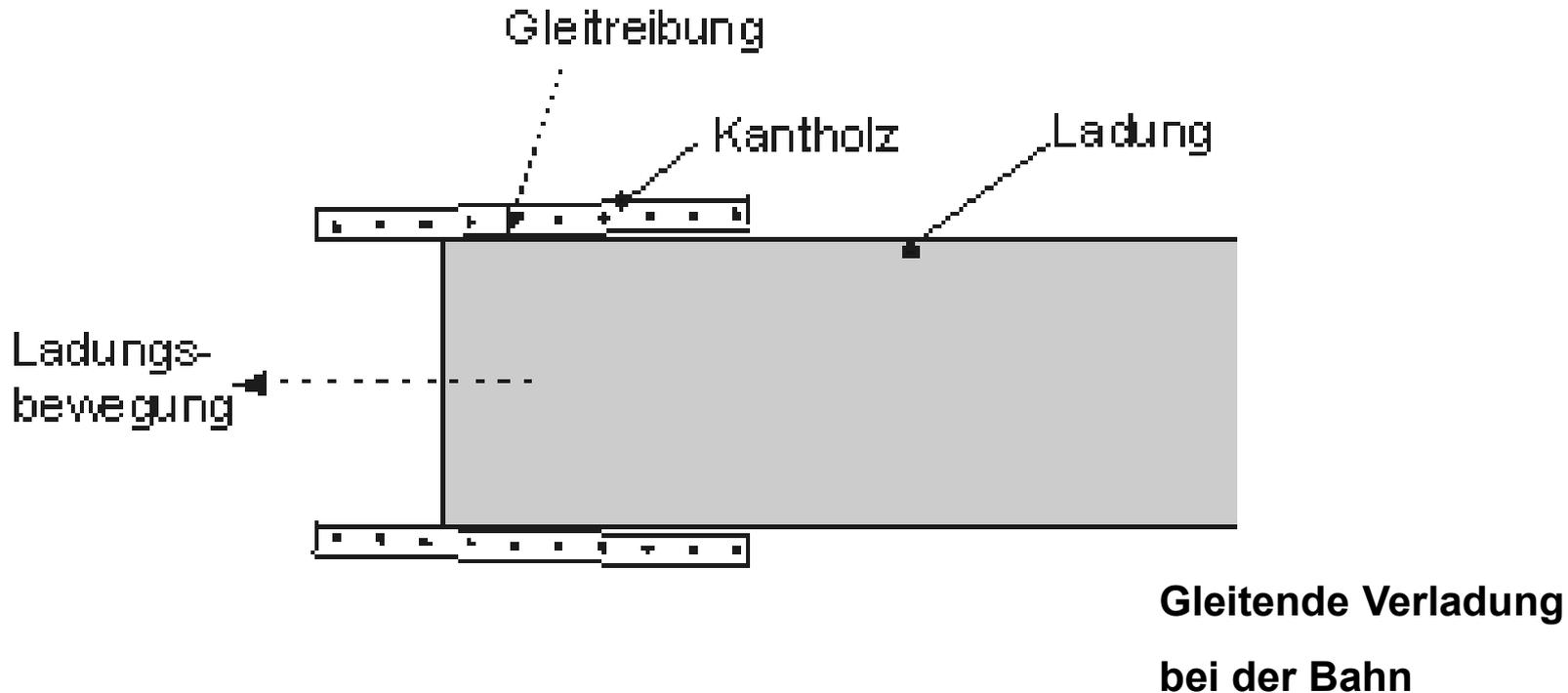


Kaverne



$$F_{Zug, gesamt} = \mu \frac{F_{G, Stamm}}{\cos \alpha}$$

Kraftschluß mittels seitlichem Klemmschluß



ÖNorm V 5750 Teil 2: „Bei gleitender Verladung wird die Bewegungsenergie durch entsprechende Gleitreibung abgebaut.“

Sicherung durch Schrägstellung der Ladung auf Schiefer Ebene

$$F_{B,s} - F_H - F_R = 0$$

Im gerade noch gehaltenen Zustand ergibt das Kräftegleichgewicht in s-Richtung:

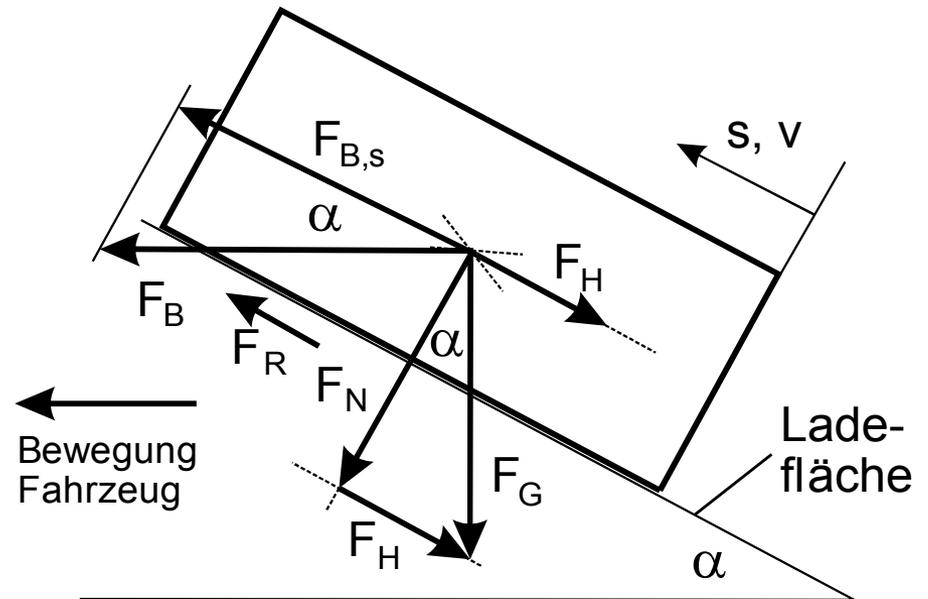
$$\leftarrow F_{B,s} < F_H + F_R \quad \text{oder}$$

$$F_{B,s} < F_G \sin \alpha + F_G \cos \alpha \mu_H \quad | : \mu$$

$$a < g (\sin \alpha + \mu_H \cos \alpha)$$

Kräftegleichgewicht in s-Richtung ergibt:

- FB Bremskraft
- FH Hangabtriebskraft
- FN Normalkraft
- FG Gewichtskraft
- FR Reibungskraft



Reibungssicherung durch Schräglage der Ladung

Schiefe Ebene – schräge Ladefläche



Ladefläche fällt zur Fahrzeugmitte beidseitig ab. Bei 38 Grad 0,8 g Sicherungswirkung



Anwendung: Bierkastensicherung

Literatur

- [1] **DIN 50 281**
- [2] **Stribeck, R. Die wesentlichen Eigenschaften der Gleit- und Rollenlager, VDI Zeitschrift BD. 46, Nr. 36 – 39, 1902**
- [3] **Podzuweit U., Forschungsvorhaben für das BMV, 1994**
- [4] **Kragelski, Igor, Dobycin, Michail, Nikulaevic, Kambalov, Vjaceslav, Sergevic, Grundlagen der Berechnung von Reibung und Verschleiß, Carl Hanser Verlag, München Wien 1983, ISBN 3-446-13619-3 (Übersetzung aus dem Russischen von Gottlieb Polzer u. a.), VEB Verlag Technik, Berlin, 1982**
- [5] **Brandl, Marc, Messung von Trockenreibung, Fortschrittsberichte Reihe 11 VDI-Nr. 292, Düsseldorf 2000, ISBN 3-18-329211-4**

14 **Niederzurrtechnik**

Inhalt

Einführung

Begriffe

Gurtkraftabbau an den Kantengleitern

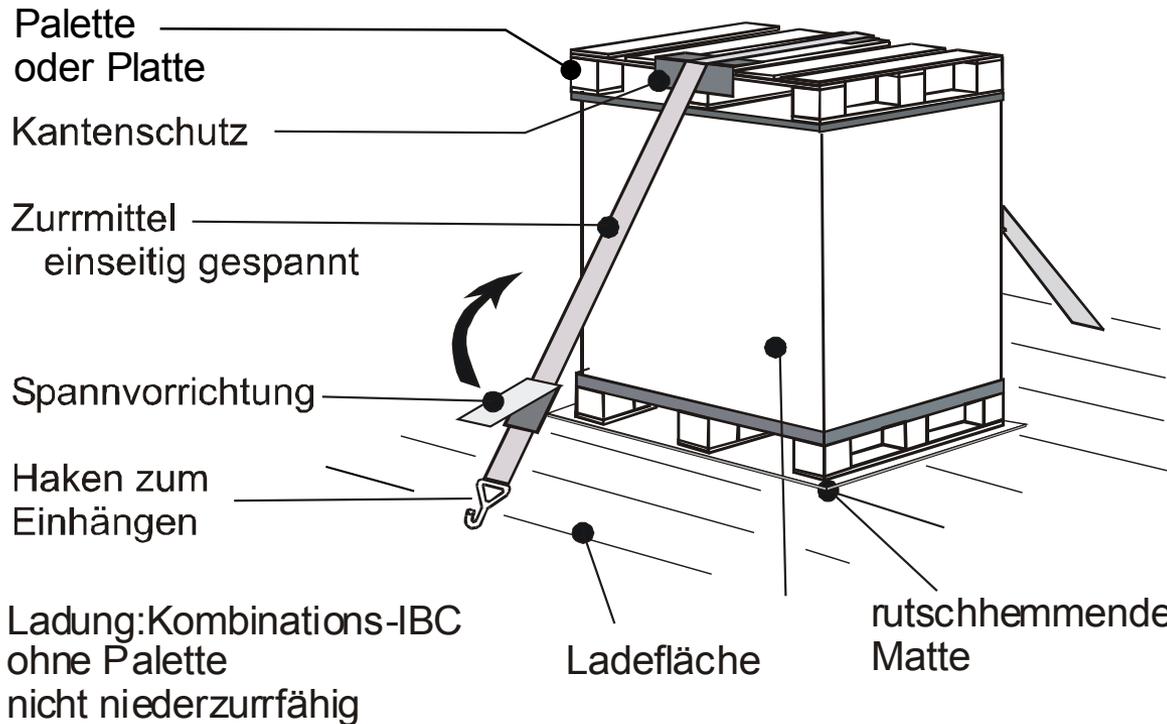
Umschlingungswinkel – Ladung

Eytelweinsche Gleichung

Berechnung der Niederzurrwirkung

Versuche zur Niederzurrung

Niederzurren - zur Technik



Niederzurren heißt, daß die Ladung mittels eines Zurrmittels (Gurt, Stahlseil, Kette, Draht oder Stangen) fester an die Ladefläche gepresst wird und damit die Reibungskraft zwischen Ladung und Ladefläche über die Anpressung aus der Gewichtskraft hinaus erhöht wird.

Ziel ist es, Eigenbewegungen der Ladung gegenüber dem Fahrzeug zu verhindern.

**Nur 1 Gurt! Ein Gurt ist kein Gurt!
Anzahl stets durch zwei teilbar!**

Erhöhung Rückhaltekraft

Damit eine ausreichende Rückhaltekraft durch Niederzurrung erreicht wird, gibt es folgende allgemeine Möglichkeiten die rückhaltende Reibungskraft zu erhöhen:

1. Reibungszahl zwischen Ladung und Ladefläche erhöhen,
z. B. durch rutschhemmende Matten.
2. Handkraft mittels Flaschenzugwirkung oder mit größerem Hebelarm oder mittels Verkleinerung des Aufspulwalzenradius an der Ratsche (Übersetzung) zu erhöhen.
3. Gurtanzahl erhöhen.
4. Höhere Vorspannung im Zurrmittel durch ein größere Vorspannkraft (Winden).
5. Erhöhung der Gurtvorspannung durch Ladungsvershub in Kauf nehmen.

Definitionsvorschlag Niederzurrtechnik

„Eine Niederzurrung ist ein Ladungssicherungsverfahren bei der durch ein oder mehrere Zurrmittel die Ladung zur Ladefläche gezogen wird, so daß durch die Erhöhung der Anpreßkraft zusätzlich zum Eigengewicht eine größere Reibungskraft an der Ladungsaufstandsfläche bewirkt wird, um damit eine Eigenbewegung der Ladung in Bezug zum Trägerfahrzeug bei Einwirkung von horizontalen Kräften zu verhindern.“

Die Anpressung muß ausreichen, um auch bei vertikalen Beschleunigungen der Ladefläche, z. B. aus Fahrbahnunebenheiten bei gleichzeitigem Wirken von Horizontalkräften an der Ladung Eigenbewegungen zu verhindern.“

Die Wirkung der Sicherungstechnik ist nur mit einer Vorspannung des Zurrmittels gegeben. Und die Vorspannung muß definiert sein. Sie ist masseabhängig! Je größer die Ladungsmasse ist, desto größer muß die Anzahl der Gurte sein.

Voraussetzungen

Formstabilität der Ladung



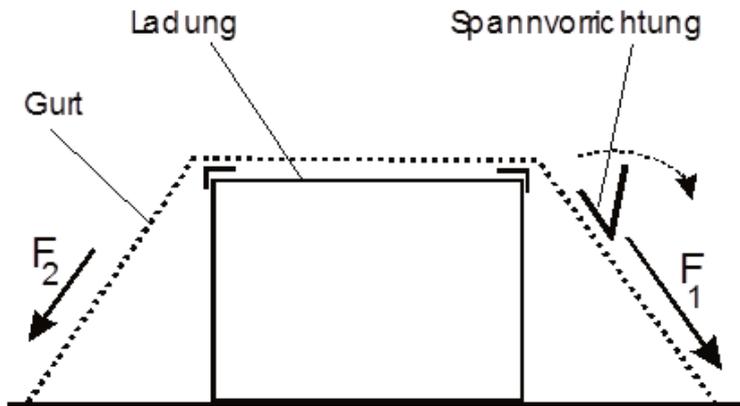
**Formstabil, Niederzurrung möglich.
(Dextrose, feucht)**



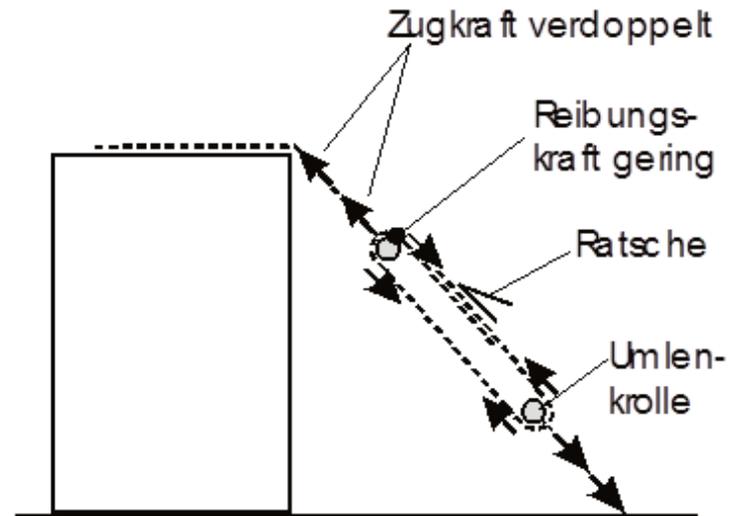
**Nicht formstabile Ladung, Niederzurrtechnik nicht
anwendbar
(Inhalt z. B. Kaffeebohnen)**



Spanntechnik



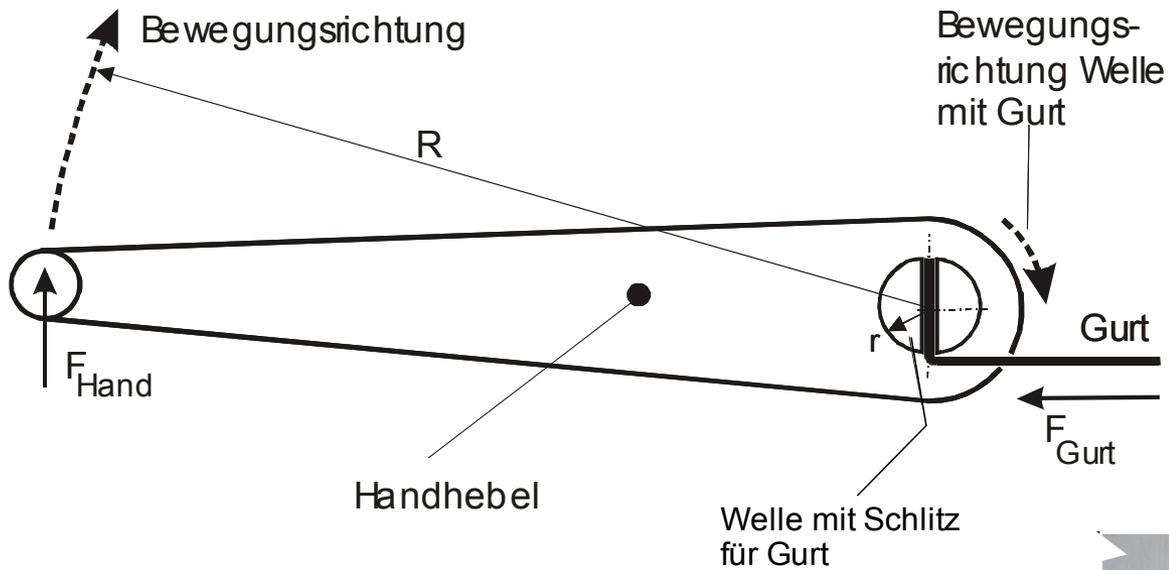
1 Gurt - einseitig gespannt



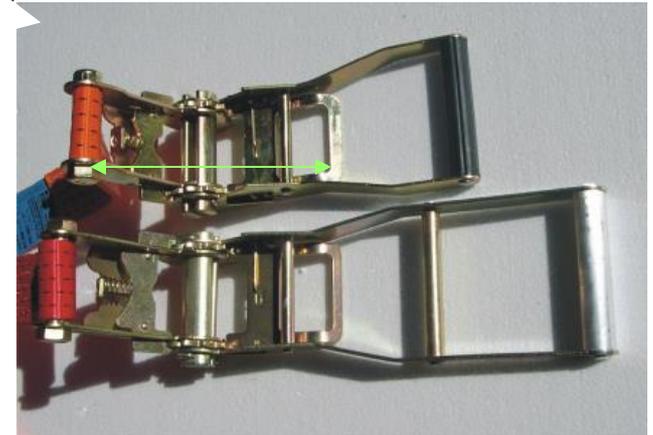
Flaschenzugwirkung,
Gurtdehnung
groß!



Funktion Spannen

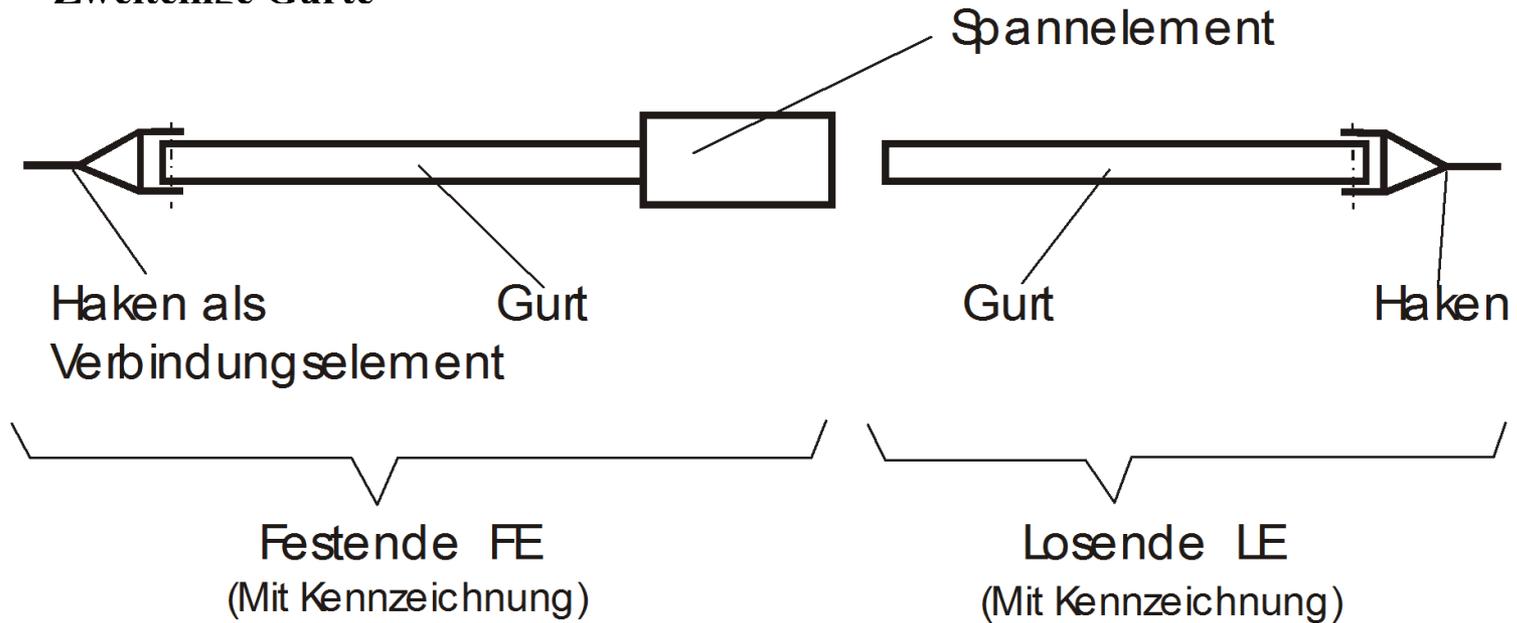


Übersetzung: $F_{\text{Gurt}} = F_{\text{Hand}} \frac{R}{r}$



Zurrgurte I

- Einteilige Gurte
- Zweiteilige Gurte



Zurrgurte II

- Kombinierte Gurte
- Spezialgurte für besondere Anwendungen



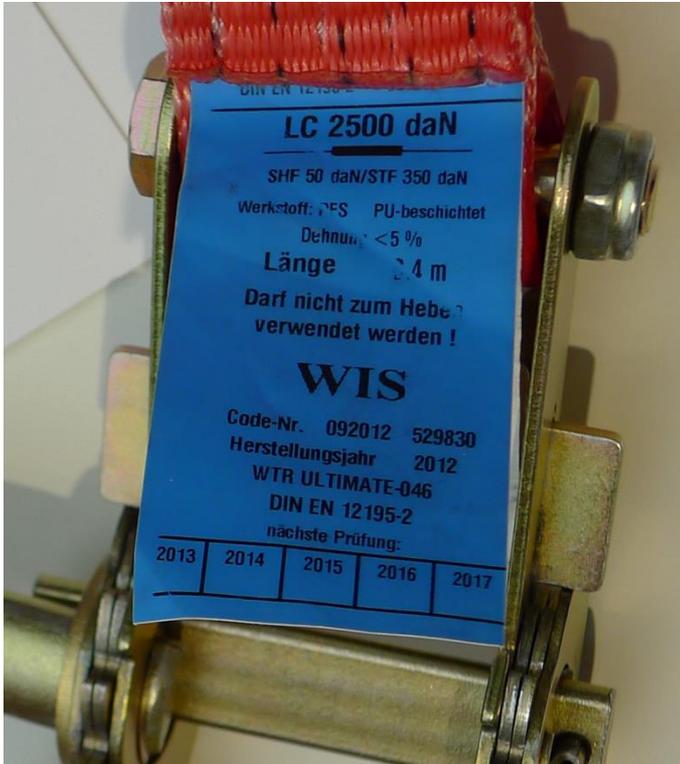
Etikettfarbe

Polyester (PES) —> blau

Polyamid (PA) —> grün

Polypropylen (PP) —> braun

Kennzeichnung der Gurte



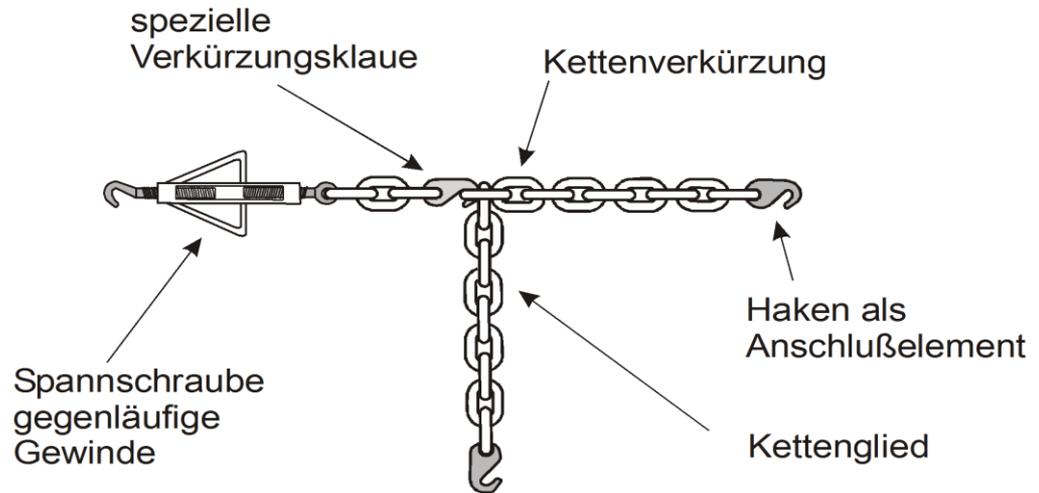
Mindestens folgende Angaben:

Hersteller	Fa. Wistra
Zulässige Dehnung	< 5 % (kleiner 7 % bei LC)
LC größte zulässige Zugkraft (LC Lashing Capacity)	2500 daN (gerader Zug)
SHF Handspannkraft (Standard Hand Force)	50 daN
STF Vorspannkraft (T_F) (Standard Tension Force)	350 daN
Herstellungsjahr	2012

Mit 50 daN Handkraft wird die Vorspannkraft von 350 daN erreicht. Eine Mindestvorspannung muß erreicht werden!

Zurrkette

Begriffe



DIN EN 12 195-3

Zurrmittel

Zurrketten
Rundstahlketten

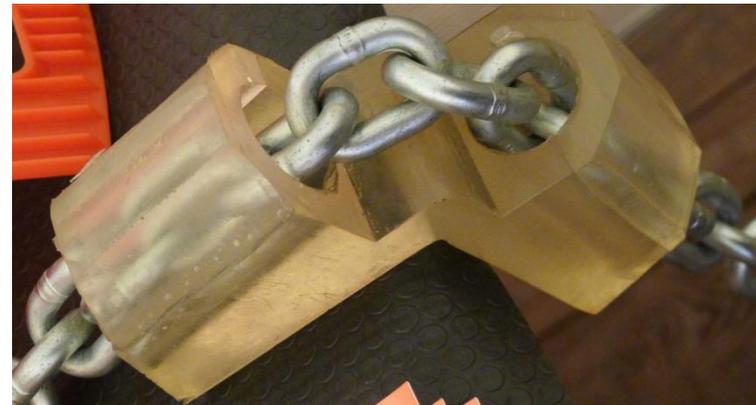
Spannelement

Spindelspanner
Mehrzweck-
kettenzug
Ratschenspanner

Verbindungselement

Haken
Schäkel
Endglied

Verkürzungselement



Kantengleiter

Kettennormen und Güteklassen

Fa. RUD

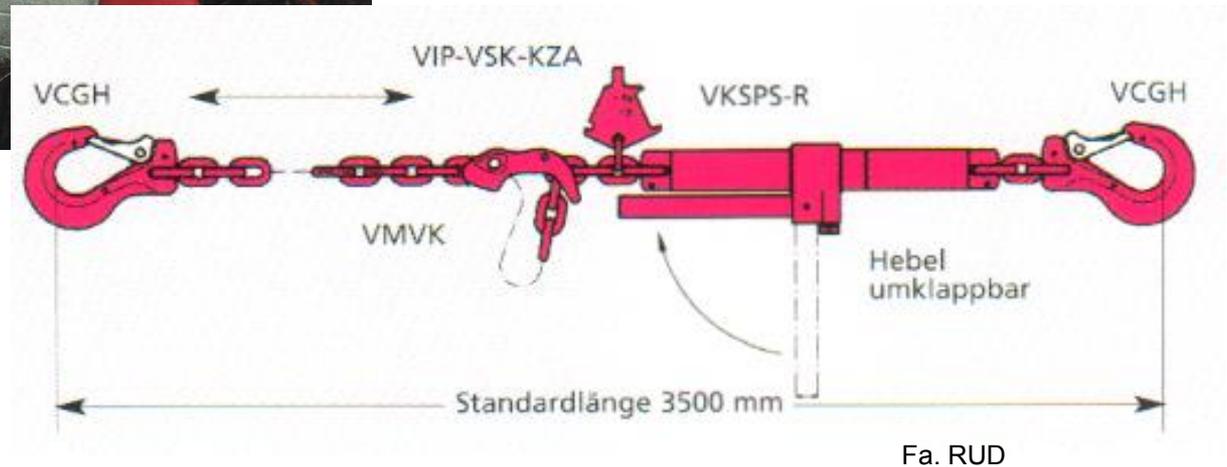
Güteklasse	2	4	8	10
Norm	DIN 32891	EN 818 Teil 3/5	EN 818 Teil 2/4/6	Sondergüte Entspr. EN 818
Bruchspannung	250 N/mm ²	400 N/mm ²	800 N/mm ²	1000 N/mm ²
Werkstoff DIN 17115	U-St 35	Unlegierter Baustahl	Edelstahl Ni 0,4 % (Vergütungsstahl) Cr 0,4 % Mo 0,15 %	
Tragfähigkeit Prüfkraft Bruchkraft			1 2,5 4	
Gütezeichen * Hersteller		4	8	8S 10
Kennzeichnung für Anschlagketten				

Kennzeichnung



Kennzeichen Hersteller oder Lieferer,
 Fertigungsdatum (Monat/Jahr),
 zulässige Zurrkraft LC in daN,
 Vorspannkraft F_R in daN und
 Normbezeichnung EN 12195 –3 und
 Hinweis: Nicht zum Heben verwenden
 (vgl. Kapitel 15, Folie 464)

$$0 \leq F_R \leq 0,5 LC !$$



Begriffe

Zurrungen

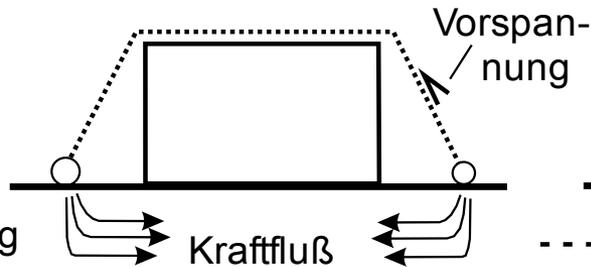
Zurrvarianten
„direkte Zurrung“

halbumschlingende Zurrung vollumschlingende Zurrung

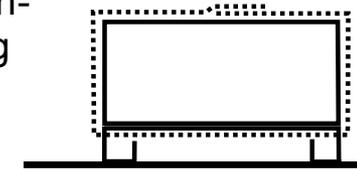
Zurrverfahren



Direktzurrung als Niederzurrung

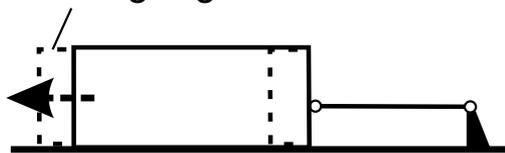


Kraftfluß durch „Ladefläche“
Niederzurrung

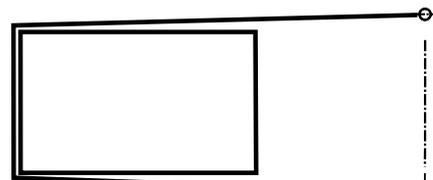


Bündelung

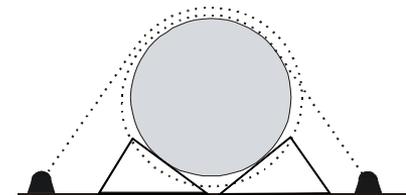
Ladungs-
bewegung



Horizontalzurrung

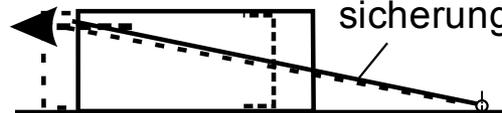


Draufsicht



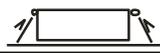
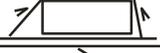
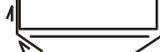
Rundtörnlasching

Seitenansicht Buchtlasching-
sicherung



U. Podzuweit

Niederzurrung Anwendungsfälle

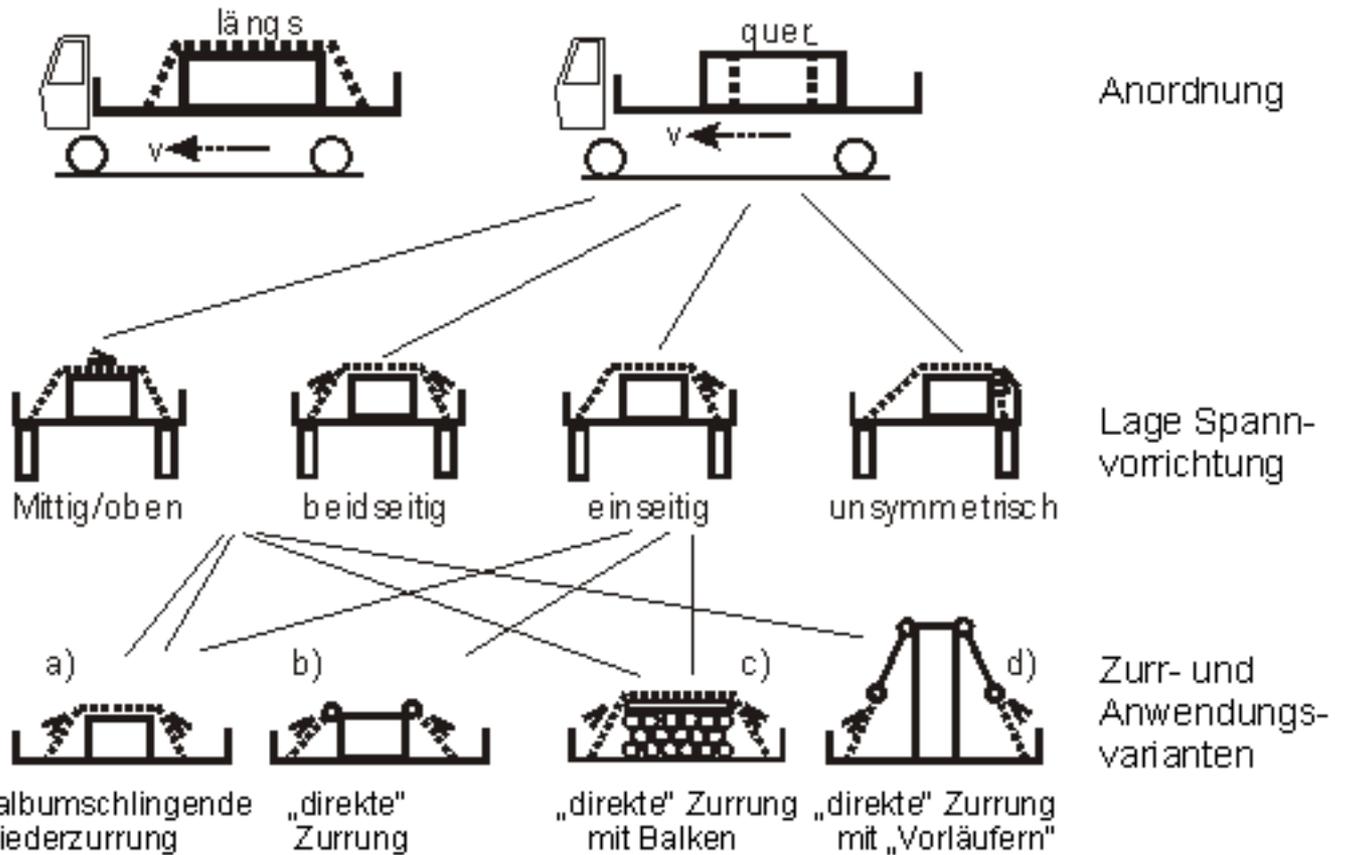
		Spann- vorrichtung	Zurr- winkel	Bemerkung		
1.1	überbreite Ladungen Ladeflächenbreite		beidseitig	sym.	“Direkte” Zurrung	
1.2			mittig	sym.	“umschlingende” Zurrung	
1.3			mittig	unsym.	“umschlingende” Zurrung	
1.4			einseitig	sym.	“umschlingende” Zurrung	
1.5			einseitig	unsym.	“umschlingende” Zurrung	
1.6			beidseitig	unsym.	“umschlingende” Zurrung	
2.1	überbreite Ladungen		Spannvorrichtung verschieden	sym.	“umschlingende” Zurrung	
2.2				sym.	Ladung geschichtet	
2.3				sym.	Ladung geschichtet, überstaut	
3.1	Sonstige Ladungen		einseitig oder beidseitig	sym.		
3.2			beidseitig		doppelter Buchtflasching seit- wärts	
3.3					Cross-Overlapping	
3.4					Rundtörnlasching	

Niederzurrungen

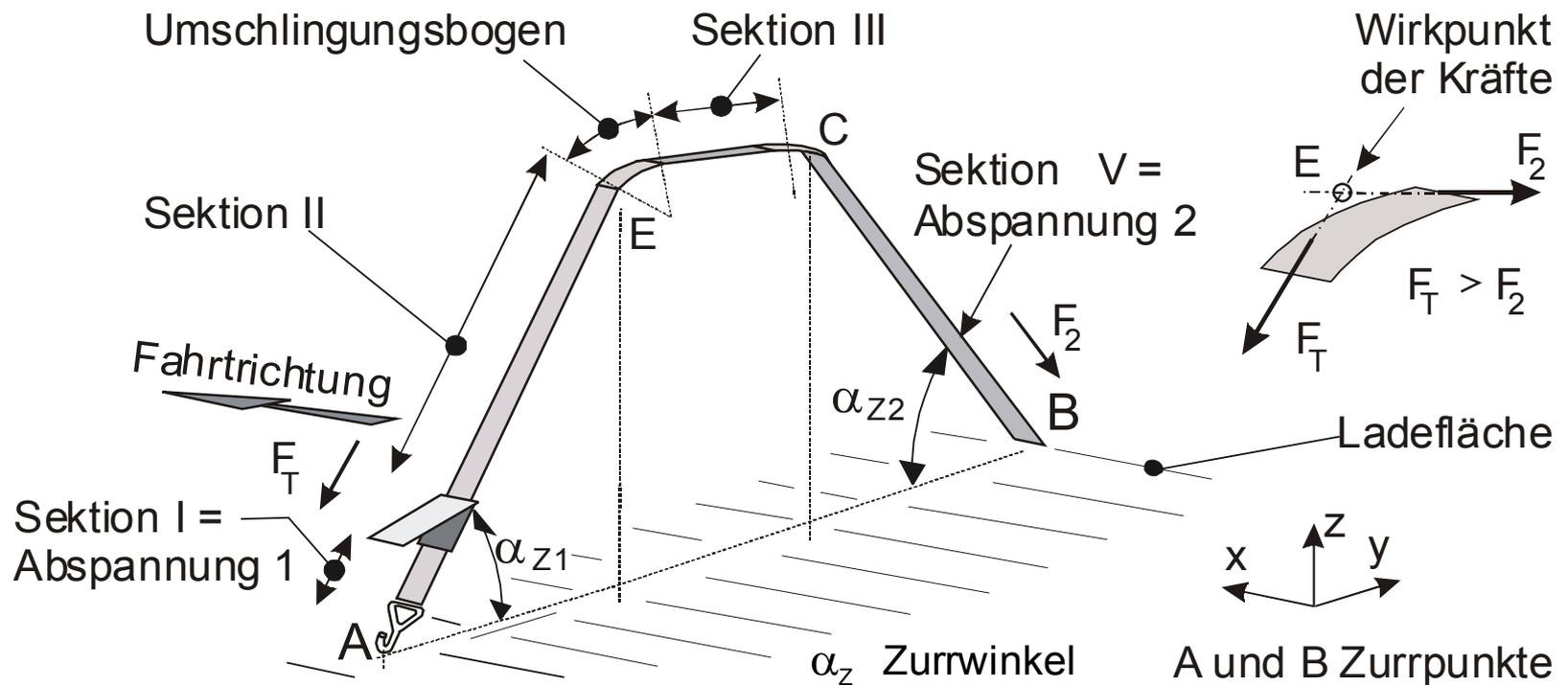
Anwendungspraxis



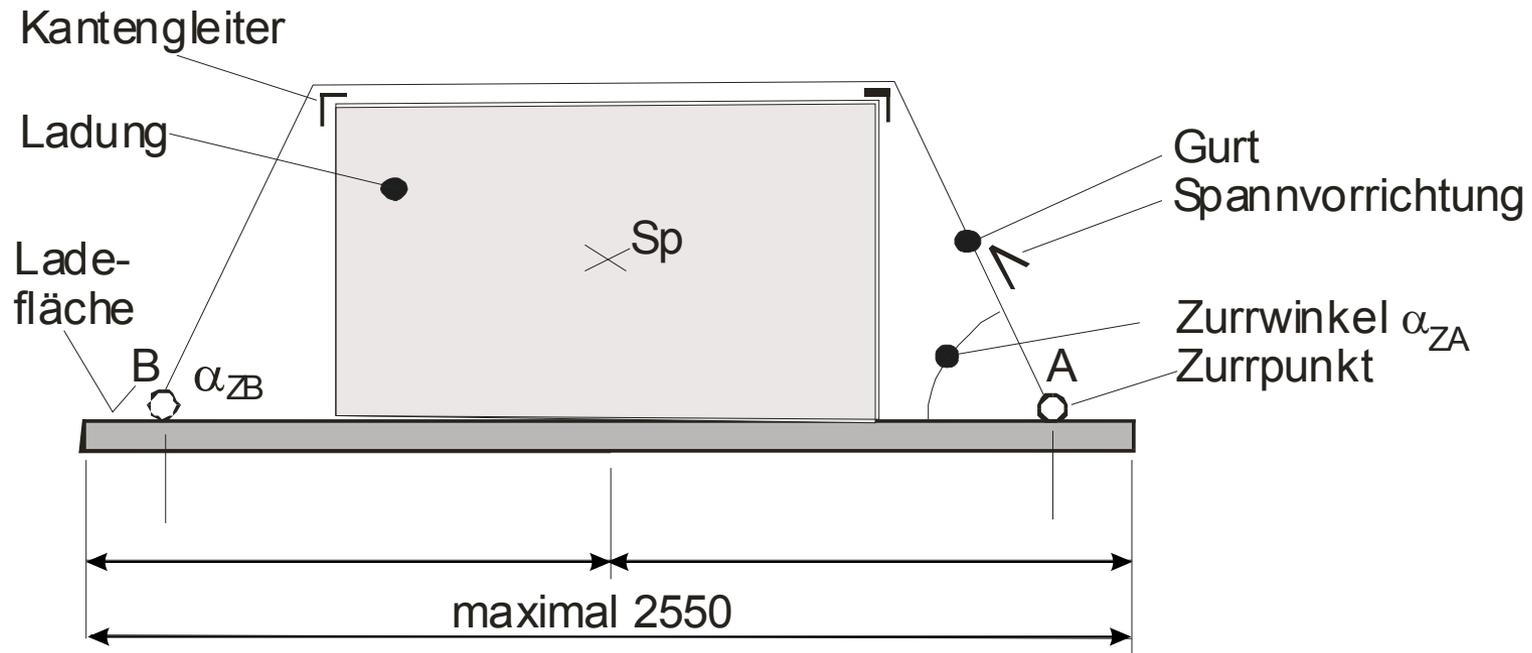
„direkte“ Zurrung mit Balken



Bezeichnungen an einer halbumschlingungen Niederzurrung



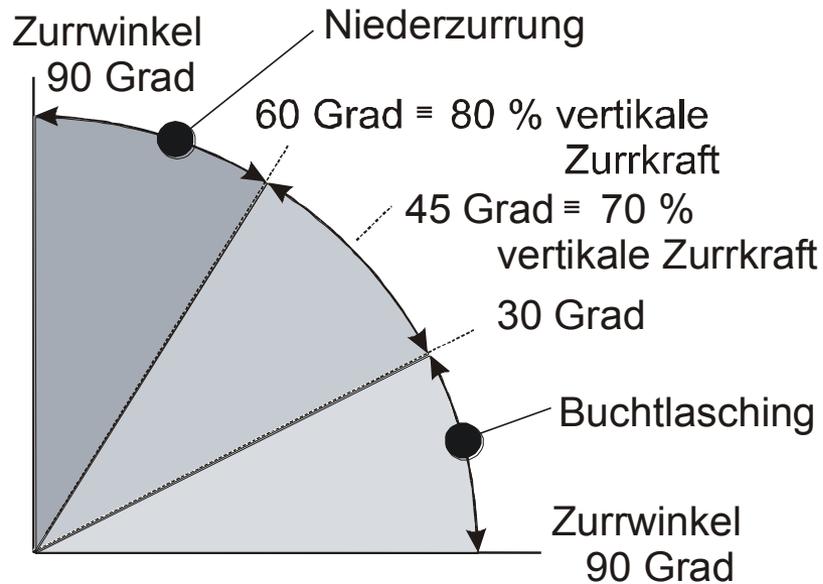
Zurrwinkel



Die Zurrwirkung α_z ist bei 90 Grad am wirkungsvollsten. Er sollte 60 Grad nicht unterschreiten.

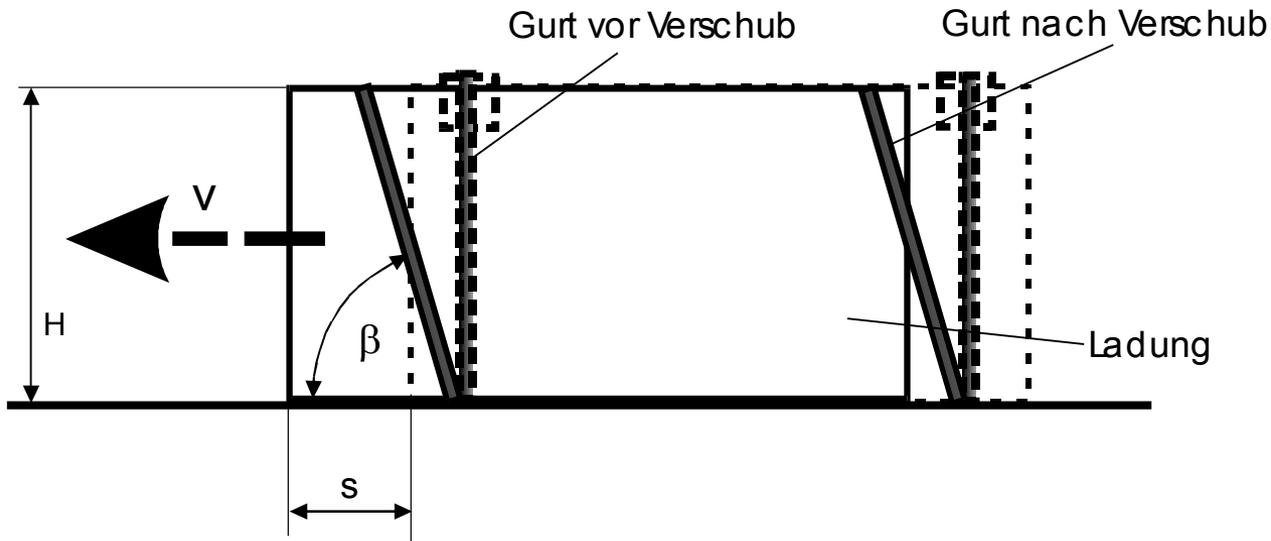
Abgrenzung Zurrwinkel

Niederzurrung - Kopfschlingenzurrung

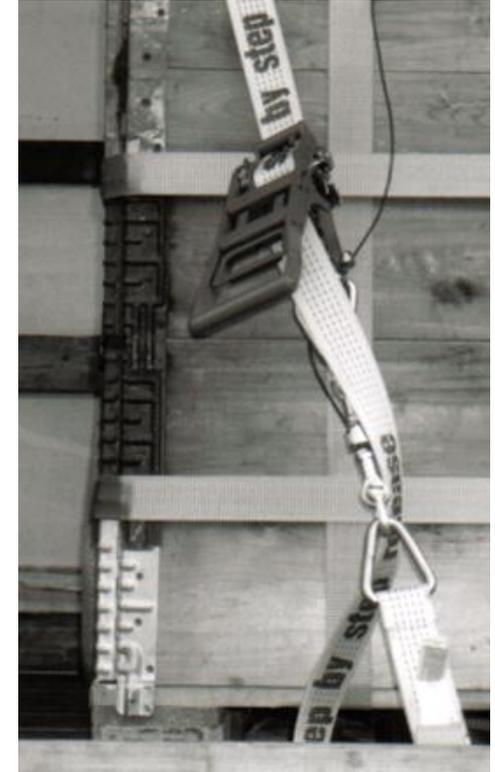


Der Zurrwinkel einer Niederzurrung sollte zwischen 60 und 90 Grad liegen.

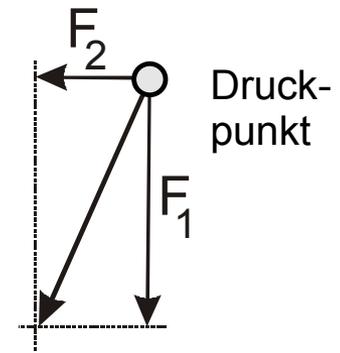
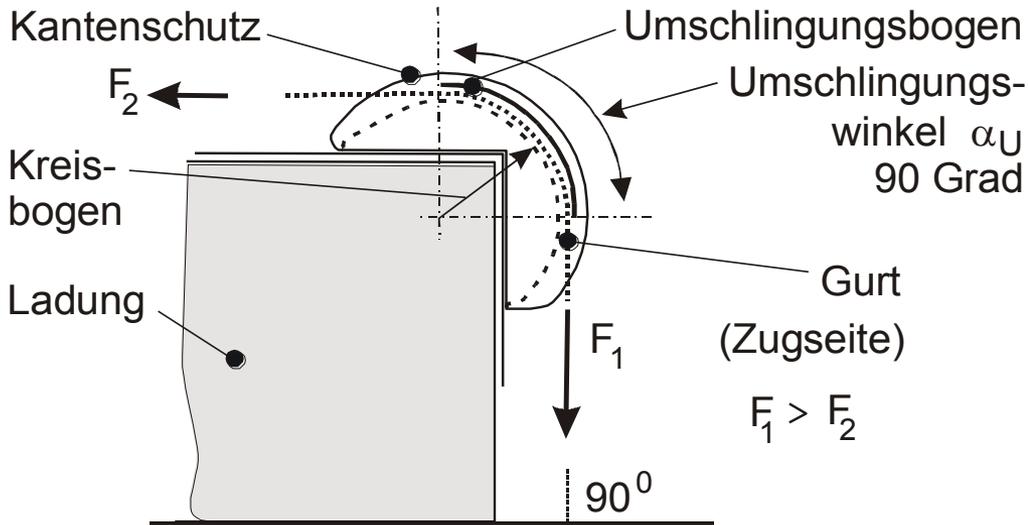
Verschubwinkel



Ladung verrutscht in Fahrtrichtung, die Zurrkraft erhöht sich, also auch die vertikale Anpressung. 1. Die Ladung muß diese zusätzliche Kraft aushalten können. 2. Die Ladung darf nicht unter den Kantengleitern durchrutschen (Reibungszahl hoch)!



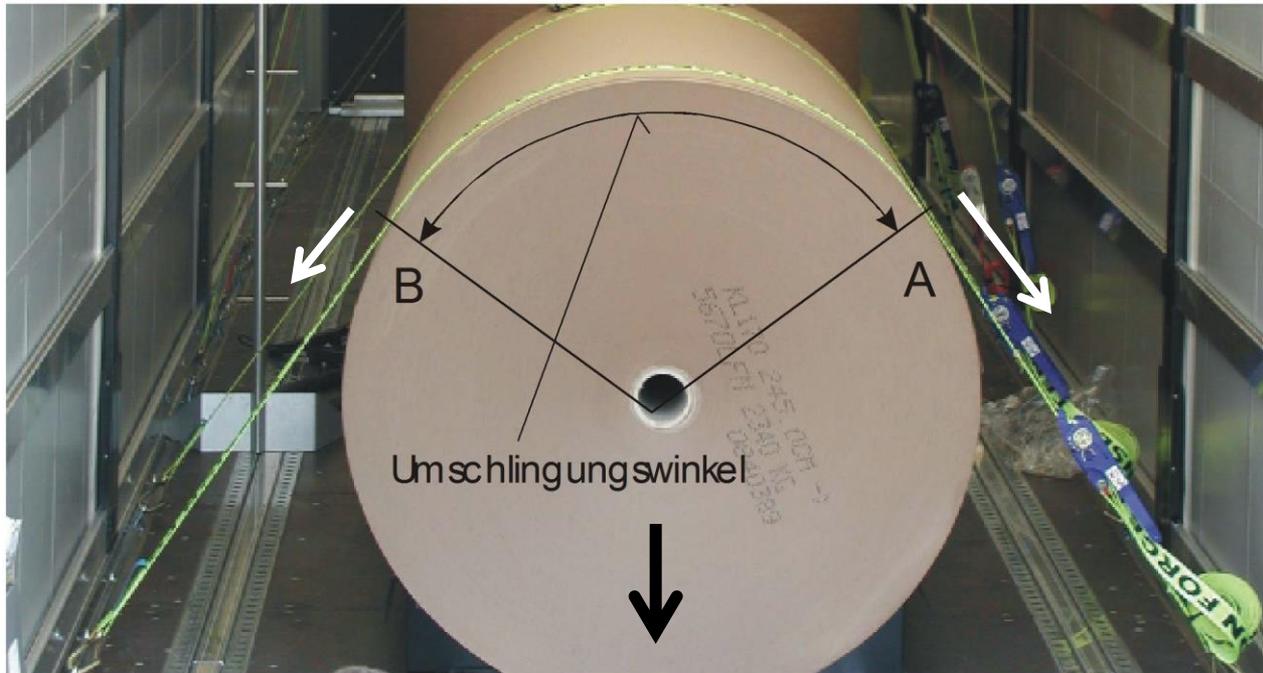
Umschlingungswinkel am Kantenschutz



- **Gurtkraft wird abgebaut!**
- **Druckpunktverlagerung ergibt Verbesserung der vertikalen oder horizontalen Anpressung.**

Umschlingungswinkel

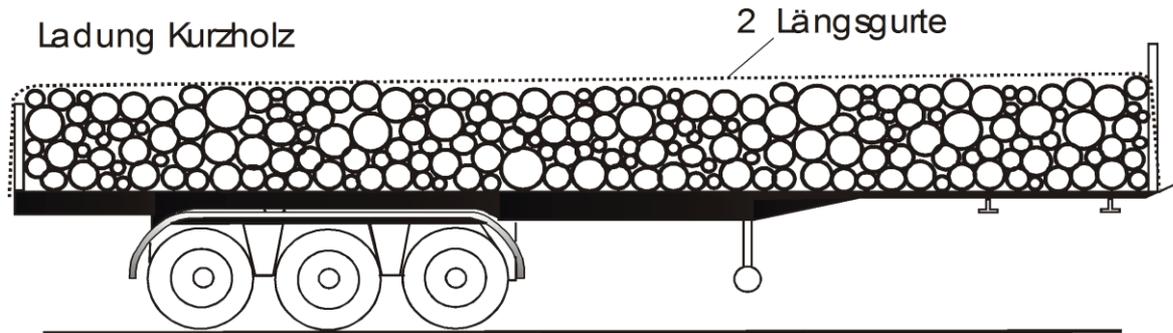
Beispiel



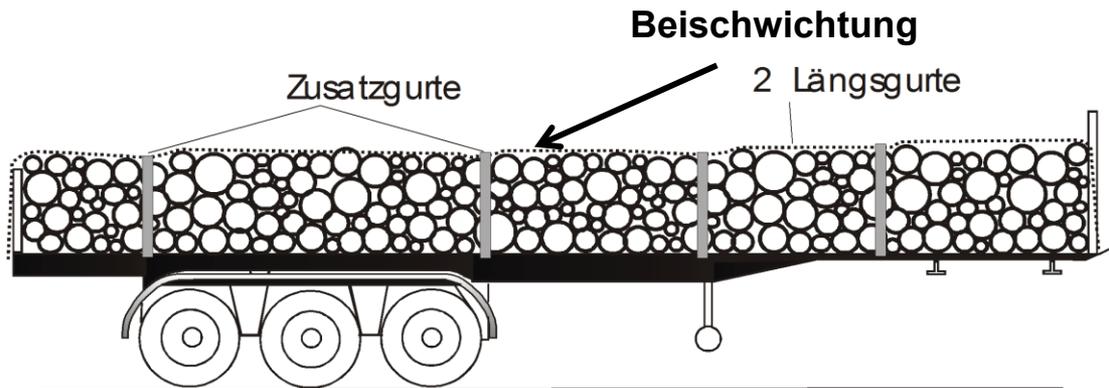
**Reibung an der Gurtauflage mit abnehmender Dehnkraft im Zurrmittel.
Kein Umschlingungswinkel, folglich keine Niederzurrkraft!**

Wirkung Umschlingungswinkel

Verbesserung durch Beischwichten



Keine Niederhaltewirkung!

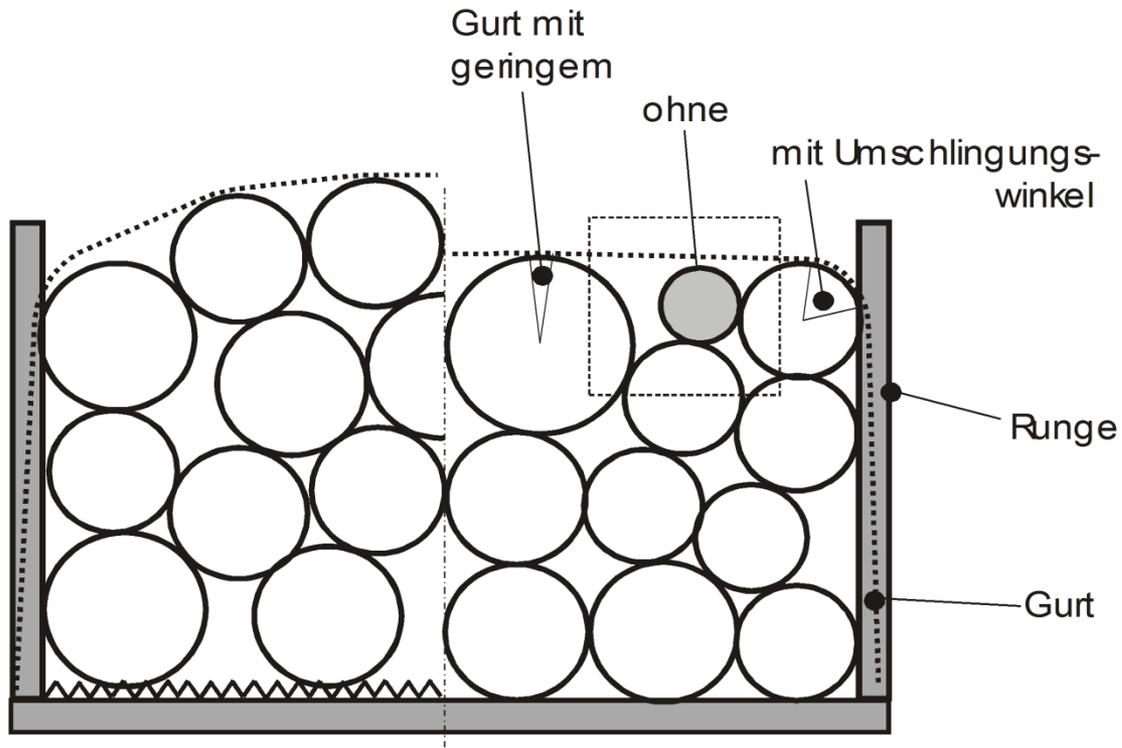


Niederzurzwirkung unsicher!

**Zusatzgurte mit
Beischwichtungen
Besser als oben, aber
ebenfalls nicht sicher!
Versuche in [6]**

Stämme

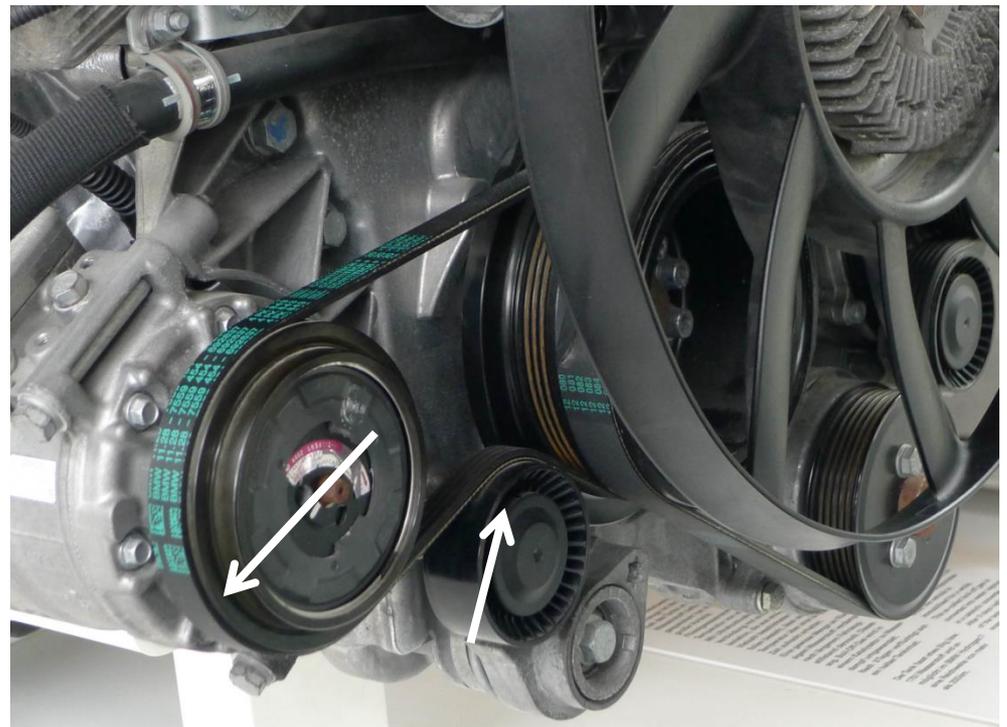
Längsverladung, mit und ohne Umschlingung



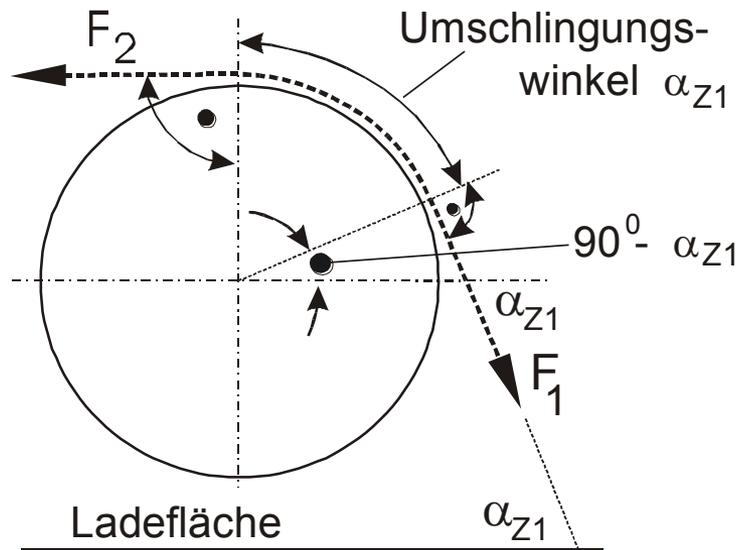
Ab Mitte Fahrzeug nach rechts keine Niederzurrwirkung!

Umschlingungswinkel am Riementrieb PKW-Motor

Ziel:
Zu geringe Umfangskraft an einer
Riemenscheibe durch Vergrößerung
des Umschlingungswinkels mit Zusatz-
rollen zu verbessern!



Eytelweinsche Gleichung



$$\mu_K = \frac{180^\circ \cdot \ln \frac{F_1}{F_2}}{\pi \cdot \alpha}$$

$$F_2 = \frac{F_1}{e^{\alpha \mu_K}}$$

$$e^a \cdot e^b = e^{a+b}$$

$$e = 2,71828$$

Umschlingungswinkel $\alpha = 70^\circ$
(zweimal)

Gleitreibungszahl $\mu_K = 0,45$
(Gurt/Kantenschutz)

Anzugkraft $F_1 = 450 \text{ daN}$

$$F_2 = \frac{450 \text{ daN}}{e^{1,1}} = \frac{450 \text{ daN}}{3} = 150 \text{ daN}$$

$$140 \pi / 180 = 2,40$$

$$2,40 \cdot 0,45 = 1,0995$$

Die Gurtkraft nimmt bei Umschlingung über den Umschlingungsbogen ab. Sie hängt von der Größe des Umschlingungswinkels und der Gleitreibungszahl zwischen Gurt und Kantengleiter ab.

Umrechnungen

$$\gamma = \alpha + \beta$$
$$e^a \cdot e^b = e^{a+b}$$

$$F_3 = \frac{F_1}{e^{(\alpha + \beta) \mu_K}}$$

$$e^x = 0,6\bar{6}$$

$$x = \ln 0,6\bar{6}$$

$$\alpha \mu_G = 0,4054652$$

$$\mu_K = \frac{180^\circ \cdot \ln \frac{F_1}{F_2}}{\pi \cdot \alpha}$$

$$x = \ln 0,001$$

$$\alpha \mu_G = 6,9077$$

$$\frac{\alpha_U \cdot \pi \cdot \mu_K}{180} = 6,9077$$

$$\alpha_U = \frac{6,9077 \cdot 180}{\pi \cdot 0,2}$$

$$x = \ln 0,001$$

$$\alpha_U \mu_K = 6,9077$$

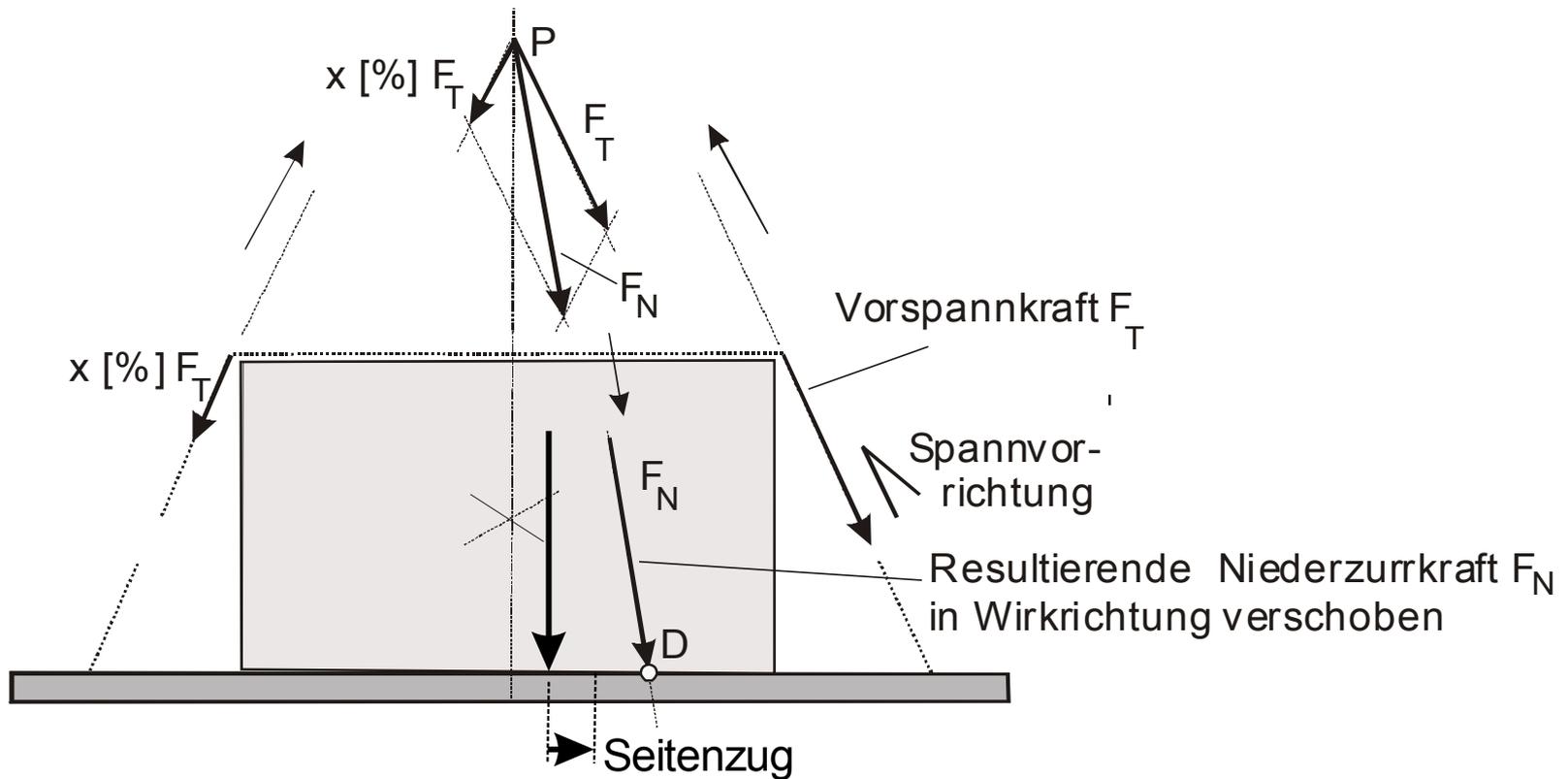
$$\alpha_U = \frac{180^\circ \cdot \ln \frac{F_1}{F_2}}{\pi \cdot \mu_K}$$

$$\alpha = 1979 \text{ Grad}$$

5,5 Vollumschlingungen

Horizontalzug durch Gurtkraftabbau

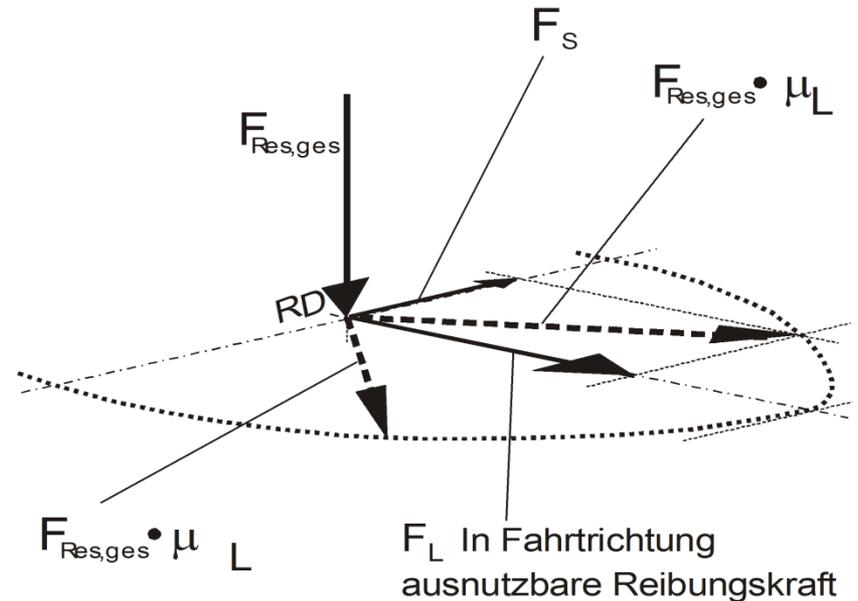
Zeichnerische Lösung



Folgen Gurtkraftabbau aus Seitenzug

Mit dem Seitenzug wird die Rückhalte-
kraft in Längsrichtung verringert.

Die Wirkungsverlust hält sich
„normaler“ Weise in Grenzen, wenn
die Reibung zwischen Gurt und
Kantengleitern kleiner als $\mu_G = 0,3$
bleibt!



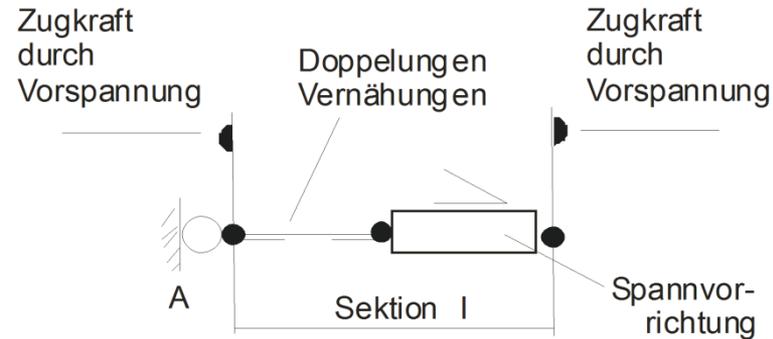
- $F_{Res,ges}$ Vertikalkraft aus Eigengewicht und Niederzurrkraft
- F_S Seitenkraft (= Seitenzug)
- F_L Rückhalte-
kraft in Fahrtrichtung

Mechanik des Gurtspannens I

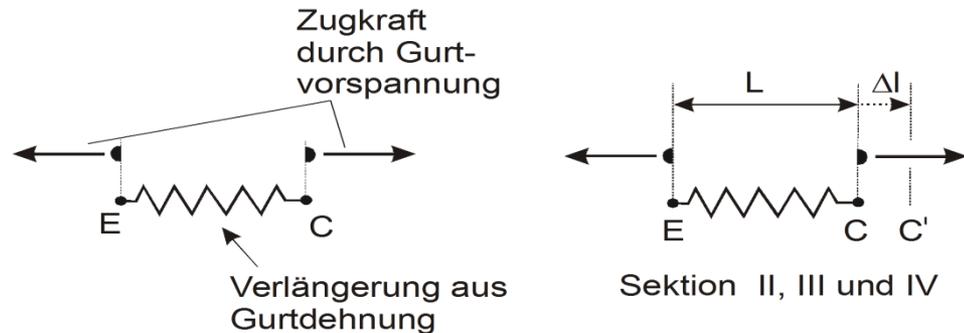
Eine Zurrung bestehe aus Sektionen. In den einzelnen Sektionen können folgende „rheologischen Elemente“ vorhanden sein:

Sektion I
Unelastisches Element

Gestänge/Ratsche

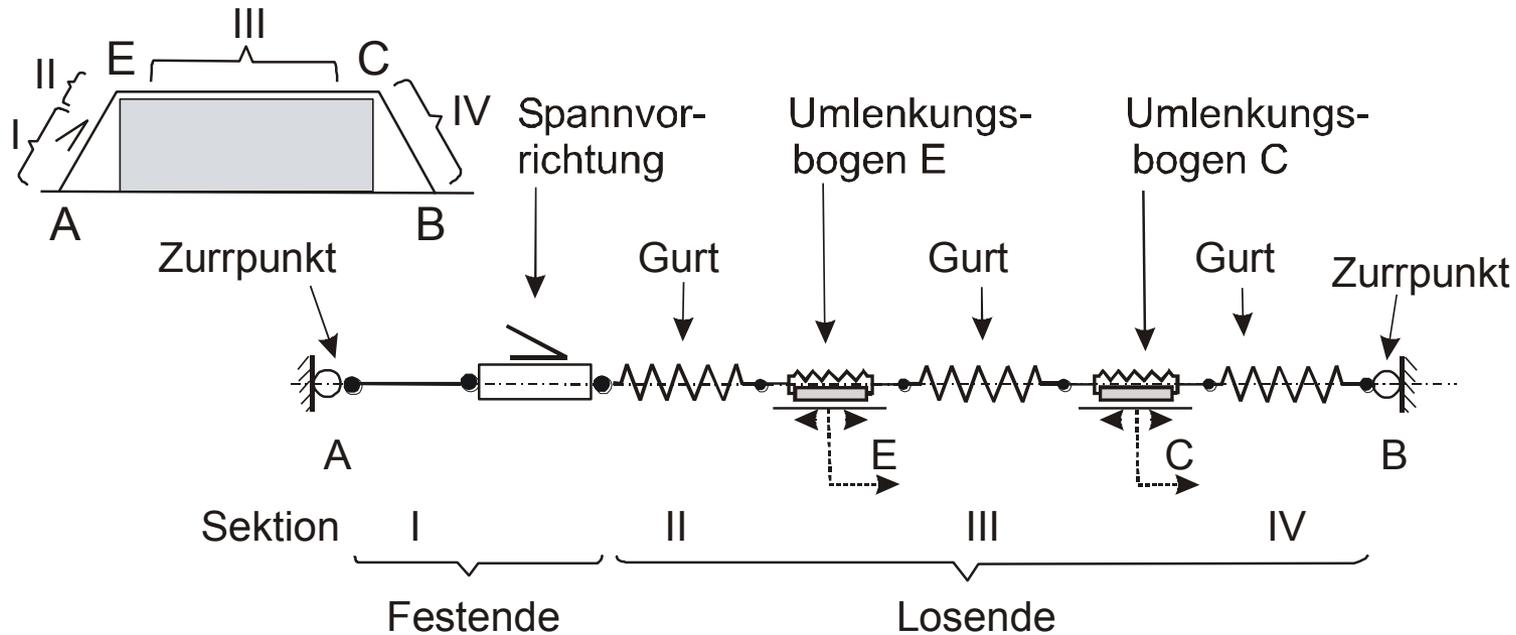


Sektion II
Elastisches Element
Gurt – Kette - . . .



Zur Berechnung von Gurten

Rheologische Elemente einer Zurrung



Gurt auf Kantengleiter:
Folge:

Dehnung des Gurt + Reibung

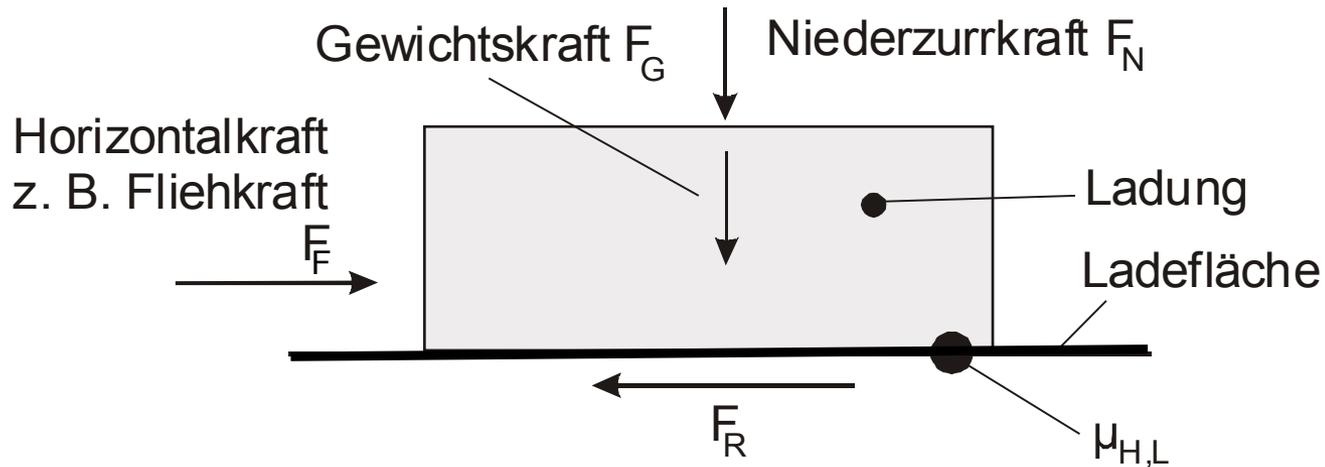
Gurtkraftabbau

Der Kraftanteil wird über die Ladung zur Aufstandsfläche und von dort weiter zur Zurrpunkt geleitet.

15 Berechnung der Niederrückwirkung

Sicherungswirkung einer Niederzurrung

N-Formel

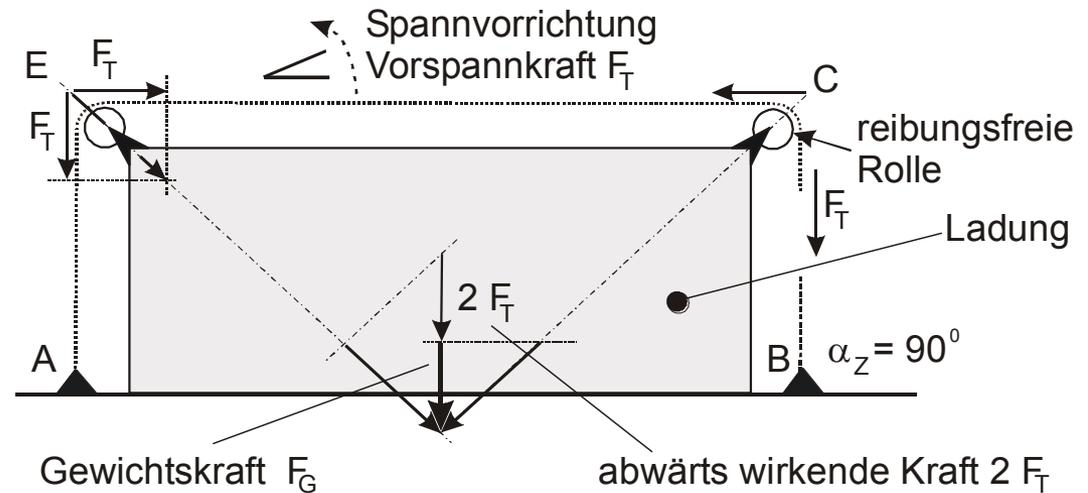


Ladung ist „fest“ verbunden \Rightarrow Ansatz mit statischen Kräften!

$$F_H \leq (F_G + F_N) \mu_{H,L}$$
$$F_H \leq \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Reibungskraft } F_R}$$

Niederzurrkraft ohne Reibungsverlust am Kantenschutz

Freischnitt zwischen
B und C
A und E



$$F_N = F_{T,A} + F_{T,B}$$

$$F_N = F_{T,A} + F_{T,B}$$

$$F_{T,A} = F_{T,B} = F_T$$

$$F_N = 2 F_T$$

$$F_N = F_{T,A} + F_{T,B}$$

$$F_N = F_{T,A} \cdot \sin 75^\circ + F_{T,B} \cdot \sin 90^\circ$$

$$F_N = F_{T,A} \cdot \sin 75^\circ + F_{T,B}$$

Kantengleiter anstelle Roller

$$F_N = F_{T,A} \cdot \sin \alpha_{Z,A} + F_{T,B} \cdot \sin \alpha_{Z,B}$$

Zurrwinkel gleich/ungleich

statt Rollen nun Kantengleiter:

$$F_N = F_{T,A} \cdot \sin \alpha_{Z,A} + F_{T,B} \cdot \sin \alpha_{Z,B}$$

$$F_N = \frac{F_T}{e^{\alpha_{ZA} \mu_K}} \cdot \sin \alpha_{Z,A} + \frac{F_T}{e^{\alpha_{ZB} \mu_K}} \cdot \sin \alpha_{Z,B}$$

$$F_N = F_T \left(\frac{\sin \alpha_{Z,A}}{e^{\alpha_{ZA} \mu_K}} + \frac{\sin \alpha_{Z,B}}{e^{\alpha_{ZB} \mu_K}} \right)$$

$$F_{N,v} = F_T \left(\frac{\sin \alpha_{ZA}}{e^{\alpha_{\Sigma U_i} \mu_K}} + \frac{\sin \alpha_{ZB}}{e^{\alpha_U \mu_K}} \right)$$

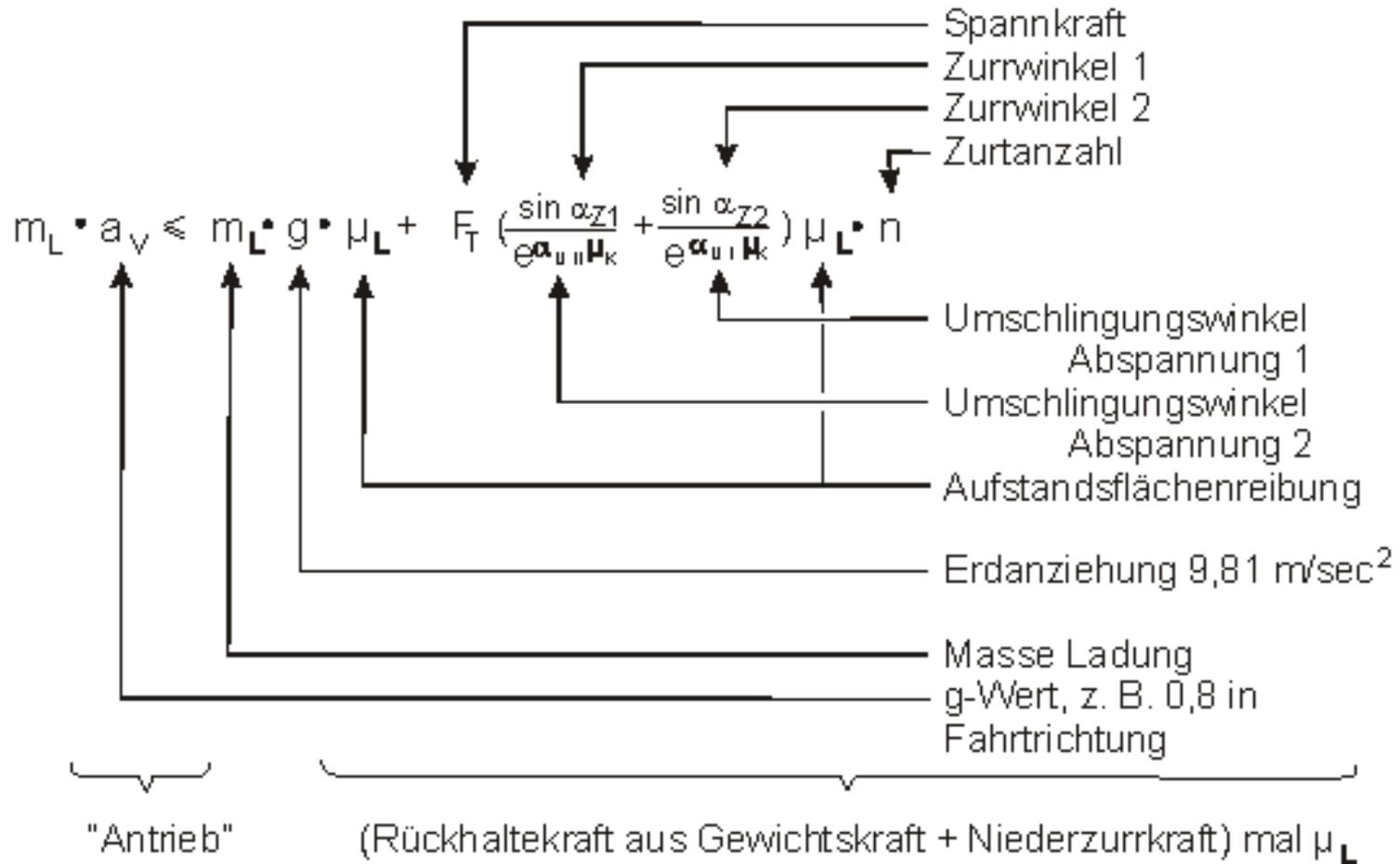
Abspannung A
(Sektion I)

Abspannung B
(Sektion V)

Sektion I

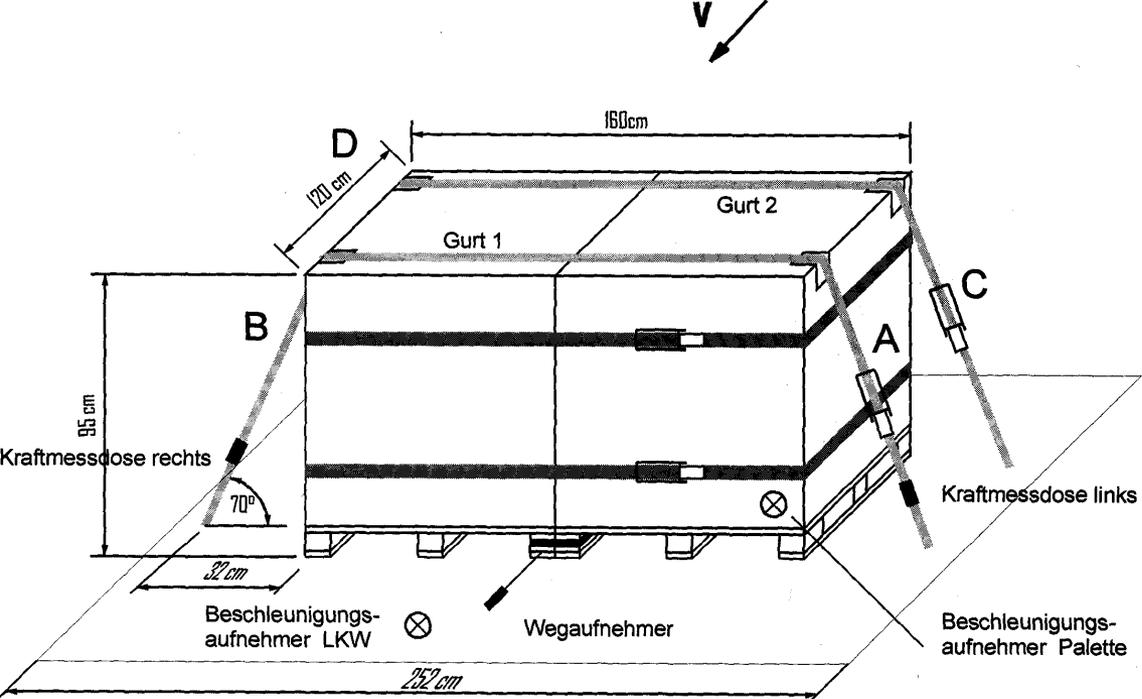
Sektion II und III

N - Formel



Versuche zur Niederzurrung

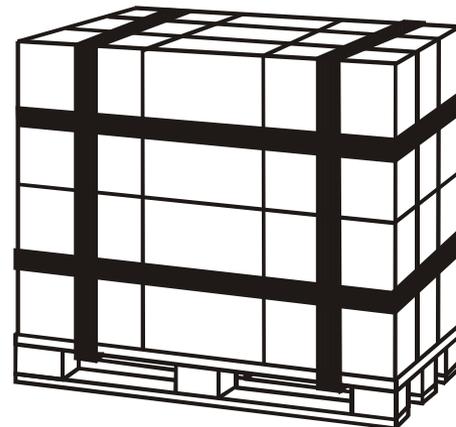
Verschubversuch mit niedergezurrter Ladung



[1]

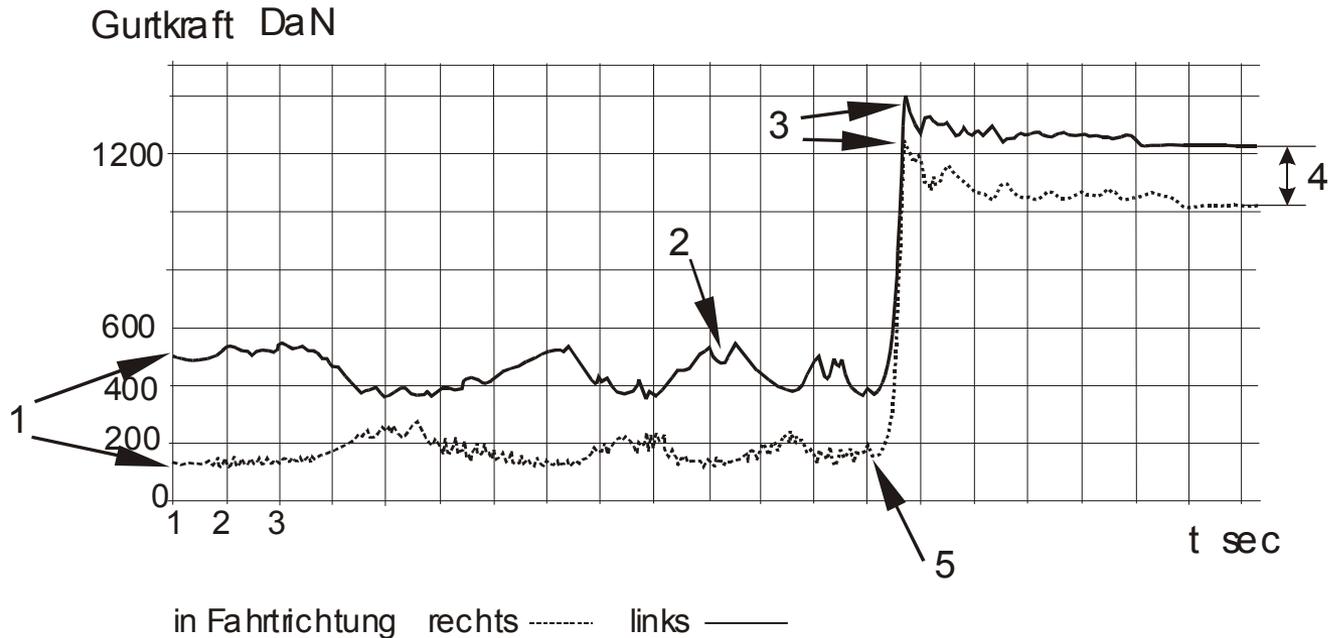
Ergebnisse

- **Der Gurt wird einseitig gespannt: Links auf ca. 450 daN, rechts ca. 150 daN**
- **Fahrzeug wird auf ca. 30 km/h beschleunigt (3 Gänge).**
- **In der Beschleunigungsphase durch die Schaltstöße horizontale Pendelbewegung.**
- **Ab ca. 6,2 m/sec² Verzögerung kommt die Ladung in Bewegung.**
- **Die Ladung gleitet ca. 128 mm.**
- **Die Gurtkraft steigt links auf ca. 1400 daN an, rechts auf 1200 daN an.**
- **Die Gurtkraftunterschiede blieben bestehen.**
- **Nach Ende der Ladungsbewegung ging die Gurtkraft zurück, glich sich aber zwischen links und rechts nicht aus.**



Ergebnisse

Gurtkraftverlauf Spannseite und entgegengesetzte Seite

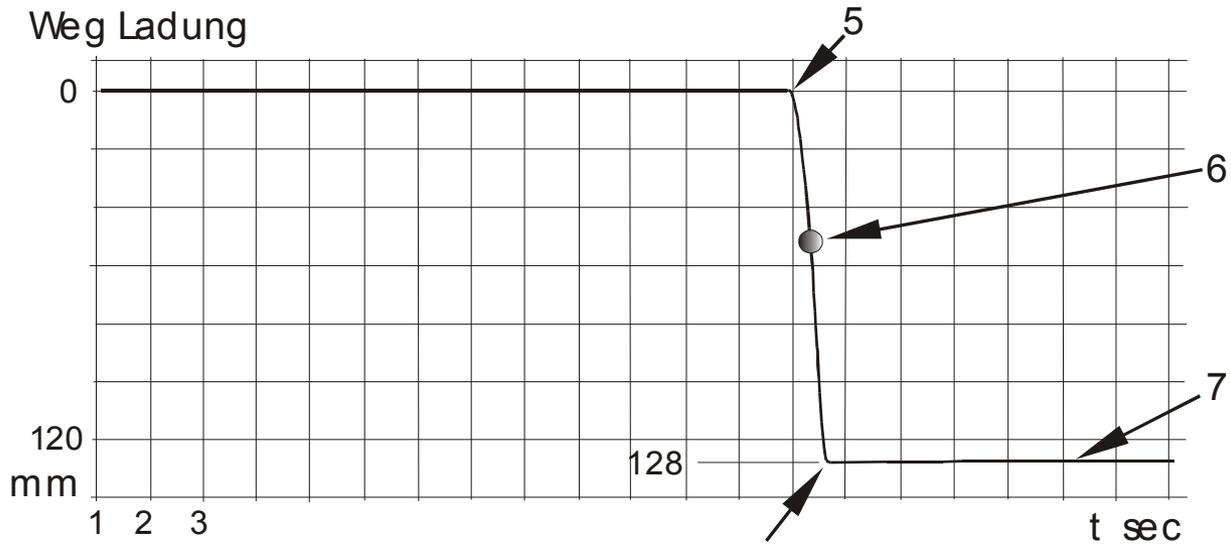


Die Ladung dreht sich dem Gurtkraftverlauf nach bei den 3 Schaltvorgängen. In diesem Versuch kam die Ladung ins Gleiten. Der Gurtkraftabbau von links nach rechts blieb hier erhalten.

(Ratsche)

Ergebnisse

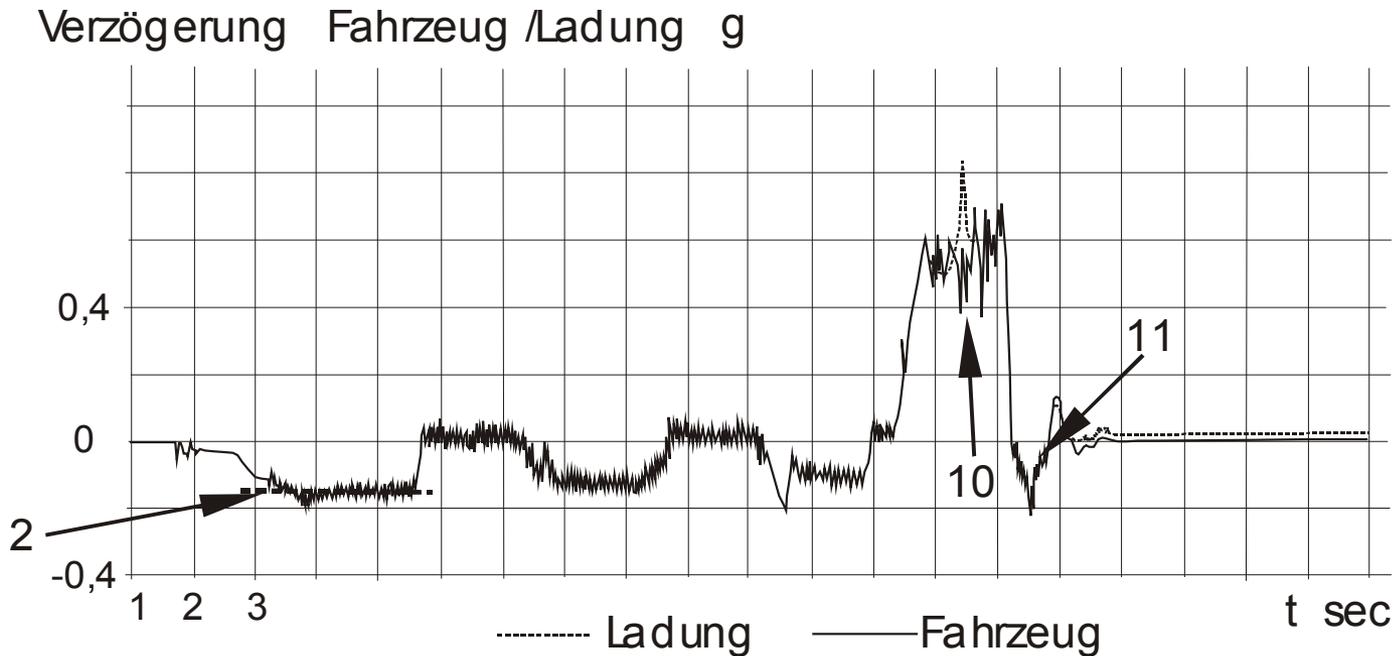
Weg-Zeitverlauf der Ladung



Gleitweg der Ladung: 128 mm.

Ergebnisse

Weg-Zeitverlauf der Ladung



Verzögerungseinbruch bei 10 führt zu einer zu Beschleunigung an der Ladung.

Literatur

- [1] Podzuweit, Ulrich, Forschungsvorhaben des deutschen Bundesverkehrsministeriums „Ladungssicherung von Gefahrgut“, FE Nr. 90380/9, 1994
- [2] Podzuweit, Ulrich, Ladungssicherung – Neue Erkenntnisse zur Sicherungstechnik Niederzurren, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 1, 2002
- [3] Podzuweit, U., Ehringer, S., Niederzurrtechnik, expert verlag, Renningen, ISBN 978-3-8169-2719-8, 2008
- [4] Sicherung von Kurzholz auf Straßenfahrzeugen I, Versuche des Gesamtverbandes der deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) und der BG Fahrzeughaltungen, 2005, (unter „google.de“ abrufbar)
- [5] Podzuweit, U., Studie zu den mechanischen Grundlagen der Niederzurrtechnik unter besonderer Berücksichtigung des k-Faktors, Internetseite des KLSK, 2014
- [6] Research Report 077, Veröffentlichung des englischen Verkehrsministeriums, 2004 im Internet,
- [7] Podzuweit, U., Lemmer, H., Ladungssicherungstechnik, Verkehrsverlag Fischer, Düsseldorf, Nr. 33114, ISBN 978-3-87841-460-5

15 Berechnungen zur Niederzurrung

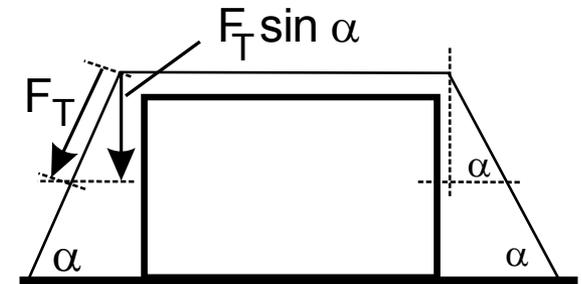
Inhalt

- **Einführung**
- **Berechnungsansatz VDI/ DIN EN 12 195-1:2011**
- **Berechnungsbeispiel**
- **Daten zur Berechnung von Zurrmitteln**
- **Berechnungsformeln im Vergleich**
- **Berechnungsbeispiel**
- **Literatur**

Berechnungsansatz Niederzurrung nach DIN EN 12 195-1:2011 (nach [1])

$$F_x < F_{FM} + F_{FT}$$

F_{FM} → Reibungskraft aus Vorspannkraft im Gurt (= F_T)
 F_{FT} → Reibungskraft aus Eigengewicht Ladung
 F_x → Antriebskraft (g-Wert)



$$m = \mu (m \cdot g \cdot c_z)$$

$c_z = 1$
 μ = Werte nach Richtlinie (normativ)

$$F_{FT} = \mu (n \cdot 2 \frac{F_T}{f_s} \cdot \sin \alpha)$$

$f_s = 1,25$ in Fahrtrichtung

$$0,1 LC \leq FT \leq 0,5 LC$$

$$m \cdot g \cdot c_x < \mu (m \cdot g \cdot c_z + n \cdot 2 \frac{F_T}{f_s} \cdot \sin \alpha)$$

$m \cdot g \cdot c_x$ → g-Wert (vertikal 1)
 Reibungszahl → μ
 m → Ladungsmasse in kg
 c_x → g-Wert (nach vorn 0,8)
 c_z → Vorspannkraft in N (!) im Gurt aus Handkraft 50 daN
 n → Gurtanzahl
 f_s → Zurrwinkel
 $\sin \alpha$ → Sicherheitsfaktor (nach vorn 1,25)
 F_T → F_T zweimal, da rechts und links beiseitig gleiche Kraft!

Berechnung Niederzurrung nach DIN EN 12 195-1:2011

Beispiel

Gegeben:	Ladungsmasse	$m = 3 \text{ t}$
	Vorspannkraft	$F_T = 500 \text{ daN}$
	Reibungszahl	$\mu = 0,4$
	Antriebskraft	$c_x = 0,8$ (g mal Masse m in Fahrtrichtung)
	Sicherheitsbeiwert	$f_s = 1,25$
	Zurrwinkel	$\alpha = 75 \text{ Grad}$

Gesucht: Gurtanzahl $n = ?$

$$n \geq \frac{(0,8 - 0,4) 3000 \cdot 9,81}{2 \cdot 5000 \cdot 0,4 \cdot \sin 75^\circ} \cdot 1,25$$

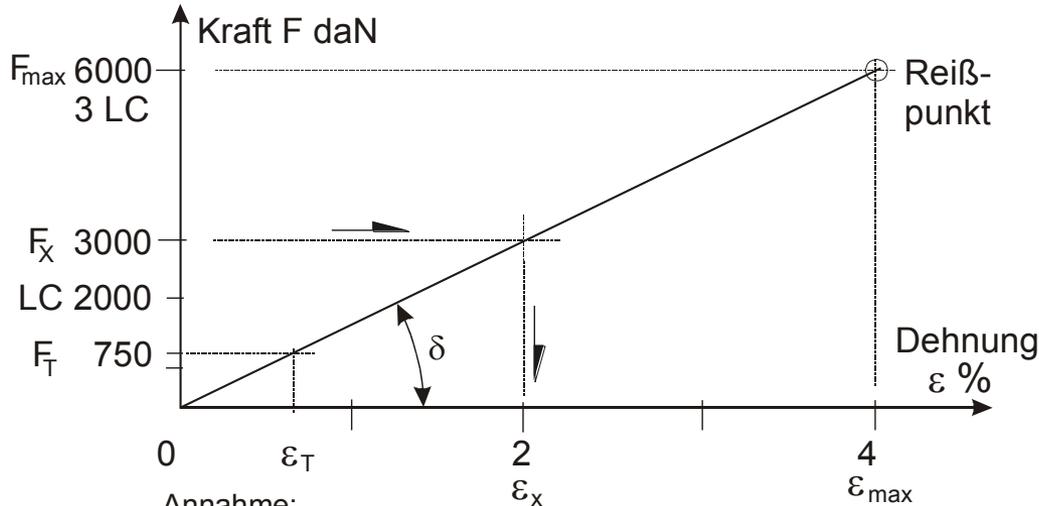
$$n \geq 3,9$$

Anmerkung:

Die Vorspannkraft von der Anspannseite zur anderen Seite wird mit jeweils 100 % (= mal zwei) angesetzt und Gurtanzahl um Faktor f_s erhöht!

Dehnung

Begriffe (Gurte)

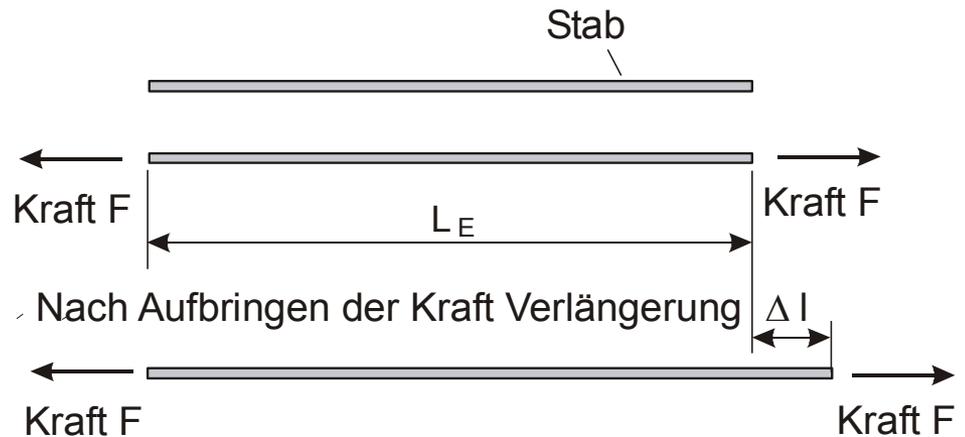


Annahme:
 Abstand Einspannbacken: 1 m
 ⇒ Einspannlänge $L_E = 1$ m

← idealisiert

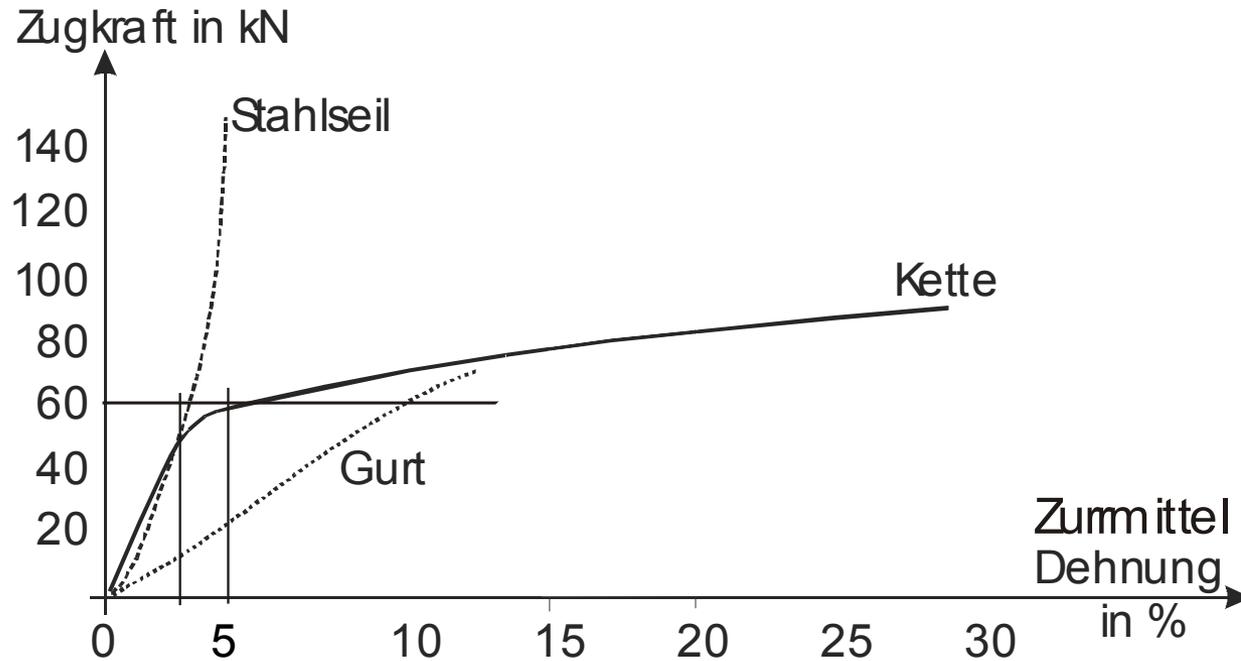
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L} = \frac{\text{Verlängerung}}{\text{Ursprüngl. Länge}}$$
 für die maximale Verlängerung bei $L_E = 1$ m

$$\varepsilon_{\max} = \frac{\Delta l_{\max}}{L_E}$$



Dehnungsverhalten von Zurrmitteln

Vergleich



Linearität

Leistungsfähigkeit der Zurrmittel im Vergleich

Dehnungsdiagramm

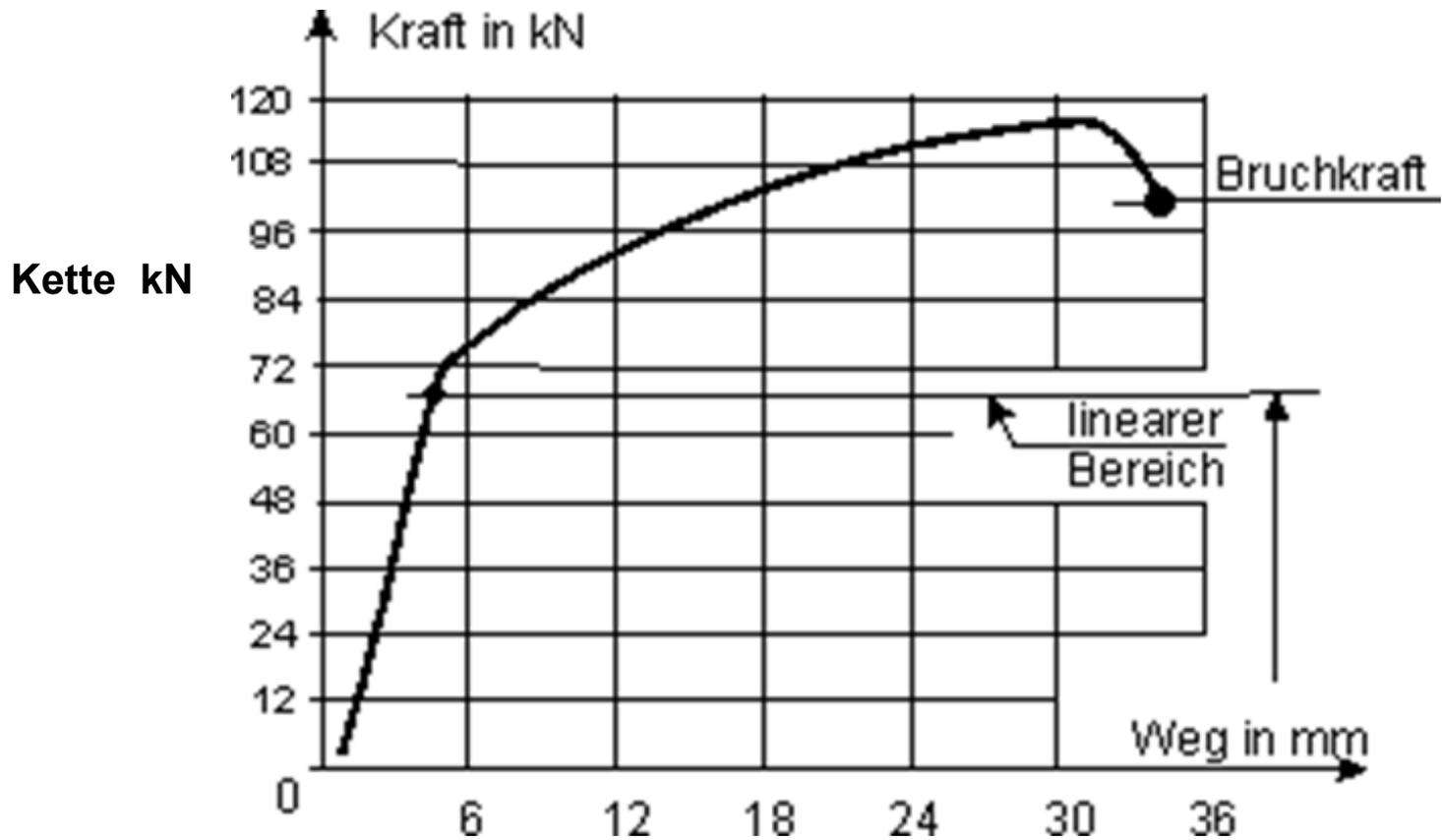
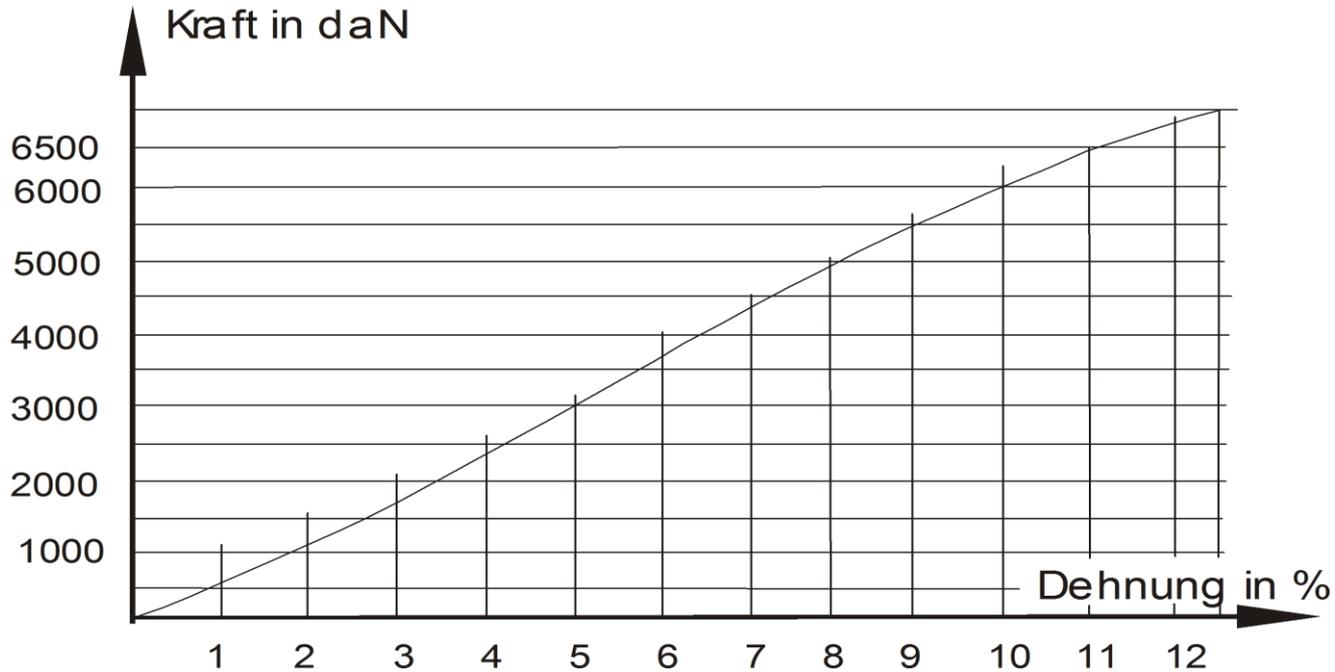


Diagramm Kraft-Dehnung Gurt



Linearität schwankend
daN

Angaben auf Gurtanhängern

Begriffe: LC Lashing Capacity
Zugkraft im „geradem“ Zug

S_{HF} Standard Hand Force
angenommene Handkraft 50 daN

S_{TF} Standard Tension Force
mögliche Spannkraft bei Zug

mit $S_{HF} (= T_F)$
TF Spannkraft im Gurt



Angaben auf Gurtanhängern



Für eine Niederzurrung wird für die Belastbarkeit T_F der STF-Wert eingesetzt.

Dabei gilt: $0,1 \leq F_T \leq 0,5 LC$

Für alle Direktzurrungen wird statt F_T der FR – Wert angesetzt.

$FR \leq LC$ bei Spannung mit „normaler Handkraft“
 $\leq 0,5 LC$ Vorspannung bis $0,5 > LC$ zulässig

Berechnungsformeln im Vergleich

EN – Formel im Vergleich mit N-Formel

Zum Gurtkraftabbau

EN-Formel

$$n \leq \frac{[(a - \mu) m \cdot g]}{F_T \cdot \mu \cdot \sin \alpha} \cdot \frac{f_S}{2}$$

$$\frac{f_S}{2} = \frac{1,25}{2} = 0,625$$

N-Formel [2]

$$m_L \cdot a_y \leq m_L \cdot g \cdot \mu_L + F_T \left(\frac{\sin \alpha_{z1}}{e^{\mu}} \mu_K + \frac{\sin \alpha_{z2}}{e^{\mu}} \mu_K \right) \mu_L \cdot n$$

$$n \geq \frac{3000 (8 - 0,4 \cdot 9,81) \text{ N}}{5000 \sin 150^\circ \left(1 + \frac{1}{e^{\frac{1,25 \cdot 0,15}{0,4}}} \right) 0,4}$$

$$n \geq 7,3$$

$$n \geq \frac{m_L (a - g \mu_L)}{F_T \sin \alpha_z \left(\frac{1}{e^{\mu}} + \frac{1}{e^{150^\circ}} \right) \mu_L}$$

Für den nach Folie 4 vorliegenden Fall ergibt sich:

wenn ein μ am Kantenschutz
von 0,15 zugrunde gelegt wird

$$n \geq \frac{(0,8 - 0,4) 3000 \cdot 9,81}{2 \cdot 5000 \cdot 0,4 \cdot \sin 75^\circ} \cdot 1,25$$

$$n \geq 3,9$$

$$n \geq \frac{3000 (8 - 0,4 \cdot 9,81) \text{ N}}{5000 \sin 75^\circ \left(1 + \frac{1}{e^{\frac{1,25 \cdot 0,15}{0,4}}} \right) 0,4 \text{ N}}$$

$$n \geq 3,8$$

Einfluß Reibung am Kantenschutz

EN-Formel

$$n = 3,9$$

N-Formel [2]

$$n = 3,9 \quad \mu_{\text{Kantenschutz}} = 0,15$$

für μ -Kantenschutz 0,25
(Je höher die Reibung am Kantenschutz ist,
desto größer ist die Gurtanzahl)

$$n \geq \frac{3000 (8 - 0,4 \cdot 9,81) \text{ N}}{5000 \sin 75^\circ \left(1 + \frac{1}{e^{\frac{150\pi \cdot 0,25}{180}}}\right) 0,4 \text{ N}}$$

$$n \geq 4,2$$

$$n \geq \frac{3000 (8 - 0,4 \cdot 9,81) \text{ N}}{5000 \sin 75^\circ \left(1 + \frac{1}{e^{\frac{150\pi \cdot 0,35}{180}}}\right) 0,4 \text{ N}}$$

$$n \geq 4,5_2$$

Literatur

- [1] Dekra Praxisratgeber Nr. 2, Verlag Günter Hendrich, ISBN 978-3-9388255-34-6
- [2] Podzuweit, U., Zur Mechanik der Niederzurrtechnik, Internetseite des KLSK

16 Zurrtechnik - allgemein

Inhalt

- **Sicherungstheorie nach VDI**
- **Einteilung der formschlüssigen Sicherungstechnik**
- **Struktur Zurrtechniken**
- **Zurrverfahren**
 - Direktzurrung**
 - Niederzurrung**
 - Buchtflasching**
- **Kombinationen Sicherungsverfahren – Überblick**
 - Direktzurrungen**
 - Zurrverfahren**
- **Kombinationen von Wirkmechanismen**

Struktur der Zurrungstechnik

Einteilung in

- Wirkmechanismus
- Zurrvariante
- Zurrverfahren
 - Berechnung
 - ...
- Kombinationen von . . .
- Anwendungsfragen

Die Mechanik kennt Wirkmechanismen zur Sicherung nicht. U. U. sind aber „Eigenbewegungen der „Ladung““ notwendig. Ein neuer Ansatz ist deshalb erforderlich.

Mit dem neuen Ansatz sind auch Berechnungen von Kombinationen von Zurrvarianten, Zurrverfahren und Kombinationen von Wirkmechanismen möglich.

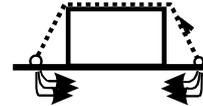
Wirkmechanismus
 Kraftschluß Form-/Verformungsschluß

Zurrvarianten

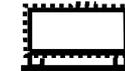
einzelne



halbumschlingende Zurrung



vollumschlingende



Zurrverfahren

- 1 Horizontalzurrung
- 2 Schrägzurrung
- 3 Diagonalzurrung
- 4 Niederzurrung
- 5 Buchtlasching
- 6

Kombinationen

von

gleichartigen Direktzurrungen (homogene Zurrkombination)
 gemischte Direktzurrungen (gemischte Zurrkombination)
 unterschiedlichen Sicherungstechniken
 mit verschiedenen Wirkmechanismen (Schlußtechniken
 kombination)

Anwendungsfragen

Zurrvarianten

Einzelzurrung(en) ¹⁾

teilumschlingende
halbumschlingende
Zurrung²⁾

vollumschlingende
Zurrung ¹⁾

**Direktzurrung
(Buchlasching)**

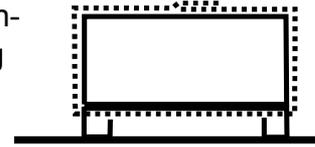
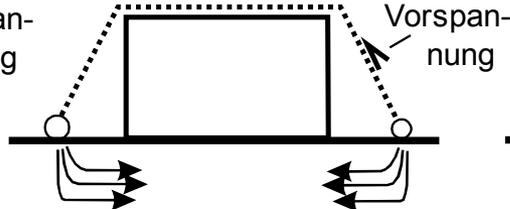
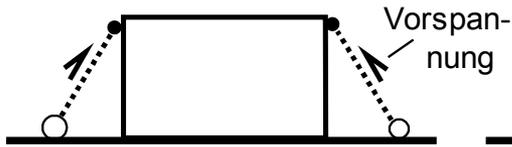
Niederzurrung

Bündelung

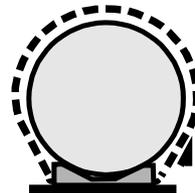
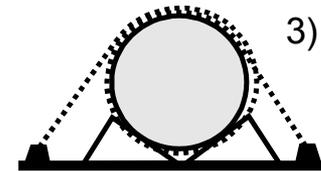
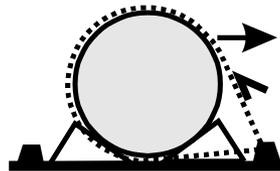
an der Ladung „angeschlagene“
Zurrung

Kraftfluß
über „Ladefläche“
und Rahmen

Verbindung Ladung
mit Palette



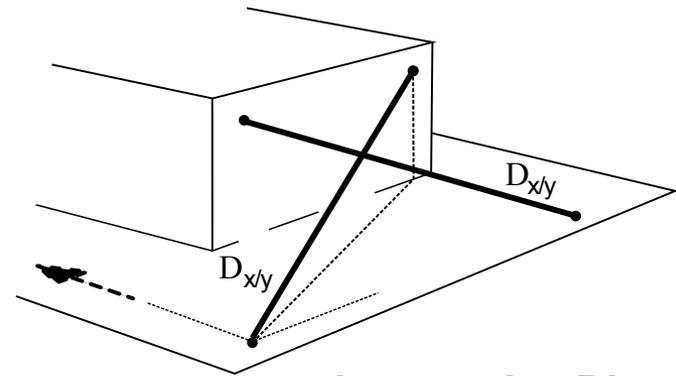
Rundtörnlasching, Rundzurrung



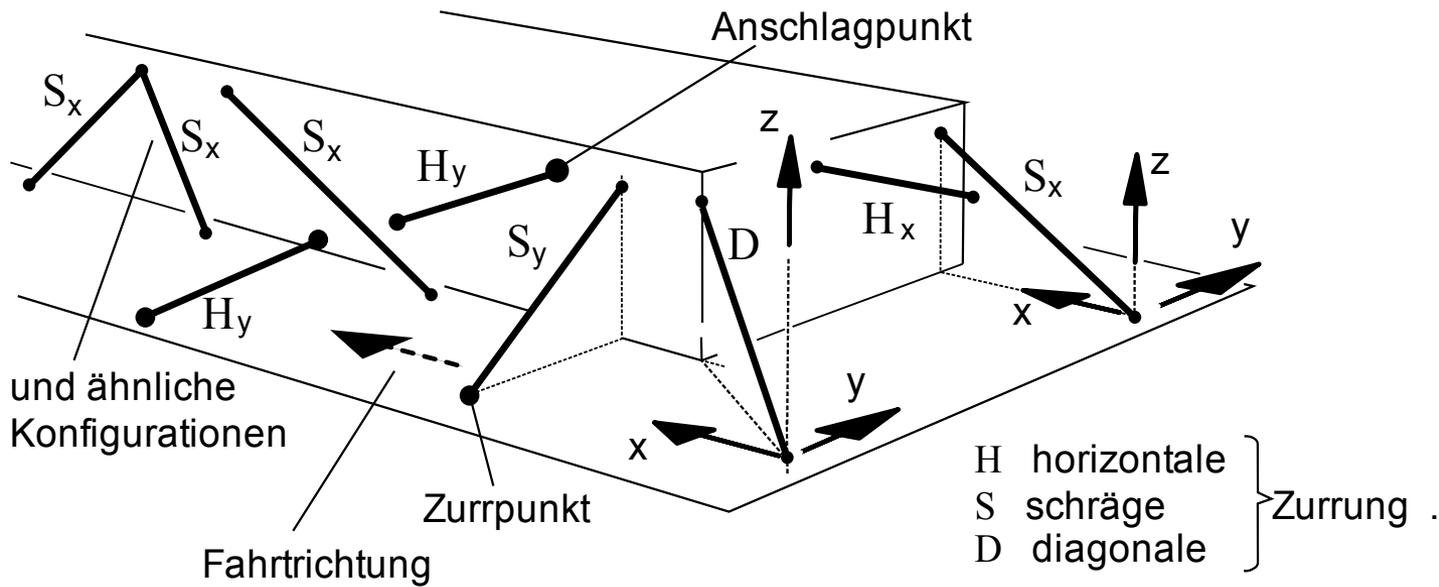
Anmerkungen zu Seite 11

- 1) Die Unterteilung ist sinnvoll, weil für Direktzurrungen u. U. keine Rückhaltekraft ohne einen Vers Schub der Ladung möglich ist. Bei einem Vers Schub sind dann aber andere Berechnungswege nötig.**
- 2) Hier muß eine Vorspannung aufgebracht werden. Das hat aber auch zur Folge, daß ein Gurtkraftabbau stattfindet. Die Vorspannung ist masseabhängig.**
- 3) Bei Rundtörnlaschings sind Zusatzhilfsmittel nötig, wie z. B. Keile bei zylindrischen Ladungsformen.**
- 4) Direktzurrung
Alle drei Varianten haben mechanisch betrachtet unterschiedliche Randbedingungen.**

Zurrverfahren Direktzurrungen

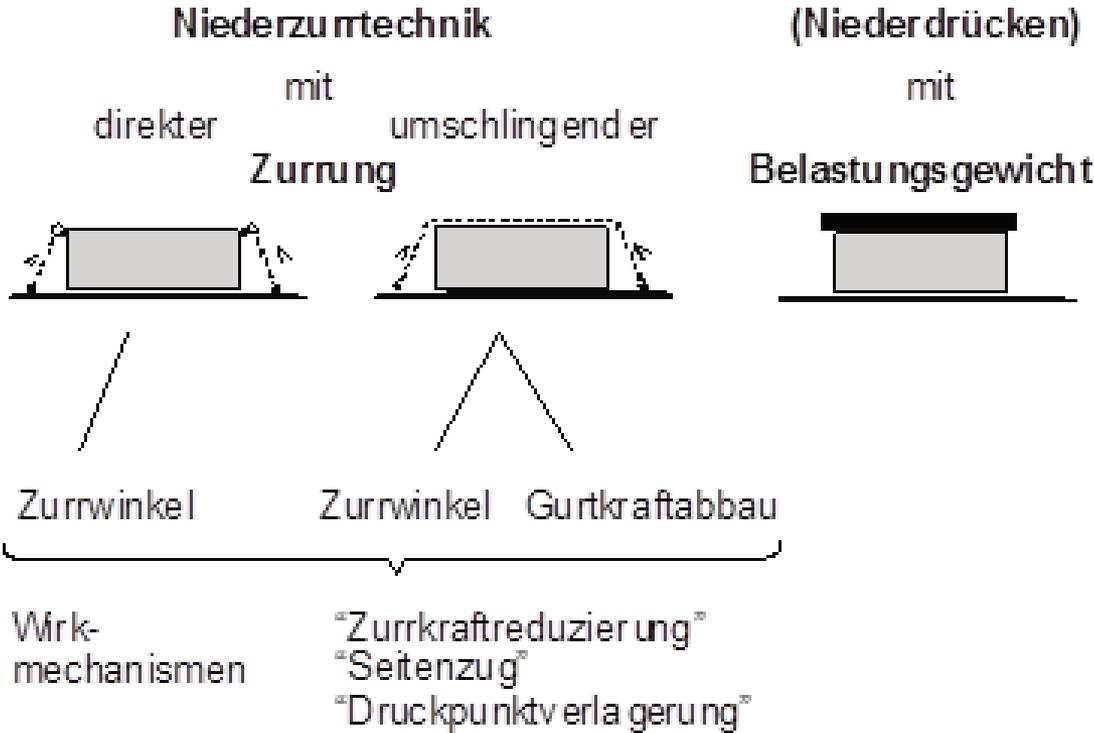


kreuzweise Diagonal-
verzerrung

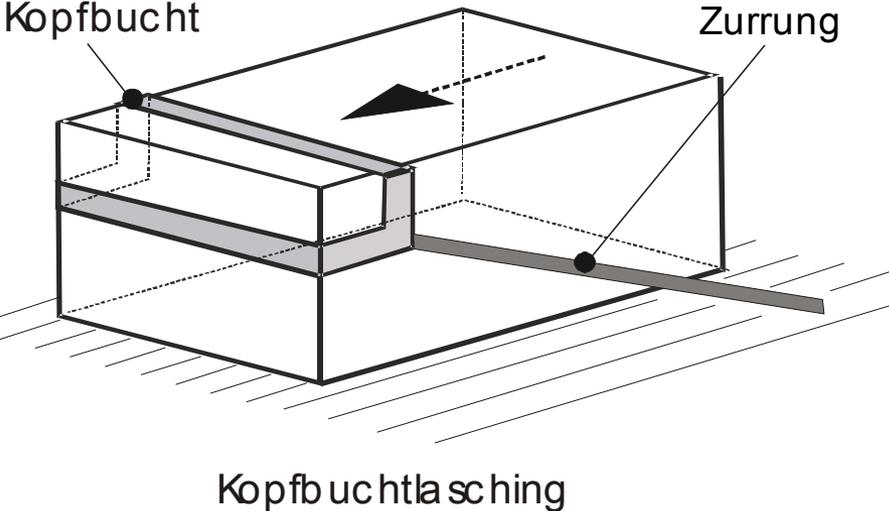


Niederzurrtechnik

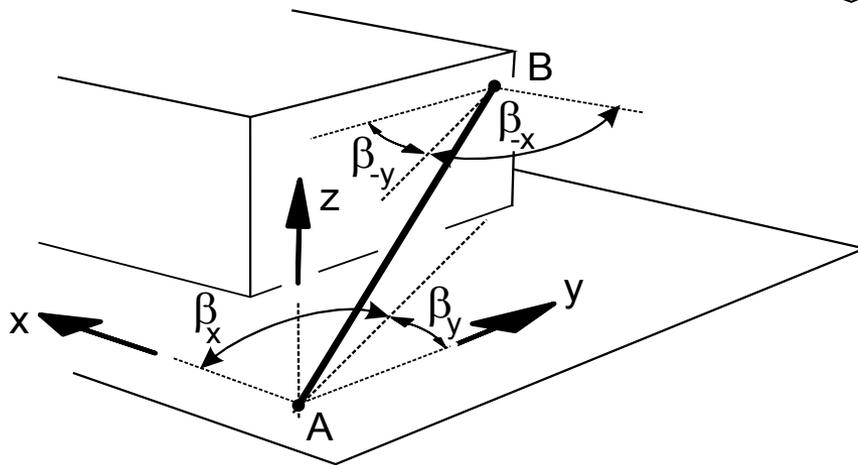
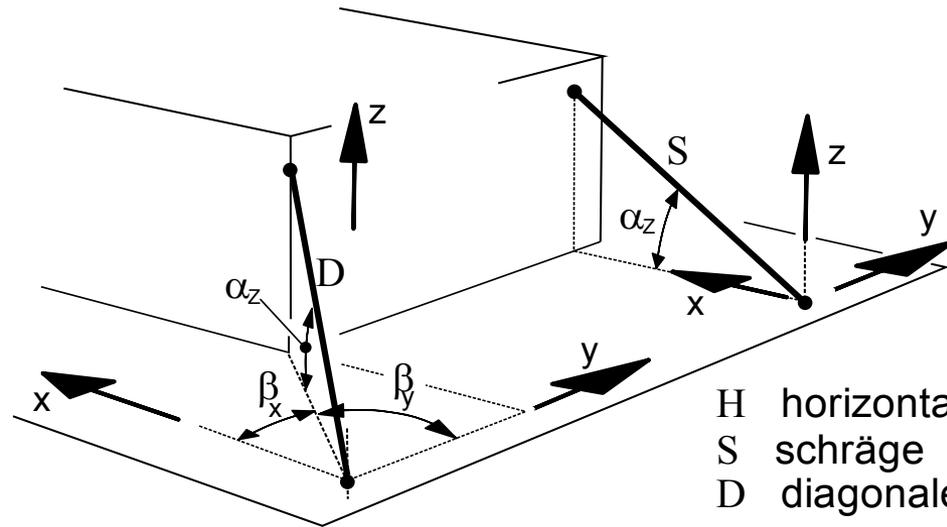
Wirkmechanismus: Reibschlu erh ohung



Kopfschlingenzurrung (Buchtlasching)

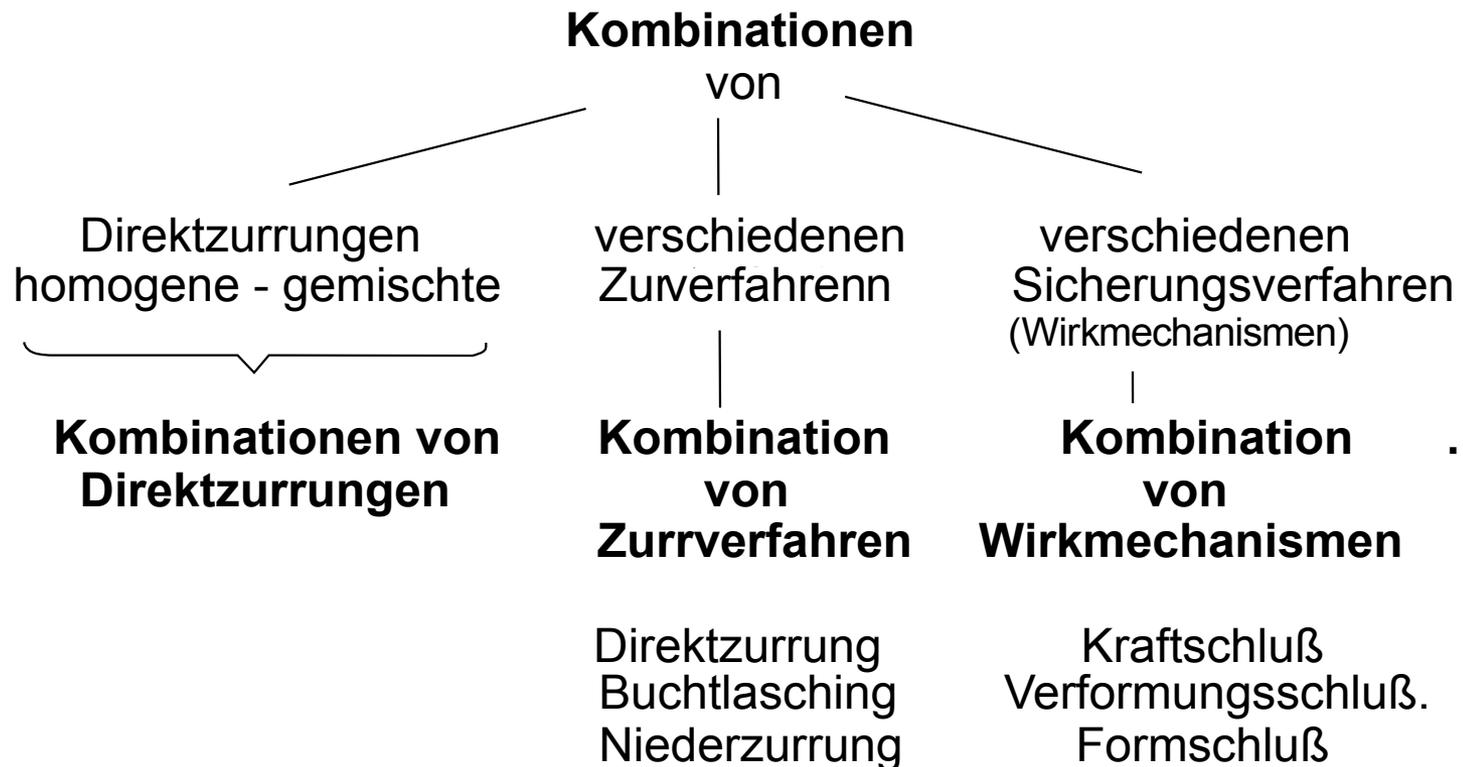


Zurrwinkel

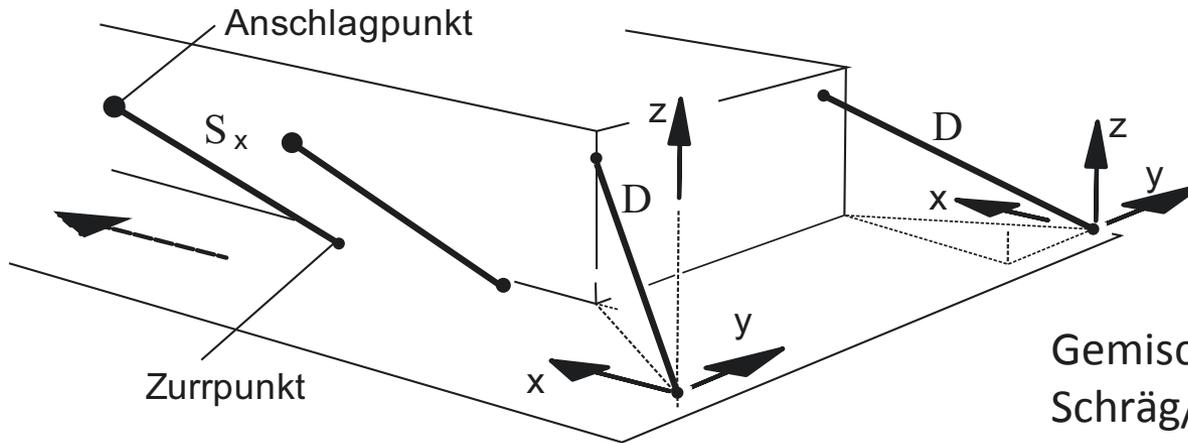


Zurrwinkel α_z
 Vertikalwinkel α_z
 Flächenwinkel β_y zur y-Achse
 Flächenwinkel β_x zur x-Achse

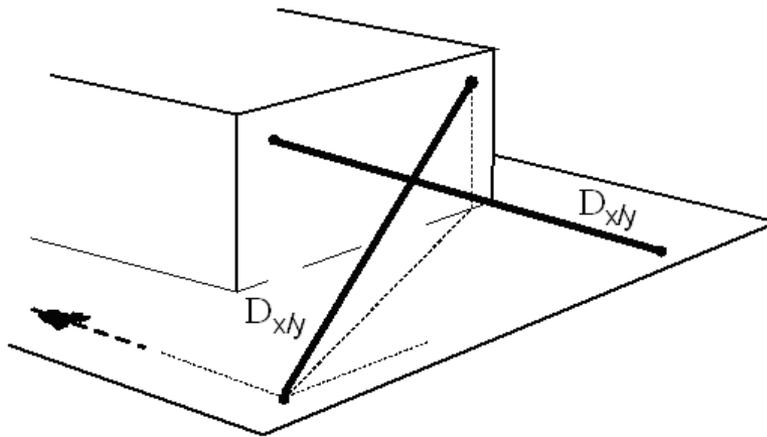
Übersicht Kombinationen der Sicherungsverfahren



Kombination von Direktzurrungen

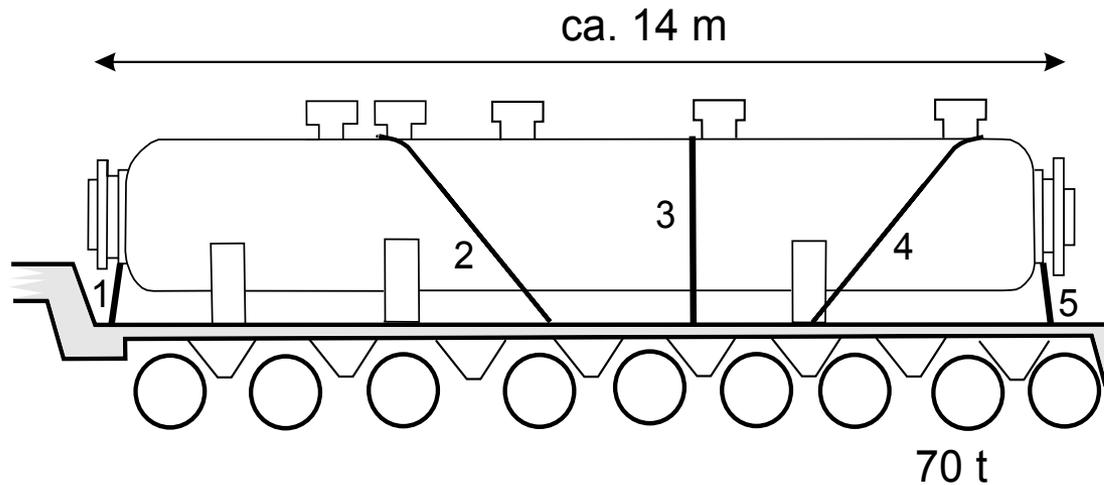


Gemischte Direktzurrung
Schräg/diagonal



Homogene Direktzurrung

Kombinationen von Zurrverfahren



- 1 + 5** **Direktzurrungen**
- 2 + 4** **Buchtlasching**
- 5** **Niederzurrung**

Kombination von Zurrverfahren

Beispiel Niederzurrung mit Buchtflasching



Die Gesamtsicherung muß entweder auf Kraft- (ohne Bewegung) oder auf Formschluß (mit Bewegung) abgestellt werden.

Kombinationen von Wirkmechanismen



**Kraftschluß
Niederzurrung**

**Formschluß
durch Mulde und
Steckrungen**

(Direktzurrung)

Kombination von Wirkmechanismen

Niederzurrung mit
Formschluß (Anschlag)



Literatur

- [1] **Gross, D., et. al. Technische Mechanik 1 bis 3, Springer Vieweg
2013, ISBN 978-3-642-36268-2 (eBook)**

17

Verformungsschluß **(elastischer Formschluß)**

Inhalt

- **Formschluß elastisch - unelastisch**
- **Beispiele**
- **Rückhaltung mittels Formschluß**
- **Rungen**
- **Sperrbalken**

Einleitung

Für eine Sicherung mit einer Eigenbewegung der Ladung von größer als 5 mm sollen die entsprechenden Sicherungsverfahren dem sog. Verformungsschluß zugeordnet werden.

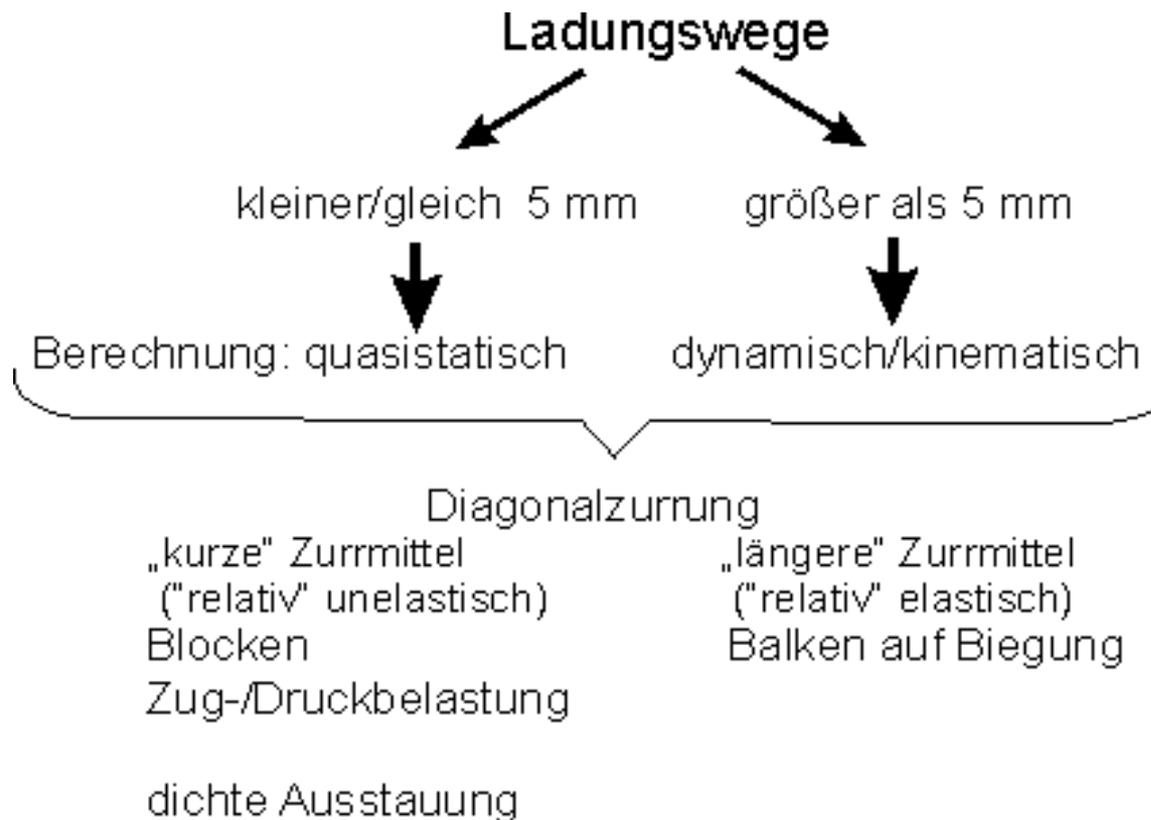
Es erscheint notwendig von den üblichen Vorgehensweisen mittels einer Erweiterung mittels statischer Verfahren (quasistatische) abzugehen. Das ergibt sich aus der Tatsache, daß größere Ladungsbewegungen beschleunigt sind und sich deshalb u. U. größere Aufschlagstöße entstehen können. Denn die Aufschlagwirkung hängt auch von der Masse ab. Werden nun dynamische Berechnungsverfahren eingesetzt, können die Aufschlagfolgen abgeschätzt werden.

Auch ermöglichen dynamische Berechnungsverfahren im Einzelfall einen rechnerischen Vergleich mit statischen Ansätzen, um zu prüfen, wie weit die statischen Ergebnisse von den realen abweichen.

Die dynamischen Berechnungsverfahren beruhen auf dem in der Technischen Mechanik bekannten Ansatz nach d´Alembert [] und auf energetischen Berechnungen.

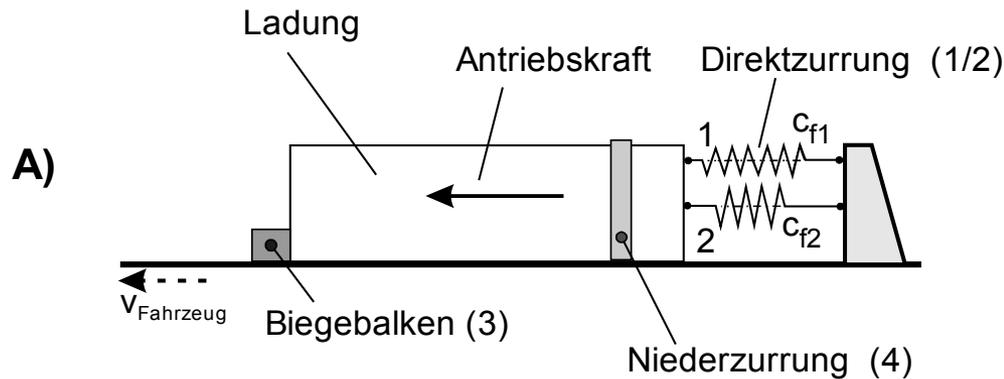
Formschluß

Elastisch - unelastisch



Verformungsschluß

Sicherung aus Dehnung eines Zurrmittels/. . . .



Antriebskraft: 0,8 g

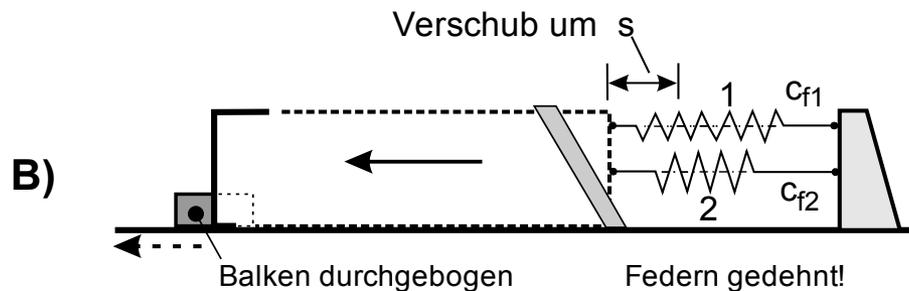
Rückhaltung:

Direktzurrung 1: Kette

Direktzurrung 2: Gurt

Formschluß 3: Biegebalken

Niederzurrung 4: Gurt



Ladung nach Verschub um den Weg s gehalten

Beispiele

Direktzurrung oder Niederzurrung?

Beispiel



Zurrwinkel
kurze, nur gering Zurrlängen,
Definiert vorgespannt
Einzelsicherung
relativ unelastische Stirnwand

Elastizitäten

Unelastische Gestänge und
elastische Ketten



Merkmale einer Direktzurrung:
Zurmittellängen (kurz, Elastizität gering)
Kippgefährdet!
Flache Zurrwinkel (Kippsicher, aber elastischer)



Ladung

Aber Gestänge gering elastisch.

Kreuzweise Diagonalverzurrung

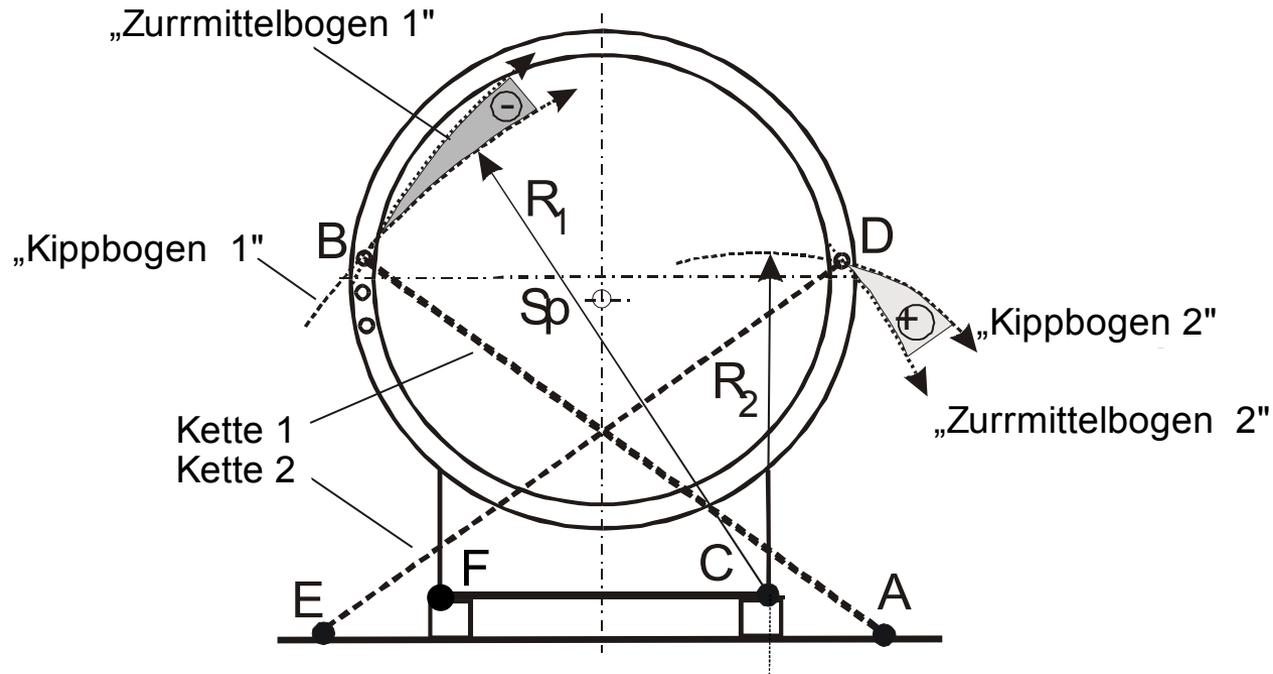


**Kippbogen – Zurrmittelbogen
relativ elastisch gegen Kippen**



**Instabile Stauung zusätzlich zur
Kippsicherung**

Rückhaltewirkung gegen Kippen



Kippen nach rechts:

Anstieg der Zurmittelkraft in 1 (negatives Vorzeichen) = Rückhaltung. Auch hier spielt der Weg eine Rolle, der zu einer Rückhaltewirkung führt.

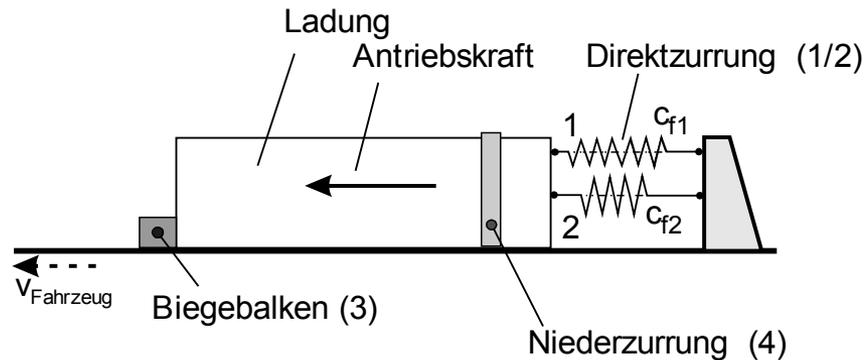
Der Anstieg kann unterschiedlich groß sein, je nach Verhältnis Zurmittelbogen zu Kippbogen. Entscheidend sind auch die Lage der Punkte A und E zur Lage von C und E.

Rückhaltung mittels Verformungsschluß

Berechnungsansatz

**Arbeitsaufnahmevermögen
(energetische Berechnungen)**

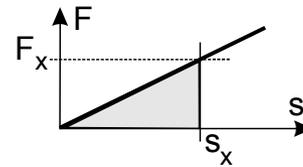
Berechnung der Energieaufnahme einzelner Federn bei Dehnung



Flächen unter den Federraten (1 und 2 Federraten) entsprechen einer Energie!

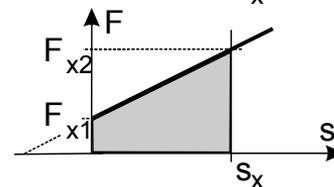
Über die Verformungsenergie kann jede Form einer Fläche in eine gleich große Rechteckfläche gewandelt werden.

1 Direktzurrung c_{f1}



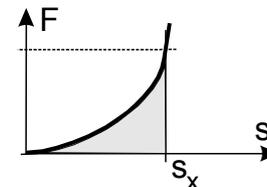
bei Federkonstante
Fläche = $F_x \cdot s_x$

2 Direktzurrung c_{f2}



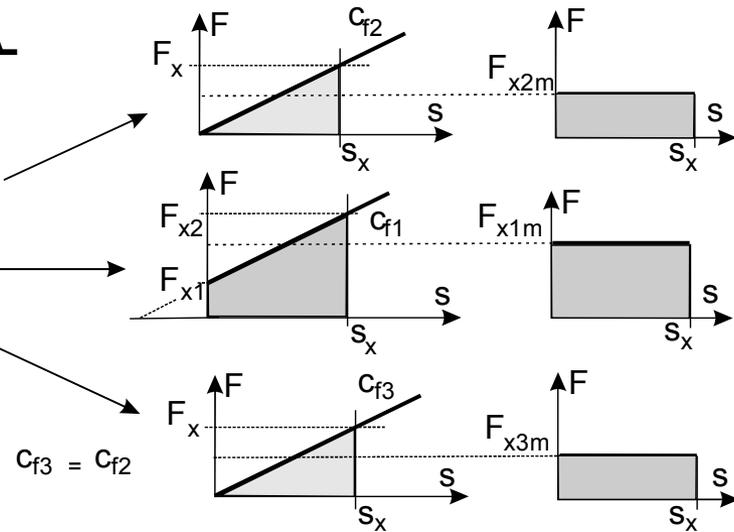
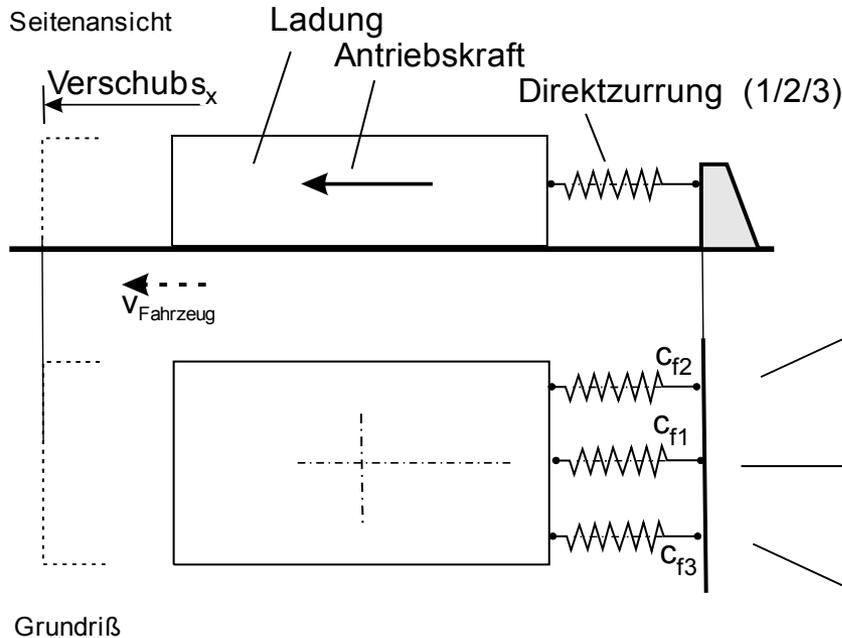
bei Federkonstante vorgespannt
Fläche = $\frac{1}{2} (F_{x1} + F_{x2}) s_x$

4 Niederzurrung



bei Federrate zum Beispiel
 $F = A s^{2,3}$
Fläche ?

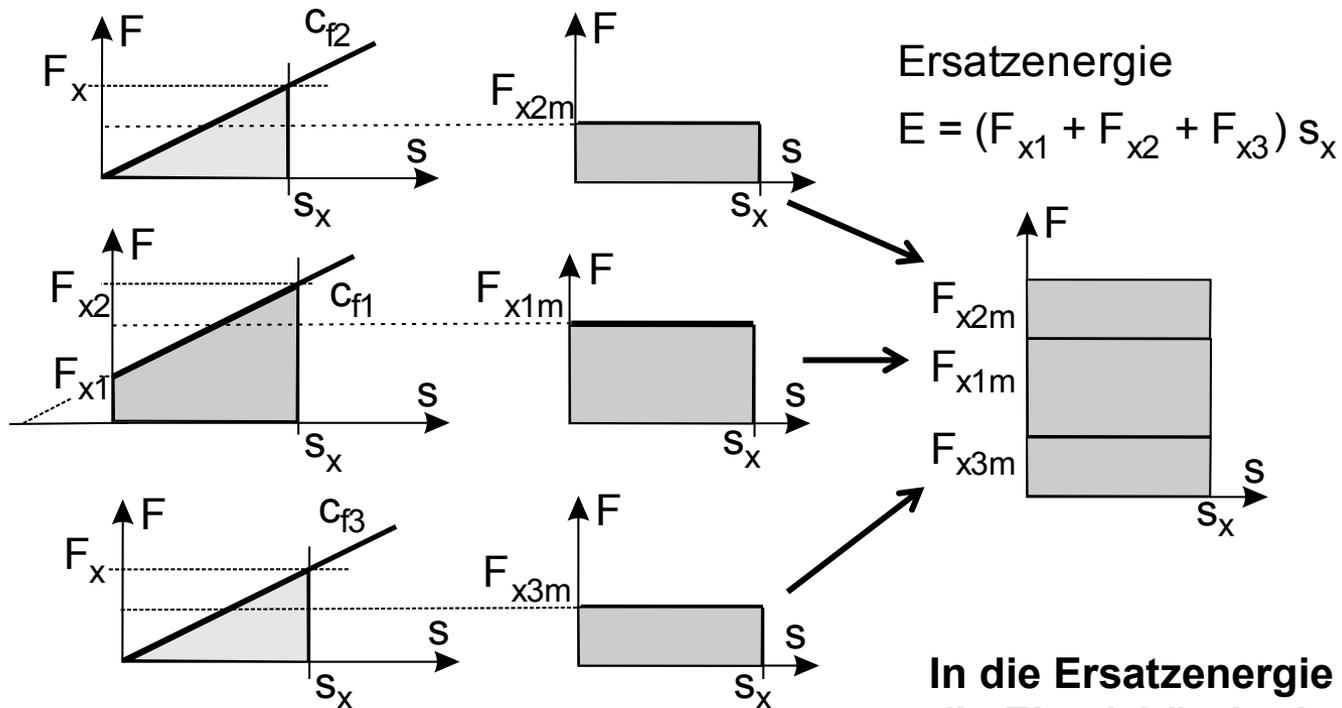
Lösung mittels Arbeitsaufnahme der Sicherungsmittel



ohne Niederzurrung

Sicherungsmittel symmetrisch angeordnet (Grundriß)

Ermittlung einer „Ersatzenergie“ für die Sicherungsmittel

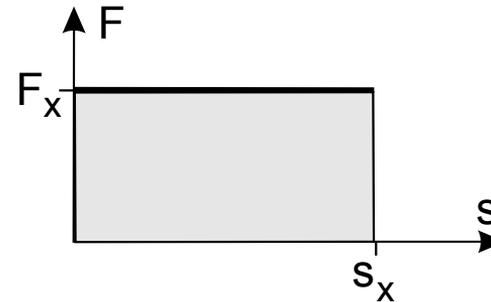
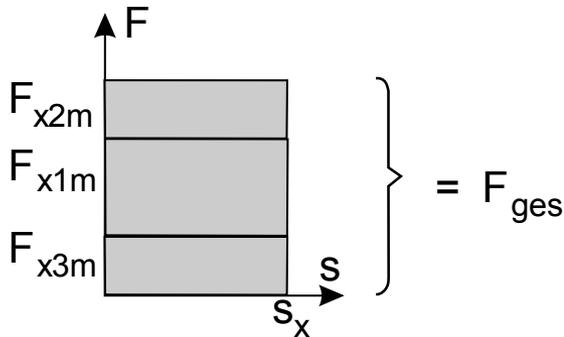


In die Ersatzenergie kann auch die Elastizität der Ladung oder der Stirnwand mit einbezogen werden!

Rückhaltekraft aus Ersatzenergie

Ersatzenergie

$$E = (F_{x1} + F_{x2} + F_{x3}) s_x$$



Fläche = Breite s_x mal Höhe F_x

entspricht einer Arbeit (Energie)

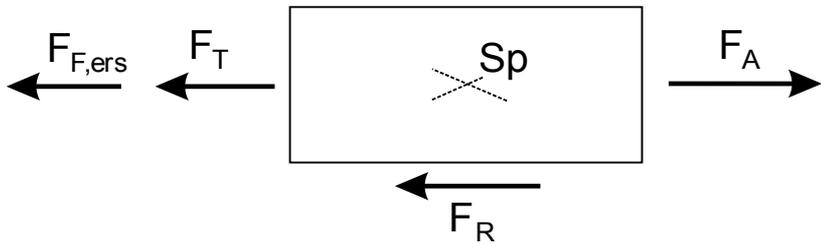
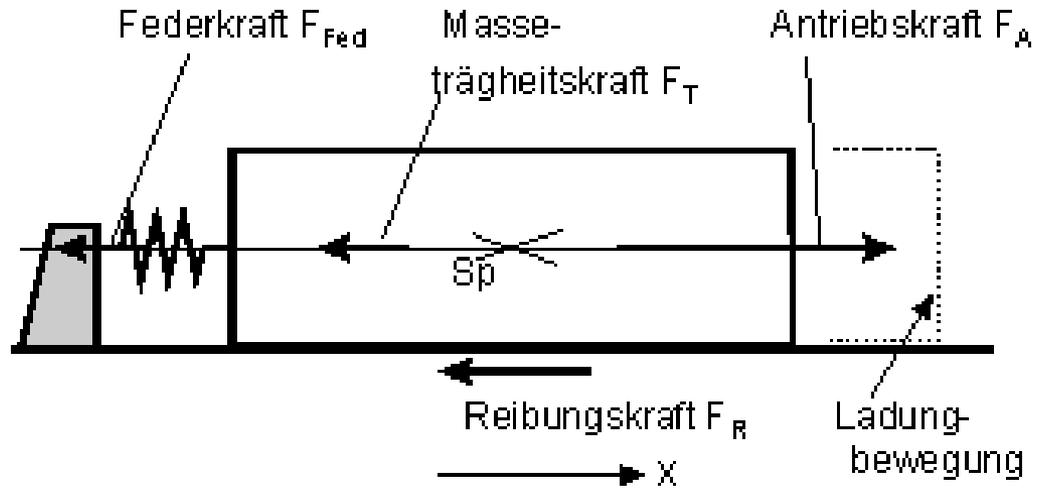
(Kraft und Weg gleichgerichtet)

$$E = \sum F_x \cdot s_x$$

Voraussetzung, daß s_x gleich bleibt, ist, daß der Verschiebungsweg der Ladung gleich dem Dehnungsweg der Zurrmittel ist!

Berechnung der Ersatzfederkraft

Ansatz nach d'Alembert



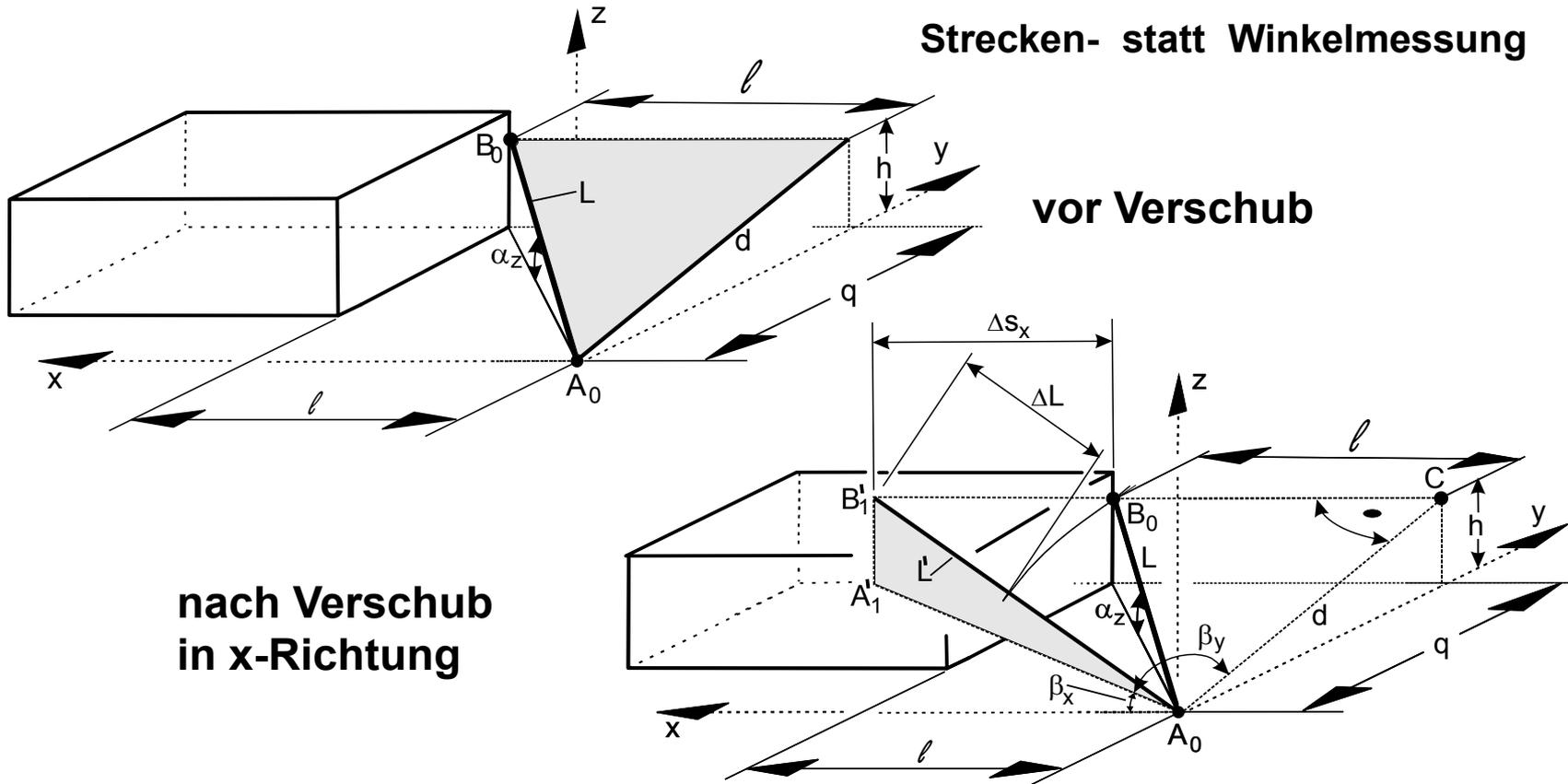
Freischnitt

$$F_A - F_{Fed} - F_R - F_T = 0$$

Antriebskraft, z.B. 0,8 g
Federungskraft
Reibungskraft
Trägheitskraft

Verschubweg und Gurtdehnung

Kreuzweise Diagonalzurrung



$$L^2 = (\Delta s_x + l)^2 + d^2$$

$$(L + \Delta L)^2 = (\Delta s_x + l)^2 + d^2$$

$$(L + \Delta L)^2 = (\Delta s_x + l)^2 + q^2 + h^2$$

$$\Delta s_x = \sqrt{(L + \Delta L)^2 - q^2 - h^2} - l$$

↑ maximale Dehnung bei LC, bzw. F_T
 ↑ ursprüngliche Länge
 ↑ Verlängerung Zurmittel bei LC, bzw. F_T

Ladungsweg nach d'Alembert

$$m \cdot a - c_{f,ers} \cdot s - m \cdot g \cdot \mu_G - m \cdot \ddot{s} = 0$$

Inhomogene Differentialgleichung 2. Grades

Im Maximum der Schwingung (= maximale Dehnung) gilt: $s'' = 0$
(also Beschleunigung gleich Null)

$$m \cdot a - c_{f,ers} \cdot s - m \cdot g \cdot \mu_G = 0 .$$

Das Maximum des Gleitweges der Ladung liegt bei:

$$\Delta s = \frac{m}{c_{f,ers}} (a - g \mu_G)$$

Dieser Gleitweg Δs muß vor der Ladung frei sein!

Berechnungsbeispiel

$$\begin{aligned} s_{\max} &= \frac{m}{c_f} (a - g \mu_G) \\ &= \frac{1000 \text{ kg mm}}{12727 \text{ N}} (8 - 2) \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \\ &= 3,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Für $\mu = 0,3$ und $m = 1 \text{ t} = 3,9 \text{ mm}$

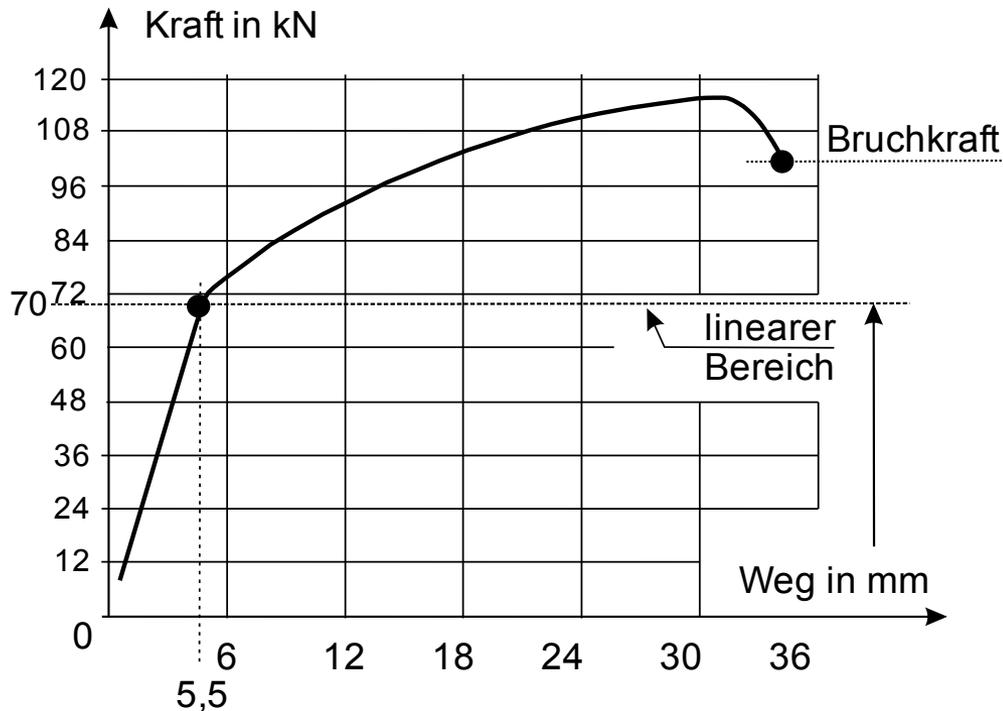
$= 0,3$ $= 6 \text{ t} = 23 \text{ mm}$

$= 0,1$ $= 1 \text{ t} = 5,5 \text{ mm}$

$= 0,1$ $= 6 \text{ t} = 33 \text{ mm}$

Deutlich ist der Einfluß der Masse und des Gleitreibungskoeffizienten auf den maximalen Gleitweg zu erkennen. Mit einer niedrigen Gleitreibungszahl wird die Ladung schneller gleiten! Dieser Weg muß vor der Ladung vorhanden sein, damit das Zurrmittel auch gedehnt werden kann!

Federrate einer Kette



Damit ergibt sich
eine Federrate

$$c_f = \frac{70\,000\text{ N}}{5.5\text{ mm}} = 12\,727\text{ kN/mm} .$$

Zentrale Bedeutung für das energetische Verfahren ist die Elastizität der Zurrmittel, bzw. von Werkstoffen, die vorliegen muß.

Dabei sind zwei Dinge zu unterscheiden:

1. Es liegt ein Diagramm einer Federrate (Abbildung links eine Kette) vor oder
2. es wird auf der „Elastizität“ von Werkstoffen aufgebaut. In diesen Fällen wird auf eine „Hookesche Gerade“ zurückgegriffen. Diese Bedingung ergibt im Regelfall nur geringste Ladungsbewegungen, die im geringen Millimeterbereich liegen und die Verwendung von auf Statik begründeten Verfahren zurückgreifen können [1, Bd. 2, Seite 2]

In dieser Abgrenzung zwischen 1. und 2. liegt auch die Begründung für die Unterscheidung in elastischen und unelastischem Formschluß [4]!

Rungen

Die Behandlung der Rungen basiert auf der Unterscheidung nach dem einzusetzenden Berechnungsverfahren, also danach, ob die Runge

- 1. nur auf Schub,**
- 2. auf Schub und zugleich Biegung oder**
- 3. nur auf Biegung**
zu berechnen ist.

Aufbauturungen – Seitenwandrungen

Beispiele



**berechnungsfähig
allein auf Biegespannung
Querkraftspannung vernachlässigbar**



**nicht berechnungsfähig, da wegen
der nicht konstanten Formgebung
(Rungentaschen) nicht
mathematisch beschreibbar**

„Kurzzungen“ Beispiele



Steckungen
mittig – Außenrahmenprofil
Querschnitt zylindrisch
quadratisch

oder

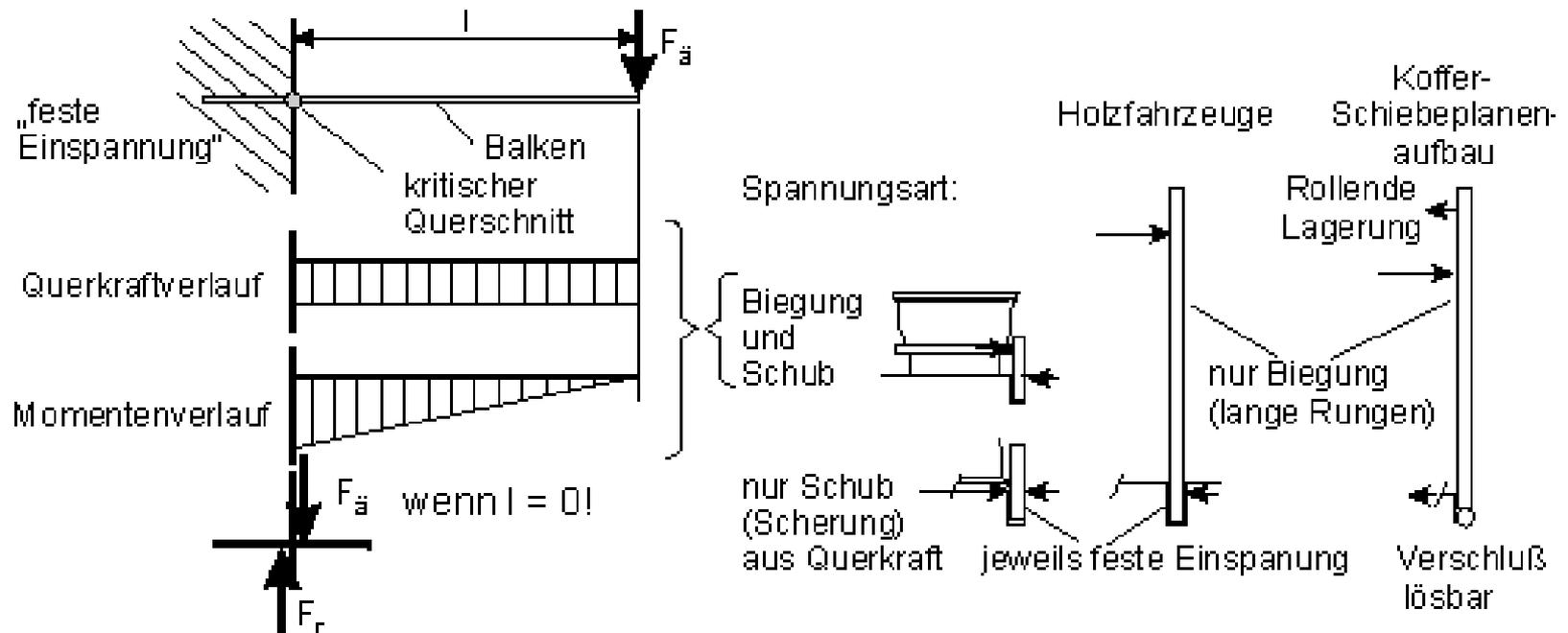


Bordwanddrunge



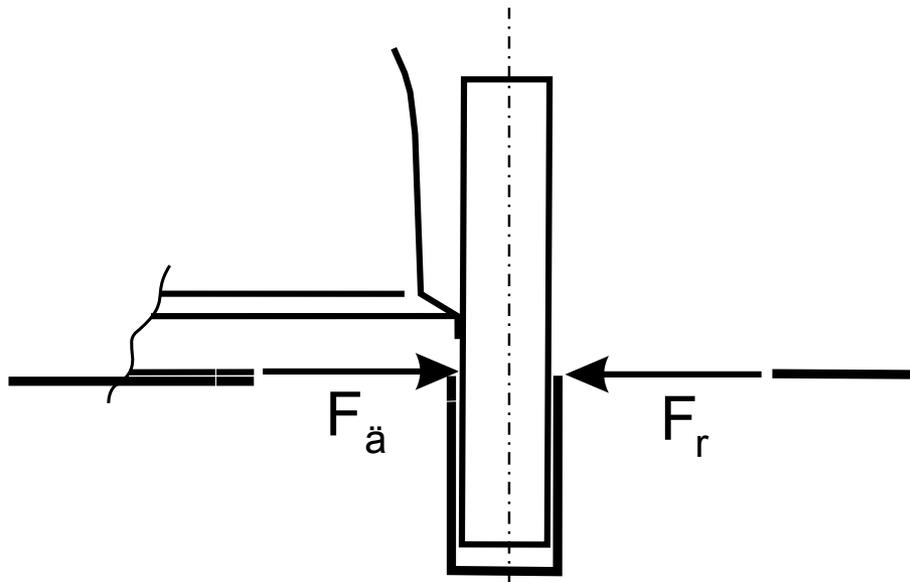
Zur Berechnung von Rungen

Auslegungsvarianten von Rungen



Für „mittellange“ Rungen aus Schubund Biegung berechnen!

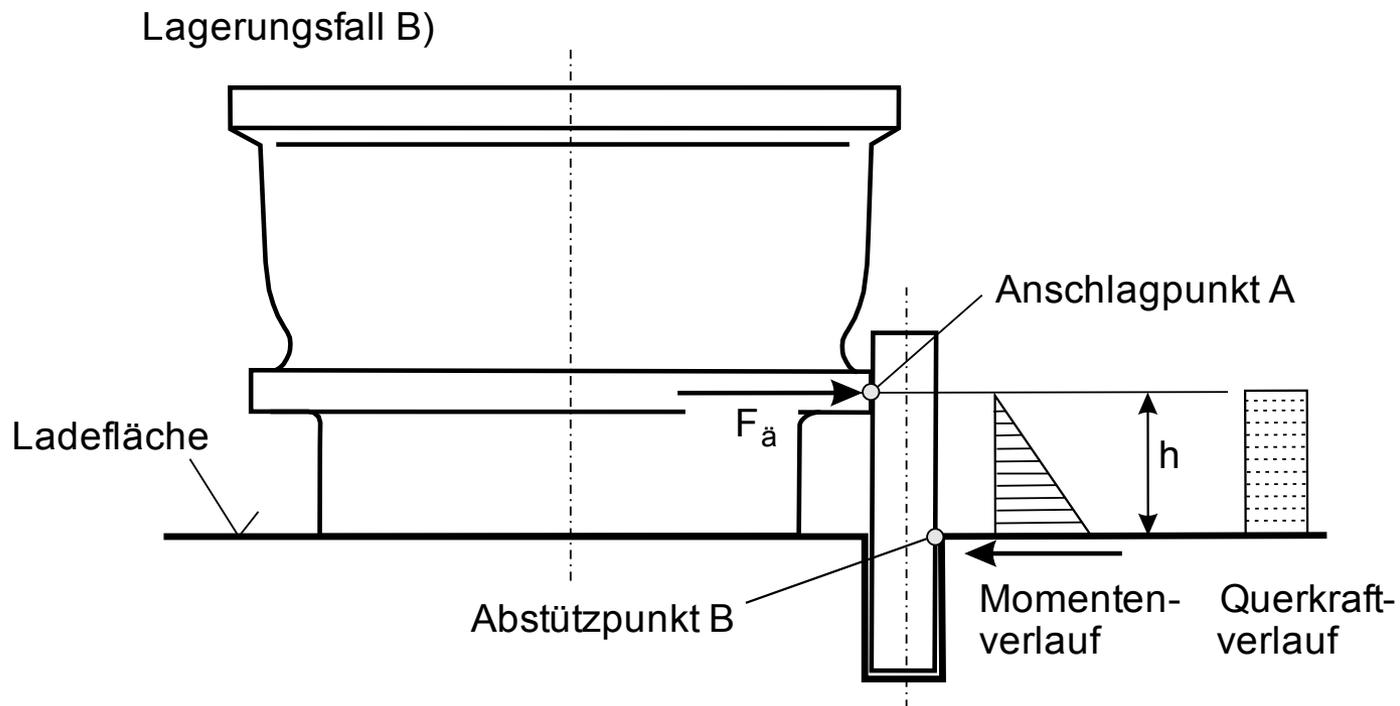
Berechnung kurze Steckringe bei Schubbelastung



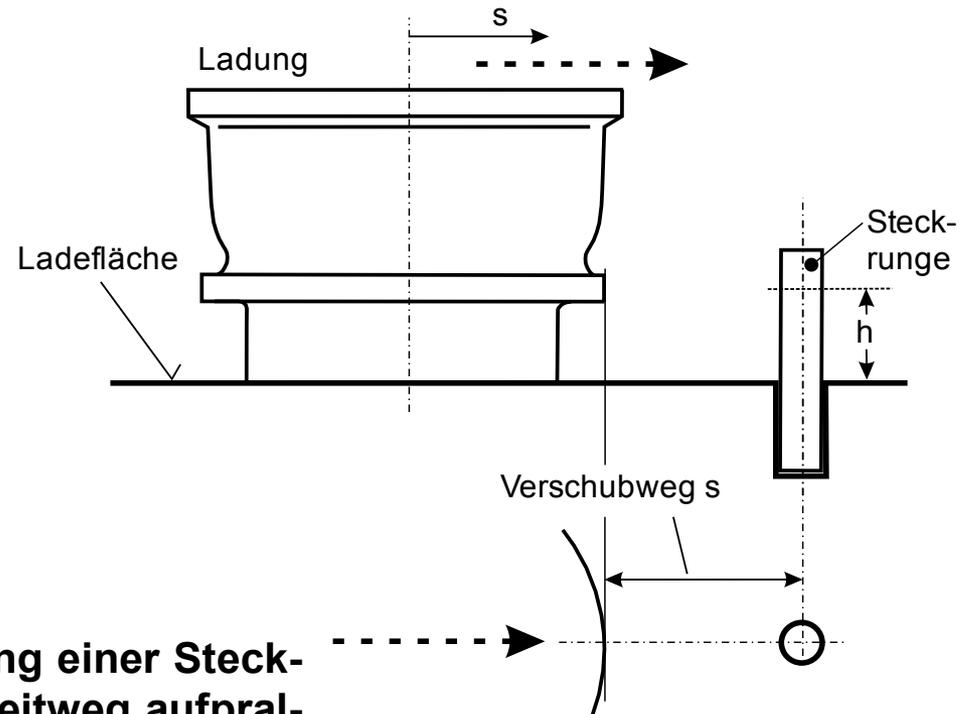
Berechnung auf Schub/Scherung.

Berechnung Runge

Auf Schub (Querkraft) und Biegung (Momentenbelastung)



Berechnung Runge auf Stoßbelastung



Berechnungsansatz für eine Auslegung einer Steckrunge, die durch eine nach einem Gleitweg aufprallende Ladung beaufschlagt wird (Freiraumbeschleunigung).

Berechnungsbeispiel

Es sollen folgende Daten zugrunde gelegt werden:

Sicherung erfolgt nach Weg s über 1 Runge

Rohr

$$D_a = 5 \text{ cm}$$

$$D_i = 3,8 \text{ cm}$$

Höhe

$$h = 0,8 \text{ m}$$

$$\sigma_{zul} = 450 \text{ N/mm}^2$$

Masse Ladung

$$m = 5000 \text{ kg}$$

(Annahme: starr)

Verzögerung Fahrzeug

$$a_v = 8 \text{ m/sec}^2$$

Ladungsweg bis Aufprall

$$s = 0,1 \text{ m}$$

Gleitreibungszahl $\mu_G = 0,2$

Gesucht: Maximale Durchbiegung s_B der Runge

$$(1) \quad m \cdot \ddot{s} - m \cdot a_V - m \cdot g \cdot \mu_G = 0$$

D'Alembertscher Ansatz

$$(2) \quad \ddot{s} - a_V - g \mu_G = 0$$

$$(3) \quad v = (a - g \mu_G) t$$

(4) nach 2. Integration

$$(5) \quad s = \frac{1}{2} (a - g \mu_G) t^2$$

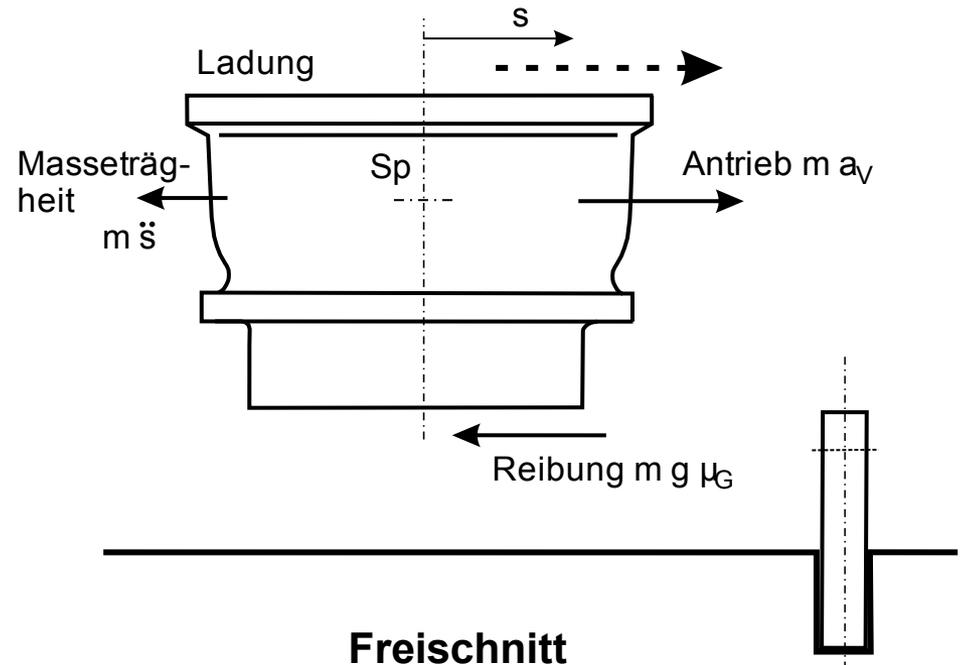
$$(6) \quad t = \sqrt{\frac{2s}{a - g \mu_G}}$$

(6) in 2. Integration eingesetzt, ergibt die von dem Weg s abhängige Geschwindigkeit:

$$(7) \quad v = (a - g \mu_G) \sqrt{\frac{2s}{a - g \mu_G}}$$

Bei Maximalbiegung der Steckrunga ist die Geschwindigkeit $v = 0$. Damit ergibt sich mit (8) der Gleitweg s bei Maximalbiegung.

$$(8) \quad s_B = \frac{m \cdot s (a - \mu_G g)}{m \cdot g \cdot \mu_G + 2 F_B}$$



$$\sigma_{zul} = \frac{M}{W}$$

$$M = F \ddot{a} \cdot l$$

$$W = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 D}$$

$$\sigma_{zul} = \frac{F \ddot{a} \cdot l}{\frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 D}}$$

$$s_B = \frac{m \cdot s (a - \mu_G g)}{m \cdot g \cdot \mu_G + \frac{2 \sigma_{zul} \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 D}}{l}}$$

Mit folgenden Werten ergibt sich:

$$W = 40,94 \text{ cm}^3$$

$$s_{zul} = 45 \text{ kN/cm}^2$$

$$s = 0,1 \text{ m}$$

$$s_B = \frac{5000 \text{ kg} \cdot 0,1 \text{ m} (8 \text{ m/sec}^2 - 0,2 \text{ g m/sec}^2)}{5000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/sec}^2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 4500 \text{ N} \cdot 8,18} = \frac{3000 \text{ m}}{83\,430}$$

$$s_B = 3,6 \text{ cm}$$

Sperrbalken

Sperrbalken sind beidseitig eingespannte Träger. Die Biegebelastung des Sperrbalkens kann durch eine oder mehrere Einzellasten entstehen.

Beispiele



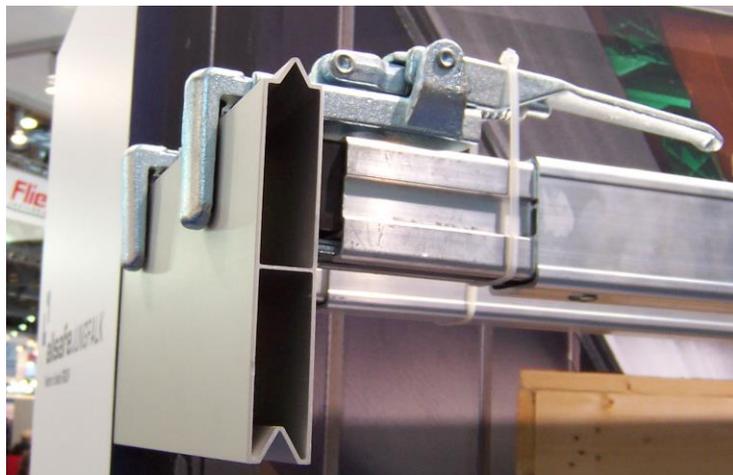
Formschlüssige Verankerung

- am Außenrahmenprofil
(relativ „starre“ Krafteinleitung)



- an Seitenlatten
(Klemmschluß Verschub möglich relativ
„nachgiebige“ Krafteinleitung)

Bordwandklemmung - Beispiele

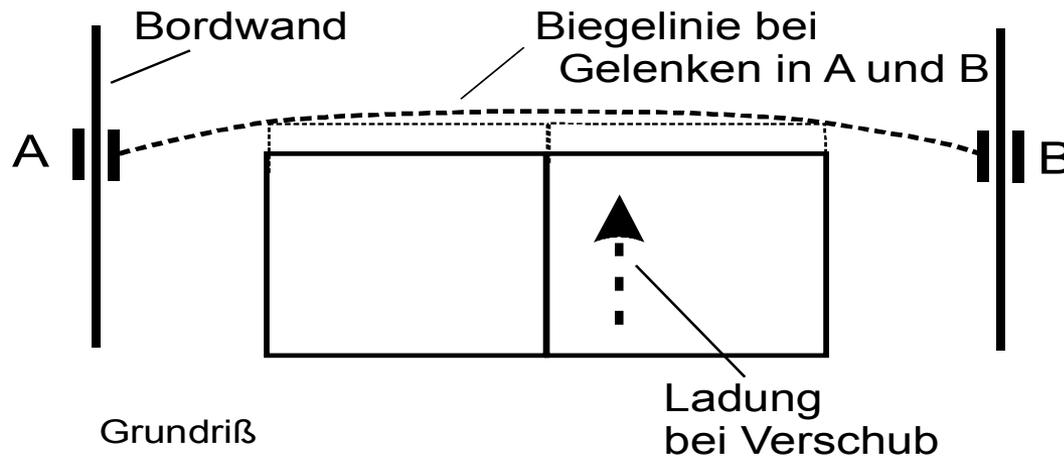


Forderungen Sperrbalken

- Klemmwirkung einstellbar
- in der Breite anpaßbar
- ausreichenden Biege widerstand haben
- biegestabile bordwände
- ...

Zur Berechnung von Sperrbalken

beidseitig eingespannter Träger auf Biegung durch Einzelkraft/kräfte



Balkenberechnung

Klemmarretierung an den Bordwänden (Eignung)

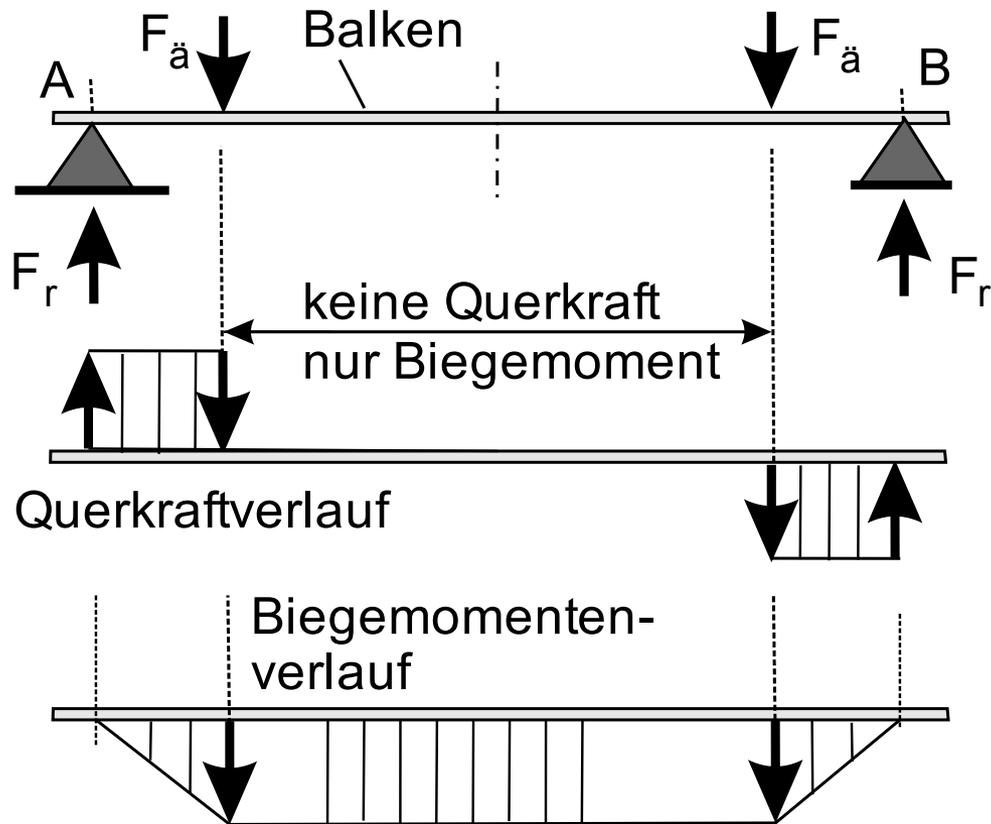
Grenzen der Durchbiegung

Funktion abhängig von Bordwandhöhe

S-Schlag

Rückbewegung bei Durchbiegung

Biegemomenten- und Querkraftverlauf



Festigkeitsgrenze

Sperrbalken

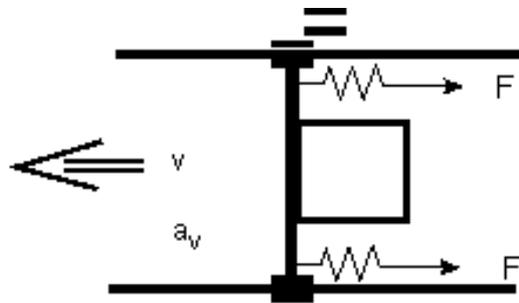


**Bei Versuchen ([3] 1993!) mit Vollbremsungen gebrochener Sperrbalken.
(Sperrbalken zur Segmentierung bei homogenen Komplettladungen eingesetzt.)**

Sperrbalken – Anwendung Bordwandsperrbalken

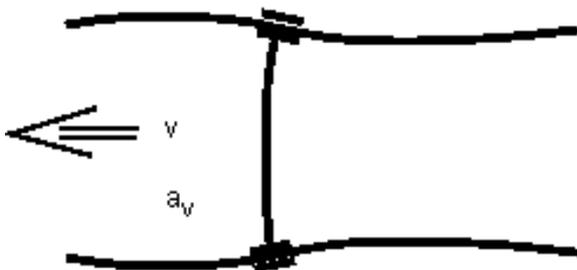
S – Schlag aus Bordwandelastizität

Schwerpunktladung - Sperrbalkenhöhe



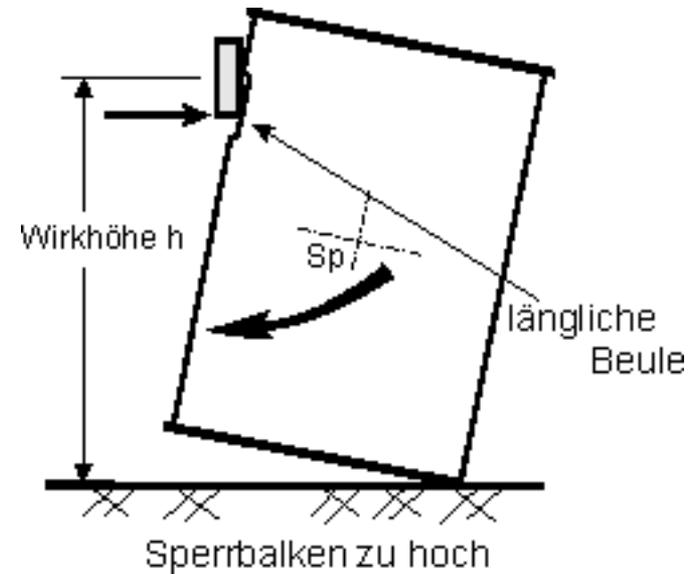
Balken frei beweglich

Bordwand ohne
Momenteneinleitung
in die Bordwände



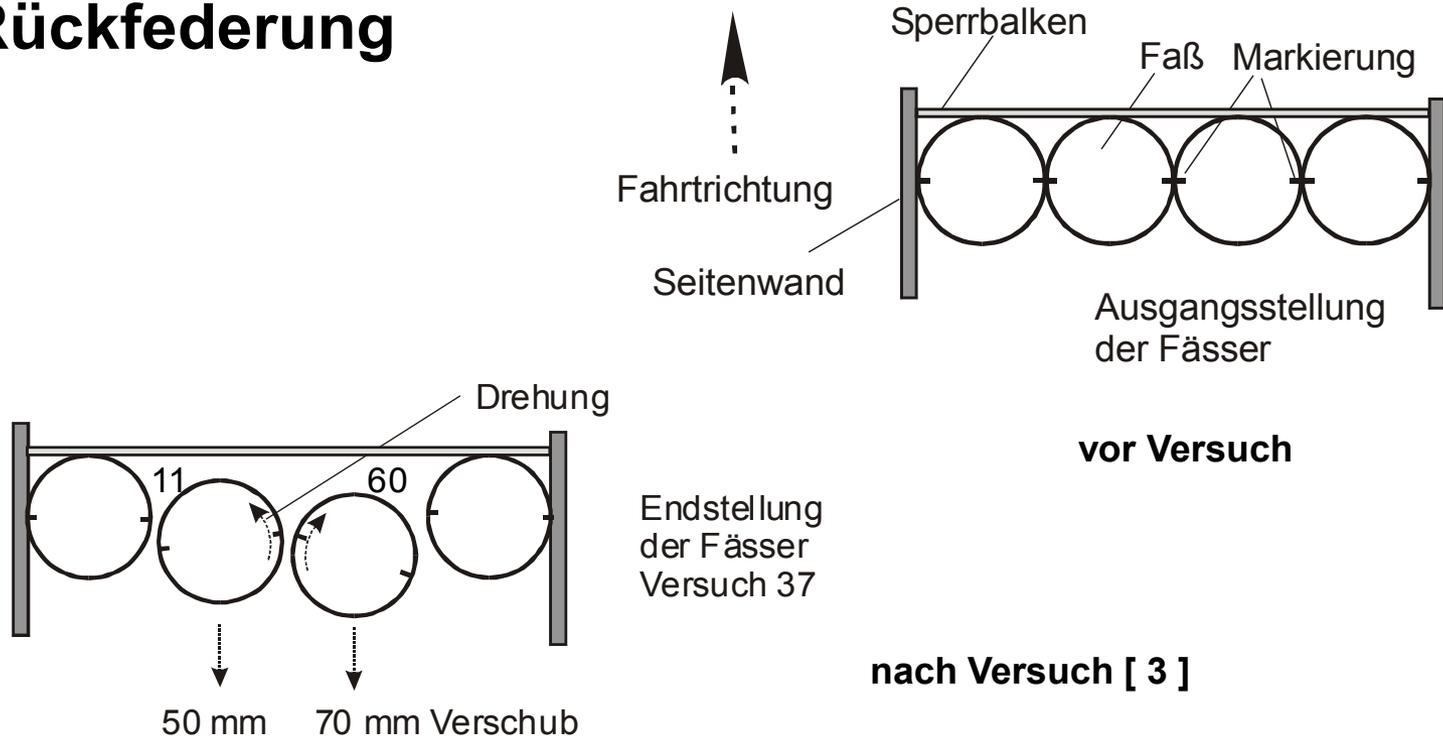
Balken mit Klemmung

Bordwand mit
Momenteneinleitung
in die Bordwände



[3]

Rückfederung



Um die Folgen aus einer Freiraumbildung aus dem Wandern, z. B. bei Faßladungen, zu verringern, werden z. B. vor jeder 5. Faßreihe auch Sperrbalken gesetzt. Bei großen Bremsbelastungen kann es zu Ladungsbewegungen nach vorn kommen. Die Fässer werden zurückgedrückt. Die Untersuchungen in [3] z. B. Rückfederungswege von 50 und 70 mm ergeben. Außerdem wurden Drehungen um 45, 11 und 60 Grad festgestellt.

Durchfederungsverringering



Mit einem Zurrurt und einem Keil wird eine Gegenkraft aufgebracht. Da der „Zurrwinkel“ sehr flach ist, müssen hohe Anzugkräfte aufgebracht werden, damit eine wirksame Gegenkraft in der Mitte über den Keil entsteht.

Literatur

- [1] Gross, Hauger et. al., Technische Mechanik 2, Springer
11. Auflage, e-ISBN 978-3-642-19984-4
- [2] Podzuweit U., Neumann W., Zurück zu den Wurzeln,
Gefährliche Ladung, 7/2013
- [3] Podzuweit, Ulrich, Forschungsvorhaben des deutschen
Bundesverkehrsministeriums „Ladungssicherung von Gefahrgut“,
FE Nr. 90380/9, 1994
- [4] Podzuweit, Ulrich, Ladungssicherung – Zur Festigkeit von
Stirnwänden, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 12/2007

18

Buchtlaschingtechnik **(Kopfschlingenzurrung)**

Inhalt

- **Beispiele**
- **Zurrtechnik Buchtflasching**
- **Vergleich Niederzurrung – Buchtflasching**
- **Begriff Kopfbucht**
- **Anwendungen**
- **Zurrmitteldehnung – Ladungsweg**
- **Zurrmittellage und Ladungsschwerpunkt**

Buchtlassingsicherungen

Beispiele I



Buchtlassings
Beispiele

↑
Abschlußsicherung

als Netz ausgebildet



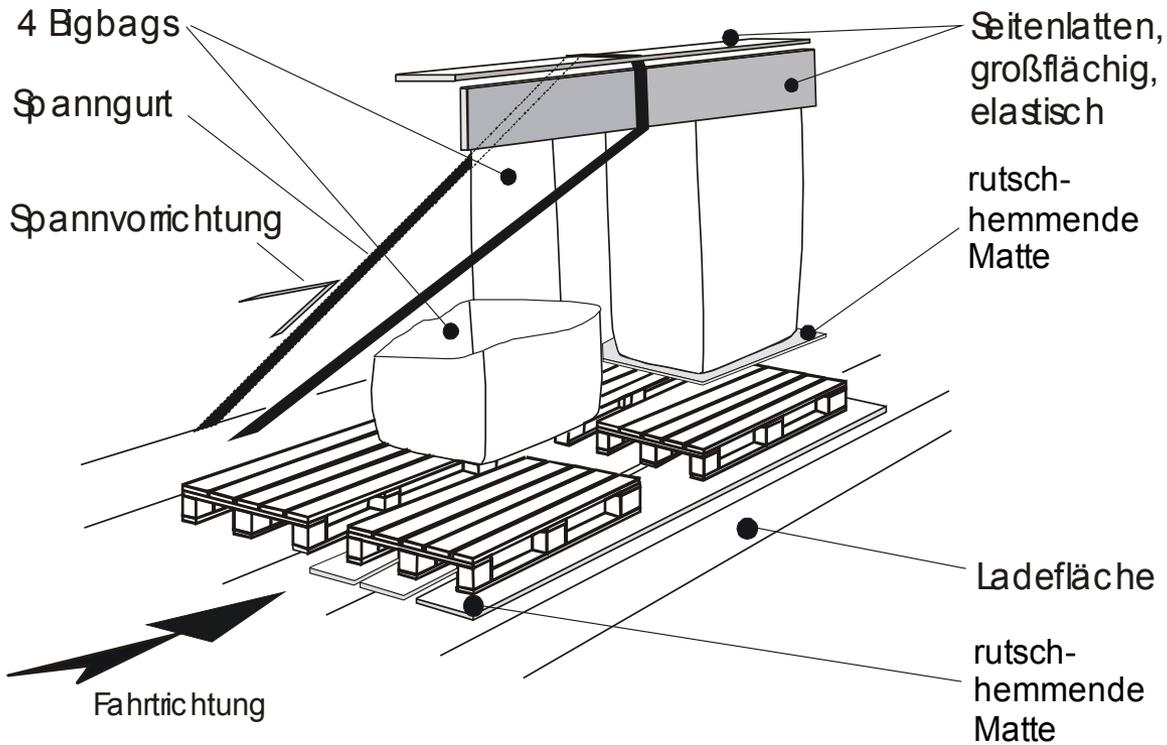
Buchtaschingsicherungen

Beispiele II



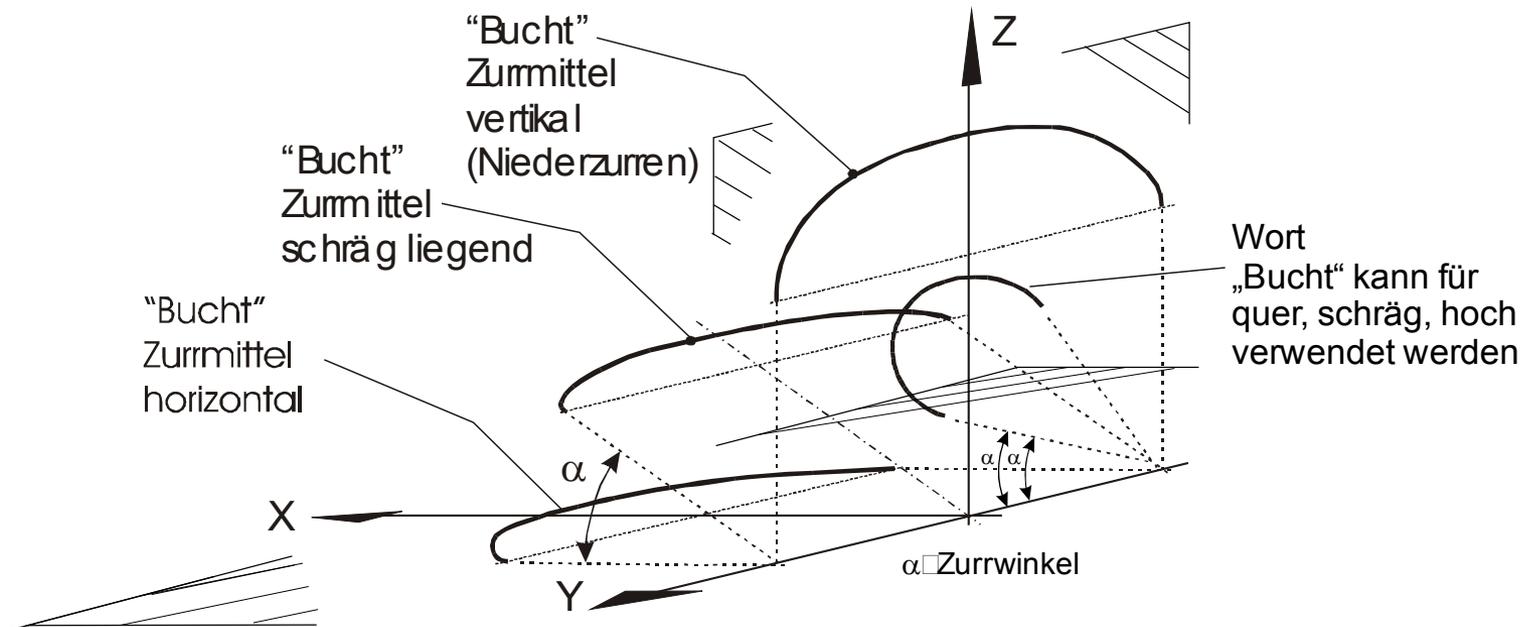
Buchtasching für Sackware

Buchtflasching als Quersicherung



beidseitig angeordnet

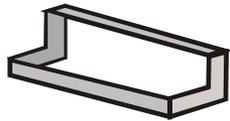
Kopfbucht



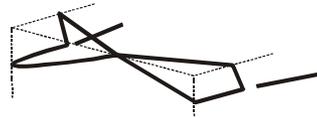
Zur Verwendung des Wortes Kopfbucht Lagevarianten

Buchtlasching

Kopfschlingenlösungen



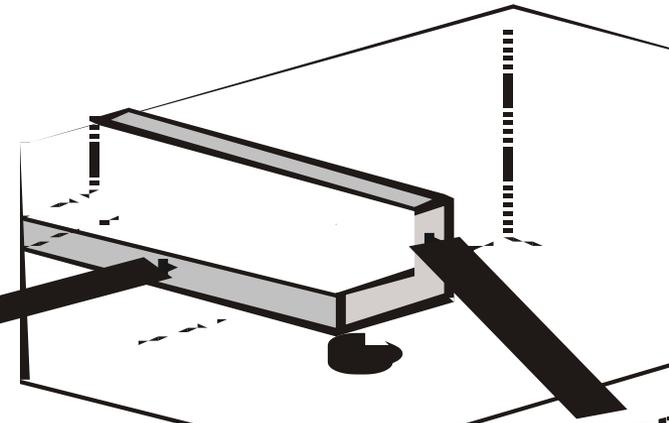
1 Kopfbucht
(Rundstropp)



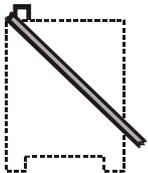
2 achtförmige
Kopfbucht



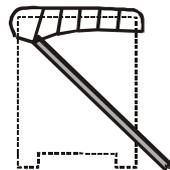
3 Kopfbucht
durch Zurmittel-
verlegung



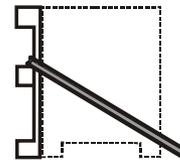
Kopfschlingenvarianten



4 "Fixierter"
Gurt
durchlaufend !



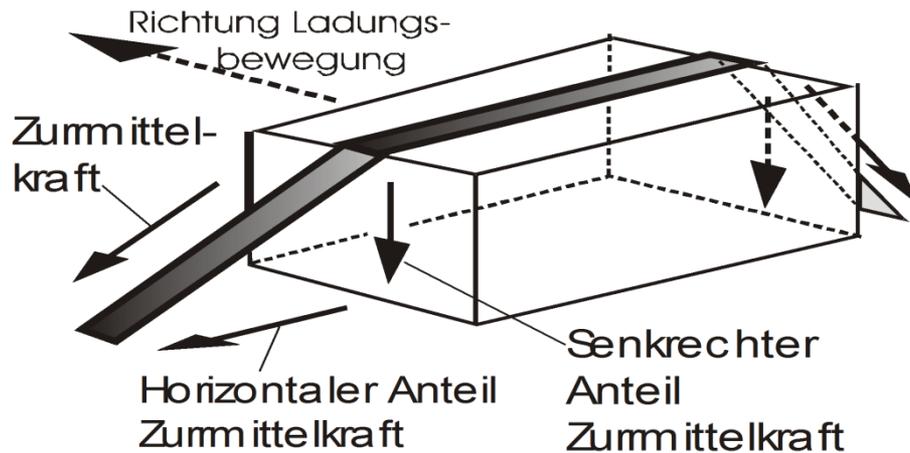
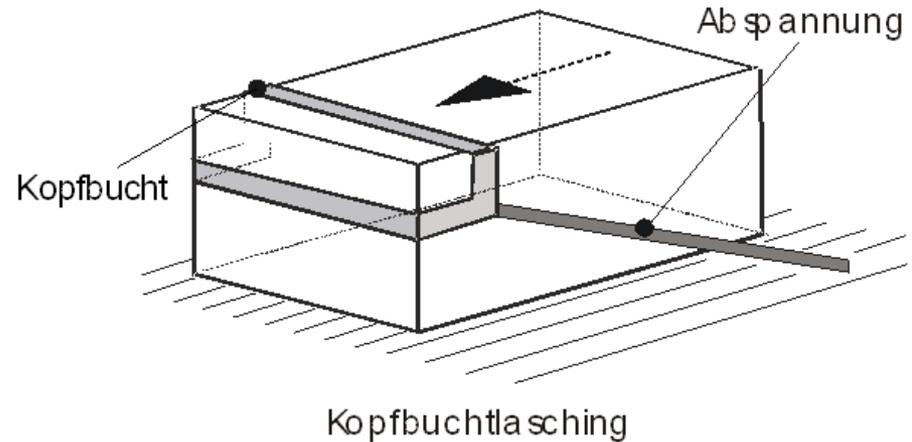
5 "Netzhaube"
Gurt direkt



6 Sicherung
mit "Paletten"
Gurt durch-
laufend

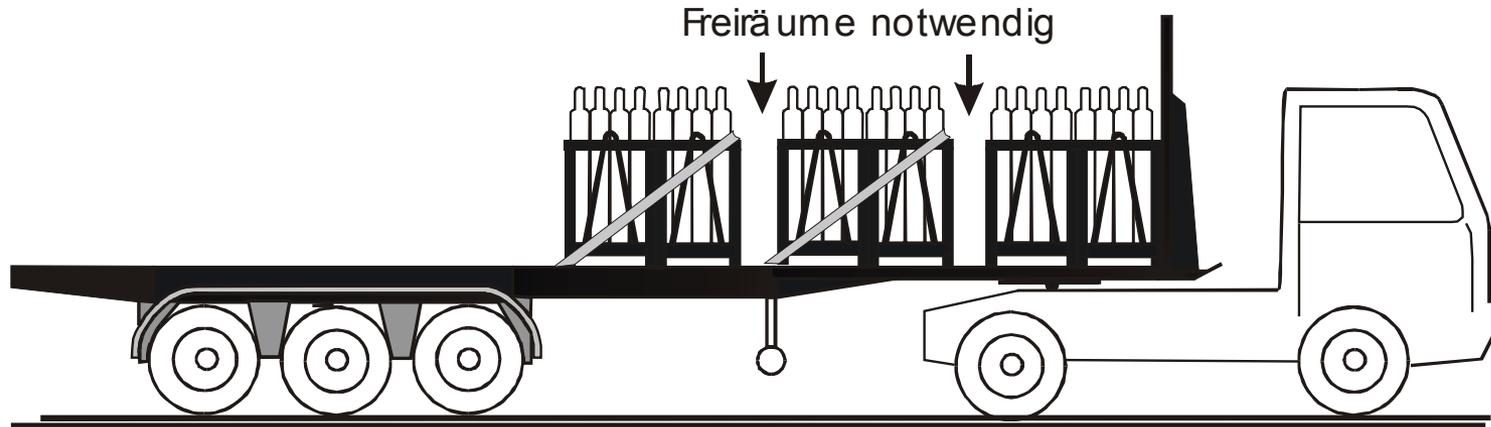
weitere Lösungen

Niederzurrung – Buchtzurrtechnik im Vergleich



Buchtzurrtechnik Merkmale
Kopfbucht mit vertikal und horizontal wirkender Schlinge
Längsgurte flacher Zurrwinkel
Niederzurrwirkung gering
u. U. Längsgurte mit größerer Dehnung (Verformungsschlus-sicherung)

Zur Anwendung



Buchtzurtechnik

Stauung mit Lücken

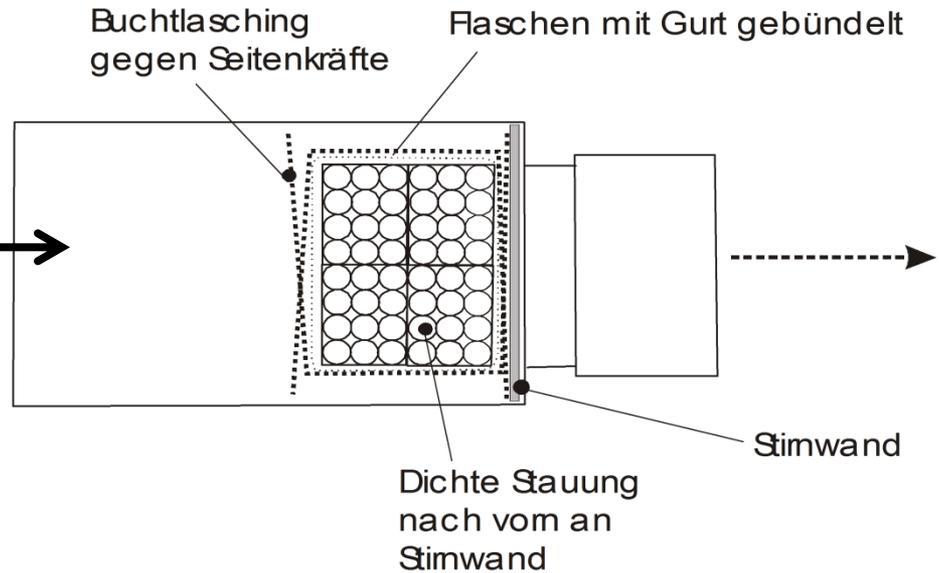
„Freiraumstaung“

Ohne Freiraum für Verschiebeweg vor der Ladung ist keine Gurtdehnung möglich und kein Aufbau einer Rückhaltekraft.

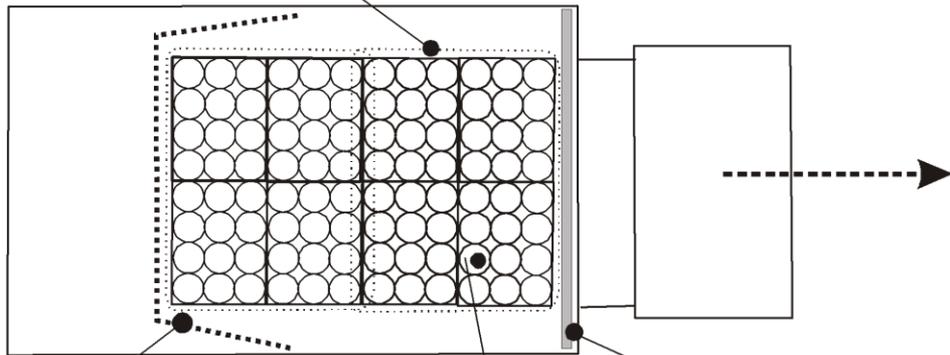
Zur Anwendung

Buchtflasching, seitwärts wirkend

Buchtflasching, Abschlußsicherung



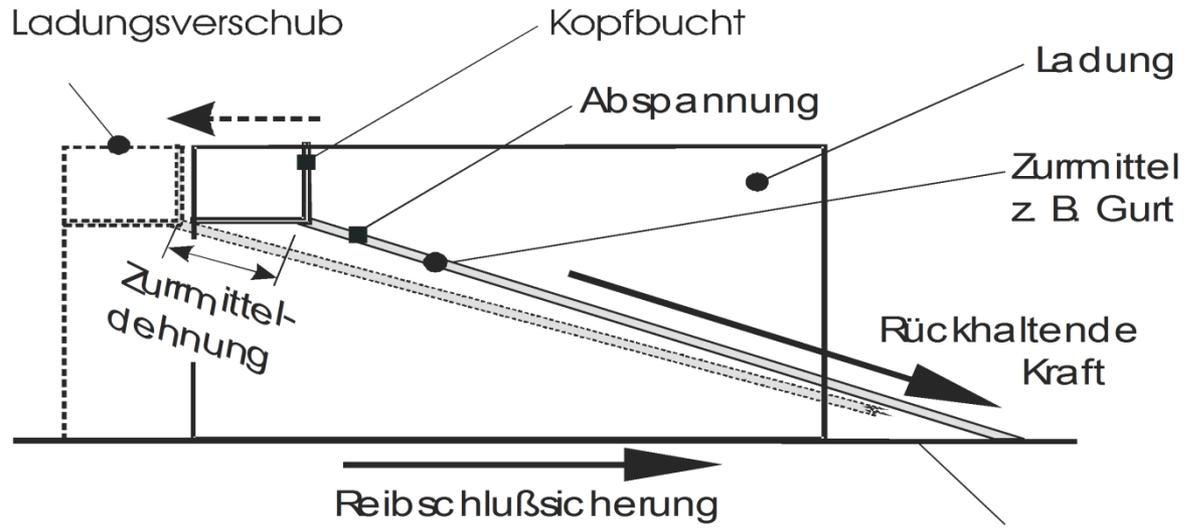
Flaschen mit Gurt gebündelt



Buchtflasching, Wirkrichtung

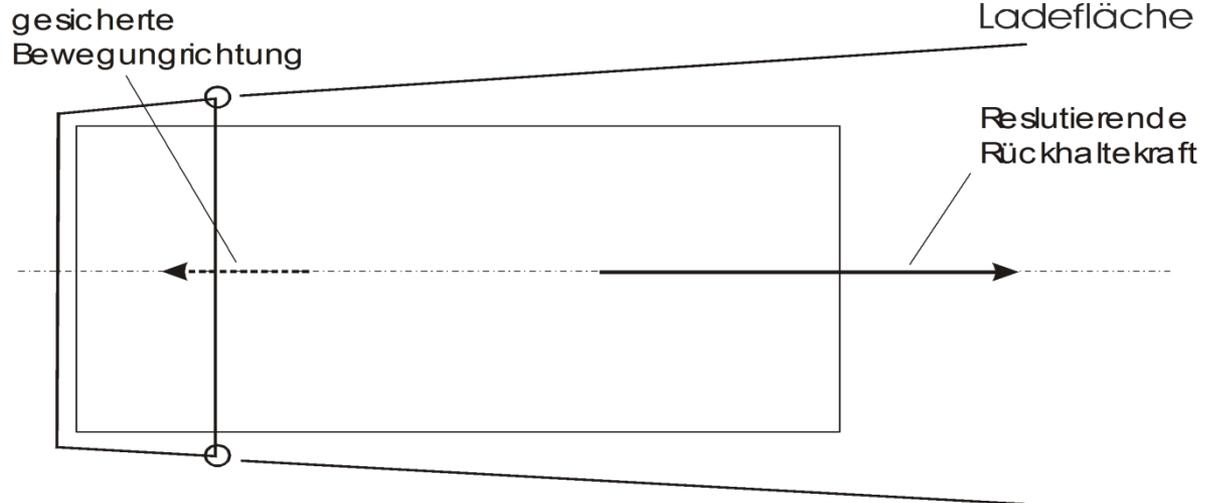
Soll eine Buchtflasching-sicherung seitwärts wirken, müssen die Zurrungen entsprechend gesetzt werden.

Zur Berechnung der Rückhaltewirkung



Dehnung Zurmittel bei Verschiebung s. sh. Folie 17, Kapitel 17

Berechnungsweg Folie 11 ff Kapitel 17

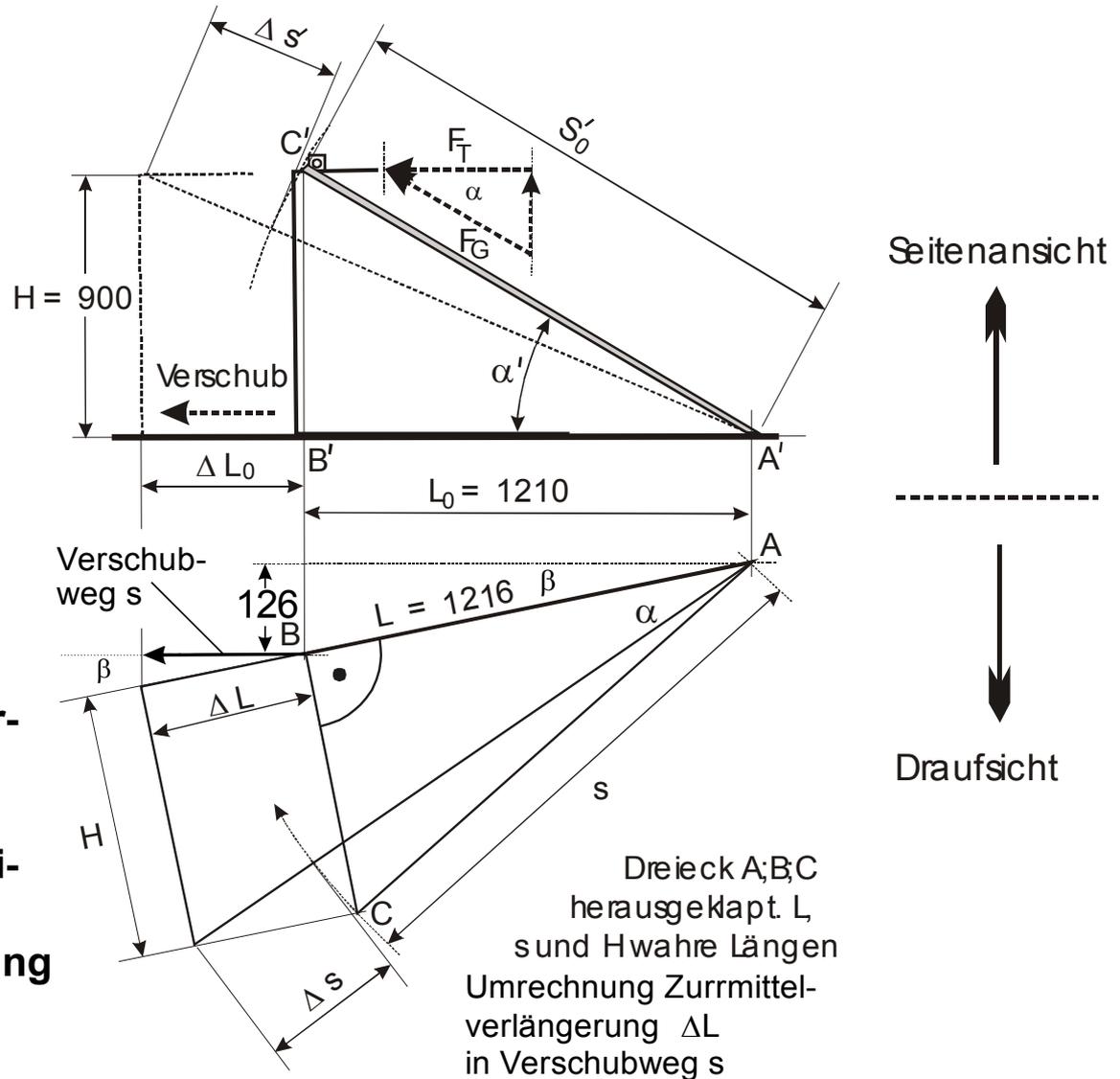


Berechnung Verschub und Gurtver- längerung

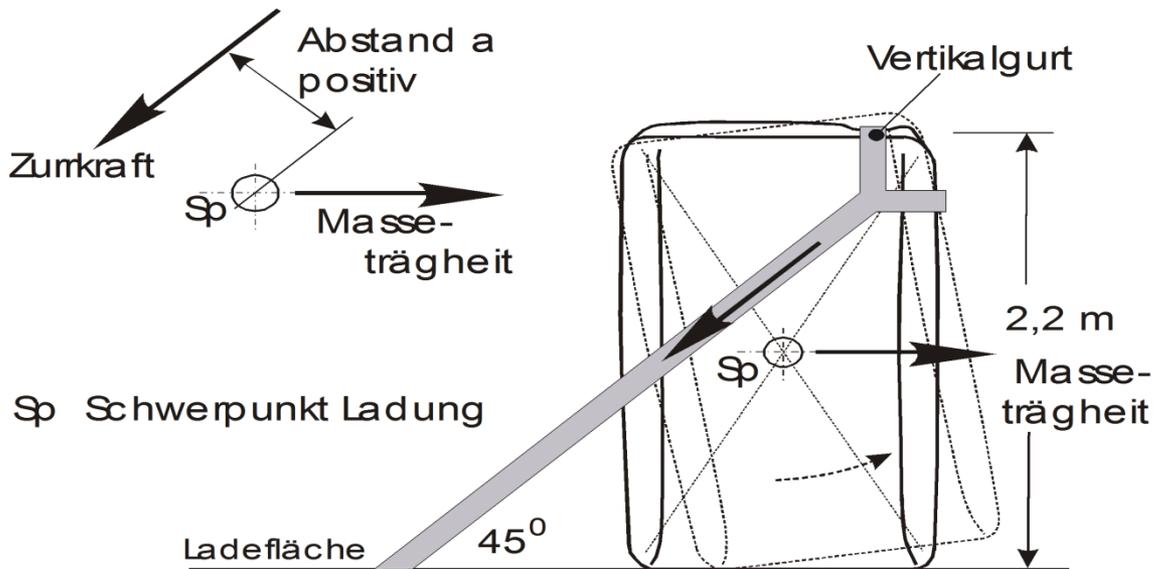
Buchtflaschingberechnung

Zur Berechnung wird auf die Vorgehensweise zur Berechnung der Wirkung bei Verformungsschluß verwiesen.

Die Skizze zeigt den geometrischen Lösungsweg zur Ermittlung der wahren Längung bei einem Verschubweg.



Zurmittelanwendung und Ladungsschwerpunkt



Buchtlasching, Lage der Abspannung

Die seitlichen Gurte sollten durch den Schwerpunkt der Ladung laufen. Geringe Abweichungen sind vertretbar.

Bei größeren Abweichung wird der Bigbag bei z. B. Bremsungen entweder nach vorn kippen oder „unter“ der Kopfbucht durch!

19

Formschluß

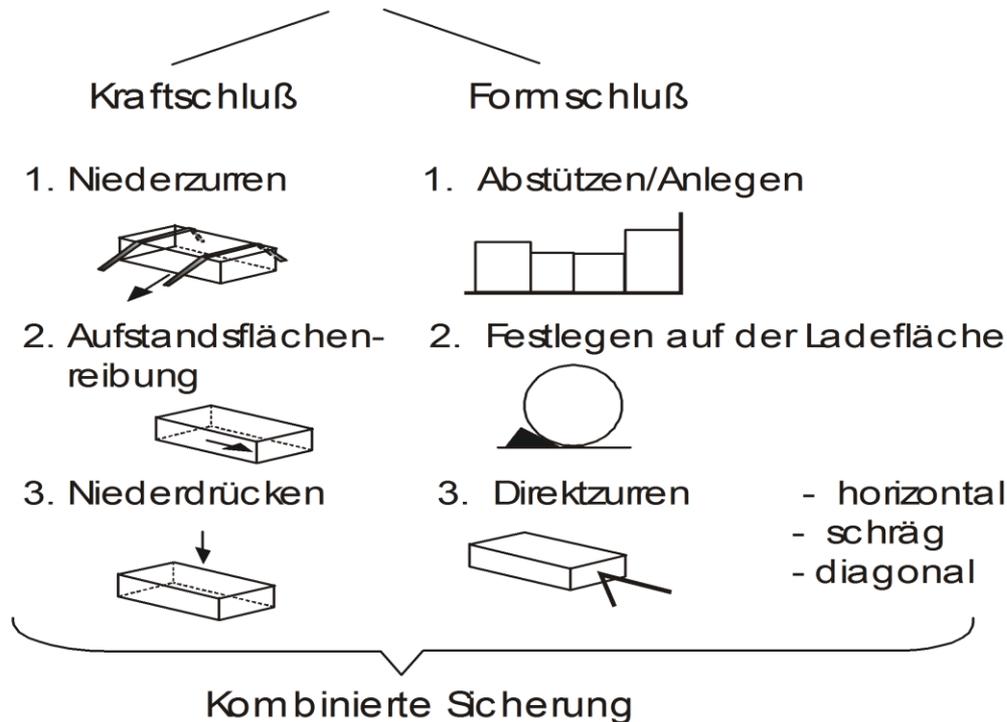
(unelastisch)

Inhalt

- **Formschluß nach VDI**
- **Diagonalzurrung**
- **Unelastischer Formschluß**
 - Unelastische Direktsicherung**
 - Ausstauen**
 - Blocken**
 - Rungen**
 - Berechnungsansatz**
 - Sperrbalken**
 - Gestelle**
 - Keile / Mulden**

Übersicht Ladungssicherungsverfahren nach VDI

Ladungssicherungsverfahren nach VDI 2700

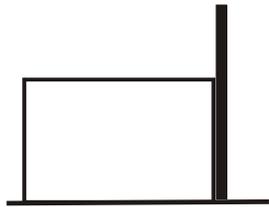


In den VDI-Richtlinien wird der **Formschluß** mittels einer „Beschreibungen“ wie unter 1. bis 3. festgelegt. Sofern es sich um Techniken handelt, die nur sehr kleine Ladungsbewegungen zulassen, ist die Vorgehensweise mechanisch richtig.

Für den Fall, daß bei Direktzurrungen größere Eigenbewegungen der Ladung machen können, ist eine Vorgehensweise mit der Statik oder Elastostatik nicht vertretbar. Hier muß die bei Beschleunigungen auftretende **Masseträgheitskraft** berücksichtigt werden. (sh. Verformungsschluß Kapitel 17)

Definitionskriterien nach VDI

Anlegen(Abstützen)/Festlegen/Direktzurren



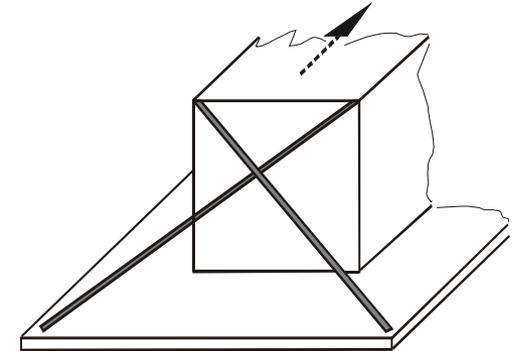
Anschlag
Stirnwand



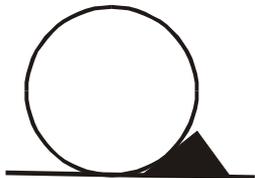
Anschlag



Holzgestell



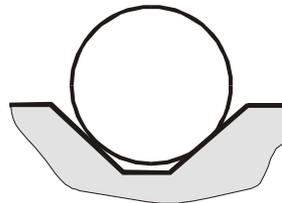
diagonale Direktzurrung



Keil



Keil
genagelt



Mulde

Während die diagonale Direktzurrung einen Ladungsweg zum Aufbau einer Rückhaltekraft erfordert, wird bei den restlichen Lösungen nach einer kleinen oder auch ohne eine Ladungsbewegung die Ladung an einer Stirnwand „geblockt“, also an einer Bewegung gehindert (z. B. Mulde).

Formschluß in Ladungssicherungsrichtlinien VDI

Die VDI-Richtlinie legt den Begriff durch Auflistung (vgl. Abschnitt 9.4) fest. Es werden drei Sicherungsmaßnahmen genannt, die als formschlüssige Sicherung gelten.

Danach wird die Verhinderung eines Ladungsverschubs, einer Kipp- oder Rollbewegung durch „Abstützen“ gegen eine Laderaumbegrenzung, durch „Festlegen“ an der Ladefläche oder durch „Direktzurrung“ als formschlüssig verstanden.

Die DIN EN 12 195:2003 benutzt den Begriff Blocken ohne ihn zu definieren.

Unelastischer Formschluß

Berechnungsgrundlage

Sicherungsverfahren

Elastostatik



Formschluß, unelastisch
(+ vorgespannter Formschluß)

Ausstauen

Diagonalzurrungen

Blocken

Keile

Mulden/Rahmenkröpfungen

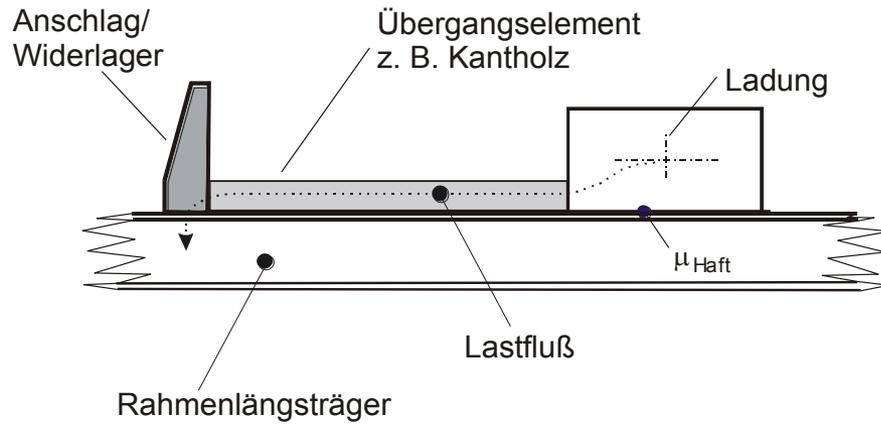
Rungen

} Ladungs-
bewegungen
kleiner/gleich
5 mm

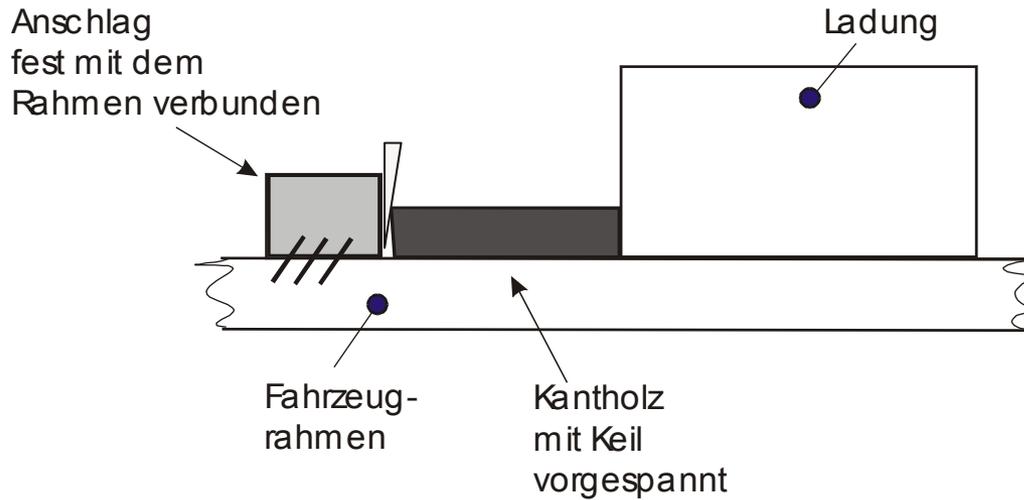
Formschluß, Berechnung
mit statischen Verfahren

Materialdehnung in Grenzen
der Hookeschen Geraden!

Blocken



Formschluß



vorgepannter Formschluß

Direktzurrung heißt:

- **Sicherung mittels Zurrungen**
- **Sicherung mittels einzelner Zurrungen (also ohne Umschlingungen)**
- **Zurrwinkel klein (kleiner 25 Grad)**
- **Zurrmittel kurz (wenig Dehnung, Ladungsweg kleiner als 5 mm)**
- **Zurrmittel ohne Vorspannung**
- **Bei kleinen Zurrwinkeln kaum Kippsicherung möglich.**
- **Anschlagpunkte an der Ladung müssen vorhanden sein.**
- **Bewegungsweg aus Zurrmitteldehnung kleiner als 5 mm.**

Ausstauen



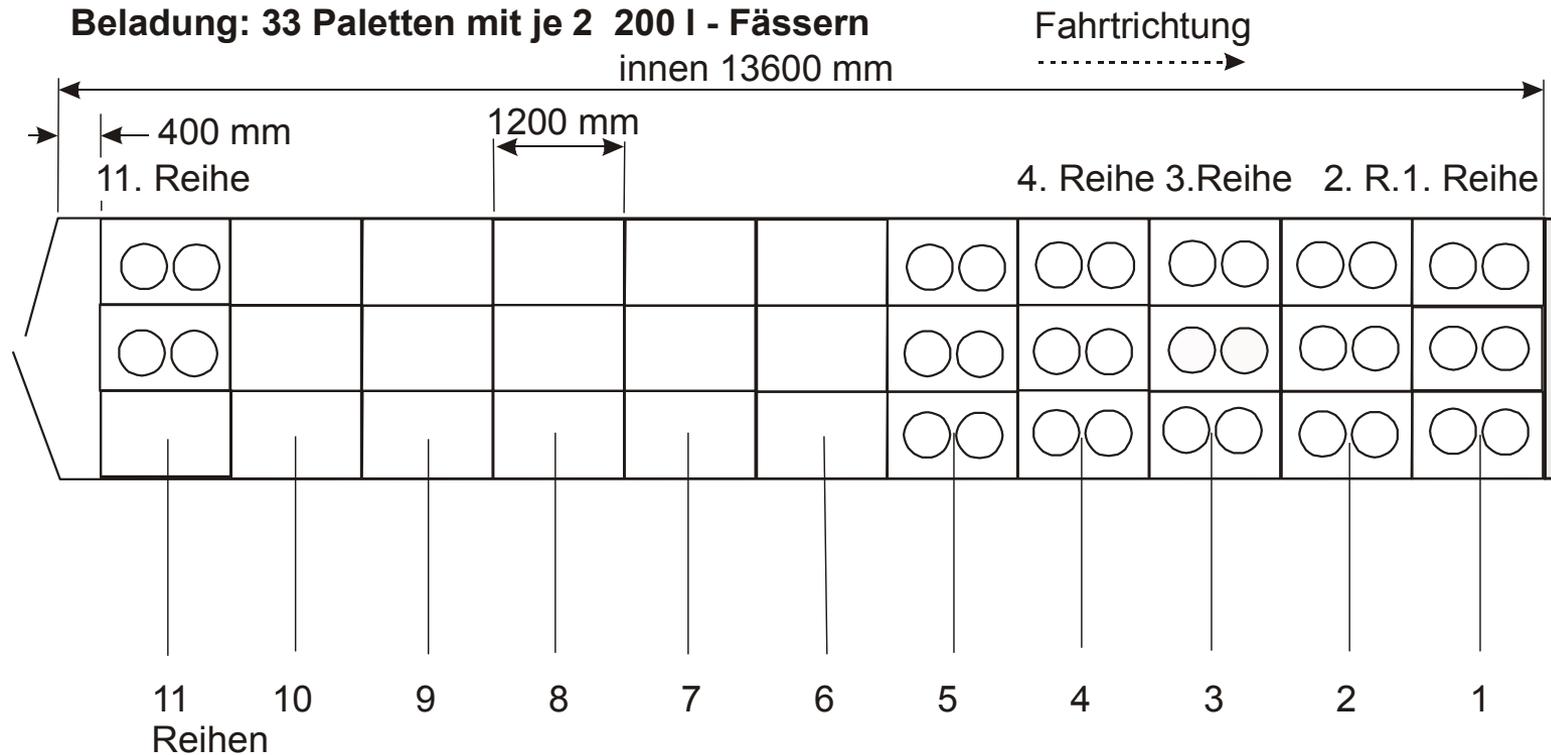
Was ist „dicht ausgestaut“?

Ausstauen setzen stabile Aufbauten voraus! Evtl. Abstützkräfte muß der Aufbau aufnehmen können.

Stauung, dichte Die Stauung soll quer und längs dicht sein.

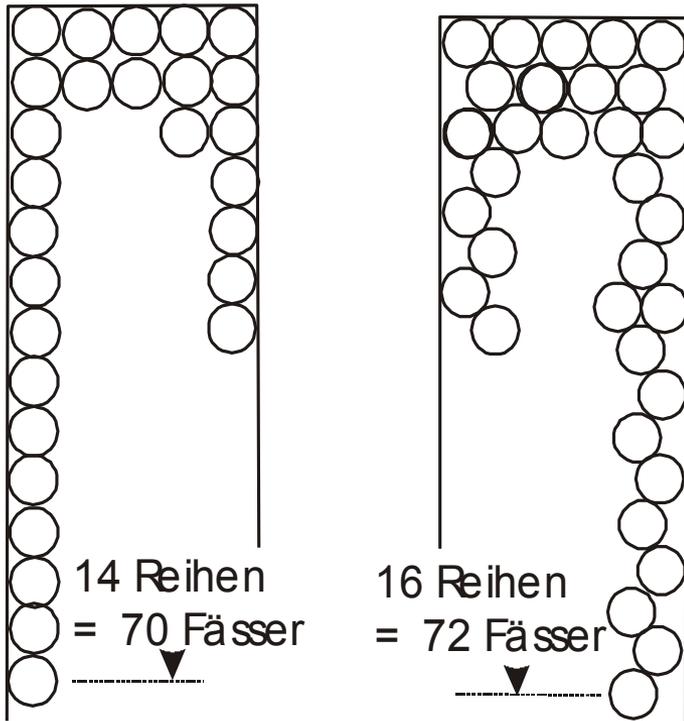
Kleinere Freiräume seitlich sind nicht vertretbar. Im Einzelfall evtl. (Masse!) vertretbar!

Ausgestaute Faßladung auf Paletten



Ausgestaute Paletten mit Fässer, jede Reihe wurde zusätzlich nieder-gezurrt.

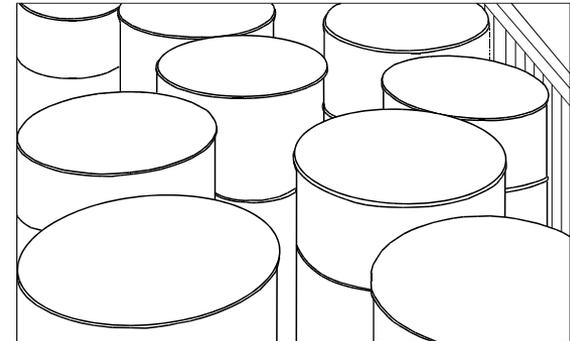
Ausstauungen von Fässern



Soldatenaufstellung "Versetzte" Stauung
(Auch gemischte Anordnung ist möglich)

Aufstellungsarten von Fässern

Aufstellungs-
arten
von Fässern

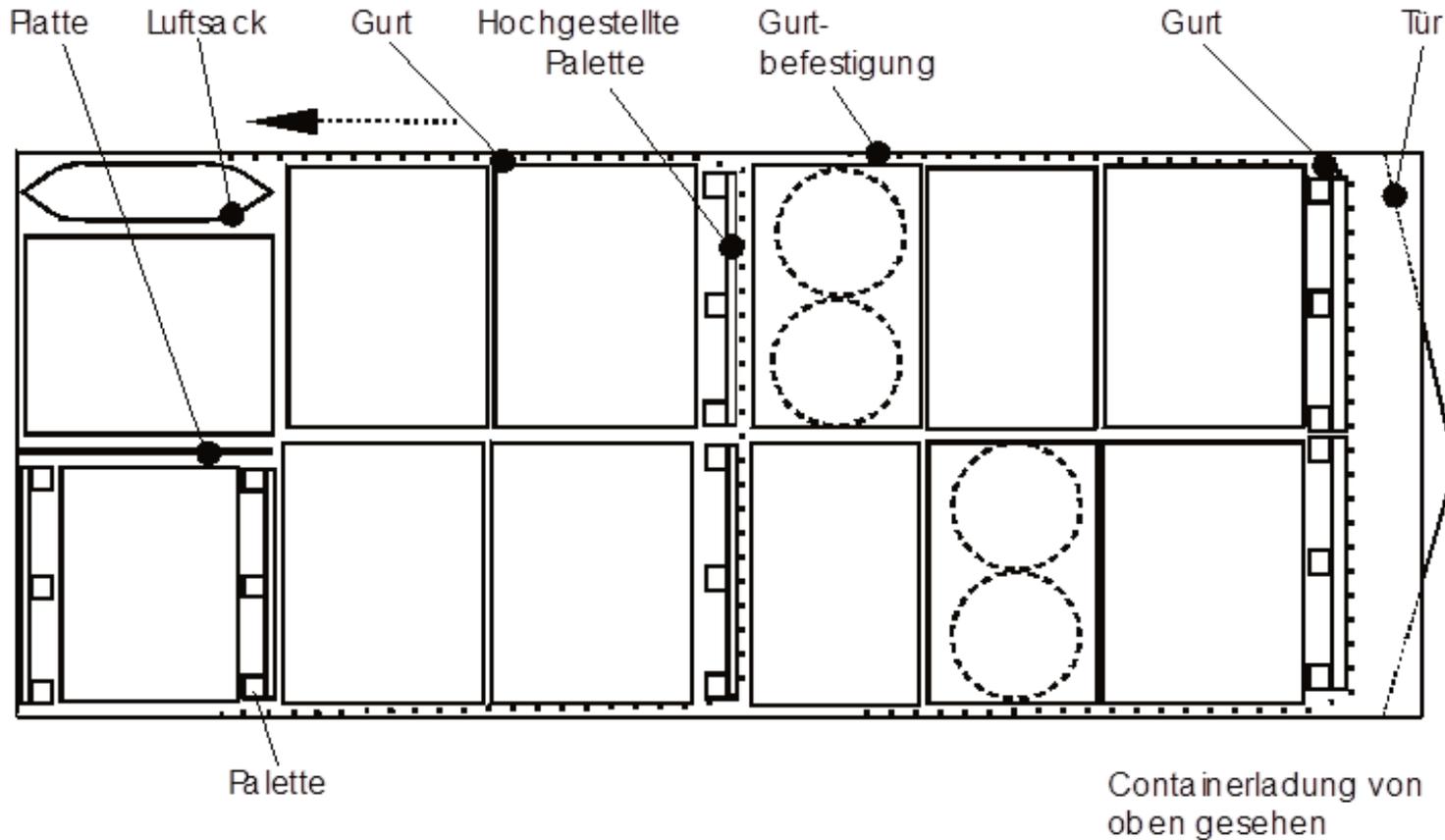


Dichte Stauung, aufgelöst!

**Freiraumbildung aus
Wanderungsbewegungen!**

**Bei kleinen Fahrbahnstößen
bei beidseitigen Fahrbahn-
hindernissen sind kleine
Gleitbewegungen (Wanderungs-
bewegungen) möglich!**

Ausstattung im Container



**Dichte Ausstattung eines Containers mit inhomogener Ladung.
Kleinere Freiräume mit Luftkissen oder Paletten gefüllt.**

Festsetzen mittels Rungen



Kurze Steckrunge in der Ladefläche



Steckrunge im Außenrahmenprofil

Formschluß einer Betonteileladung mittels Steckrunge auf Schub (Scherung) belastet.

Rungenbelastung auf Scherung



Rungenbelastung,
Schub

überschwere Ladung



Rungenbelastung,
Biegung und Schub

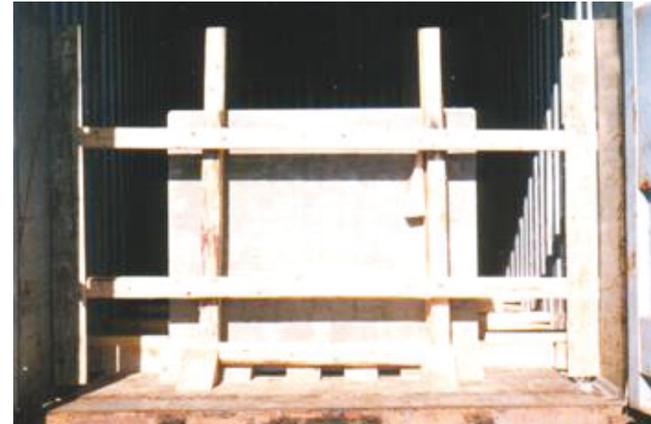
schwere Ladung

Formschluß an Steckungen

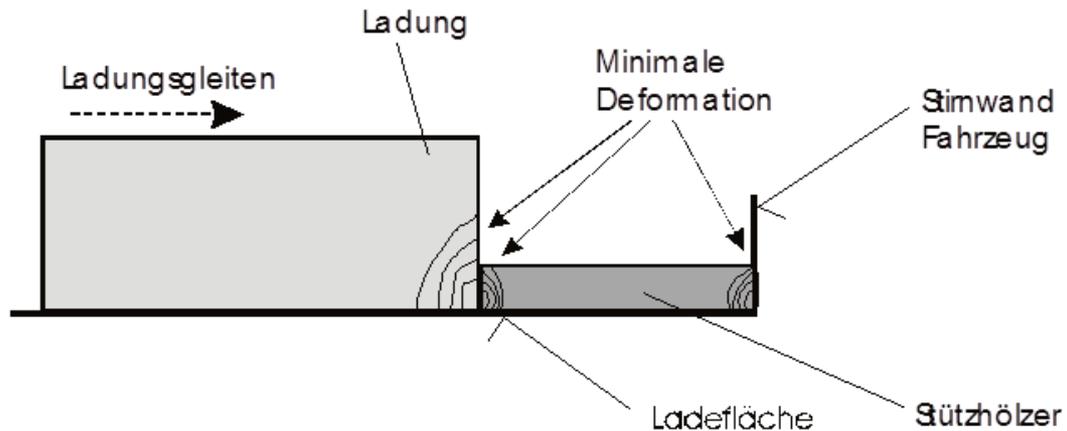


**Formschluß mittels Steckungen in Spezialprofil (in der Ladefläche eingelassen).
Ladung: Holzkiste auf Palette**

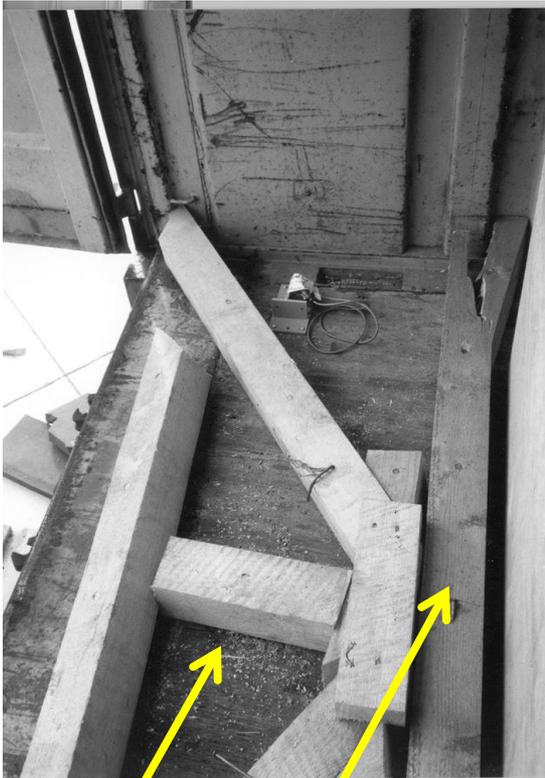
Staugitter/Gestelle



Beispiele für Staugitter und Gestelle
Abstützung in die Ladefläche in den Seitenwänden



Abstützen

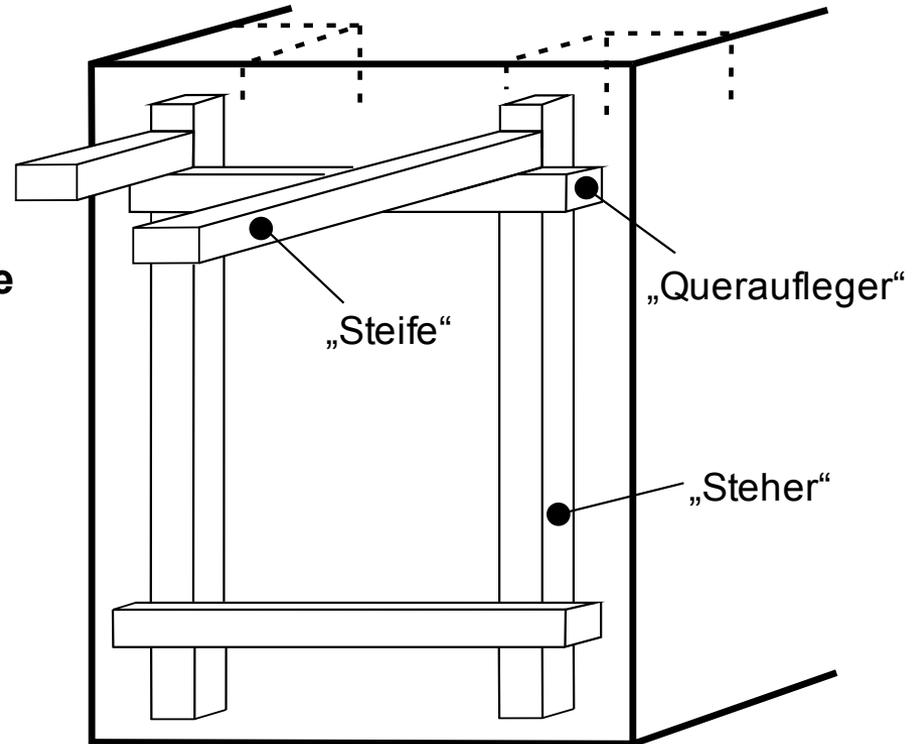


Biegebalken

Stützbalken, Absteifungen

Abstützen

Gestelle



10 Tonnen-Betonklotz in Container mit Biege- und Stützbalken festgesetzt, nach Aufprall bei Rangierfahrt über Ablaufberg.

Keile und Mulden

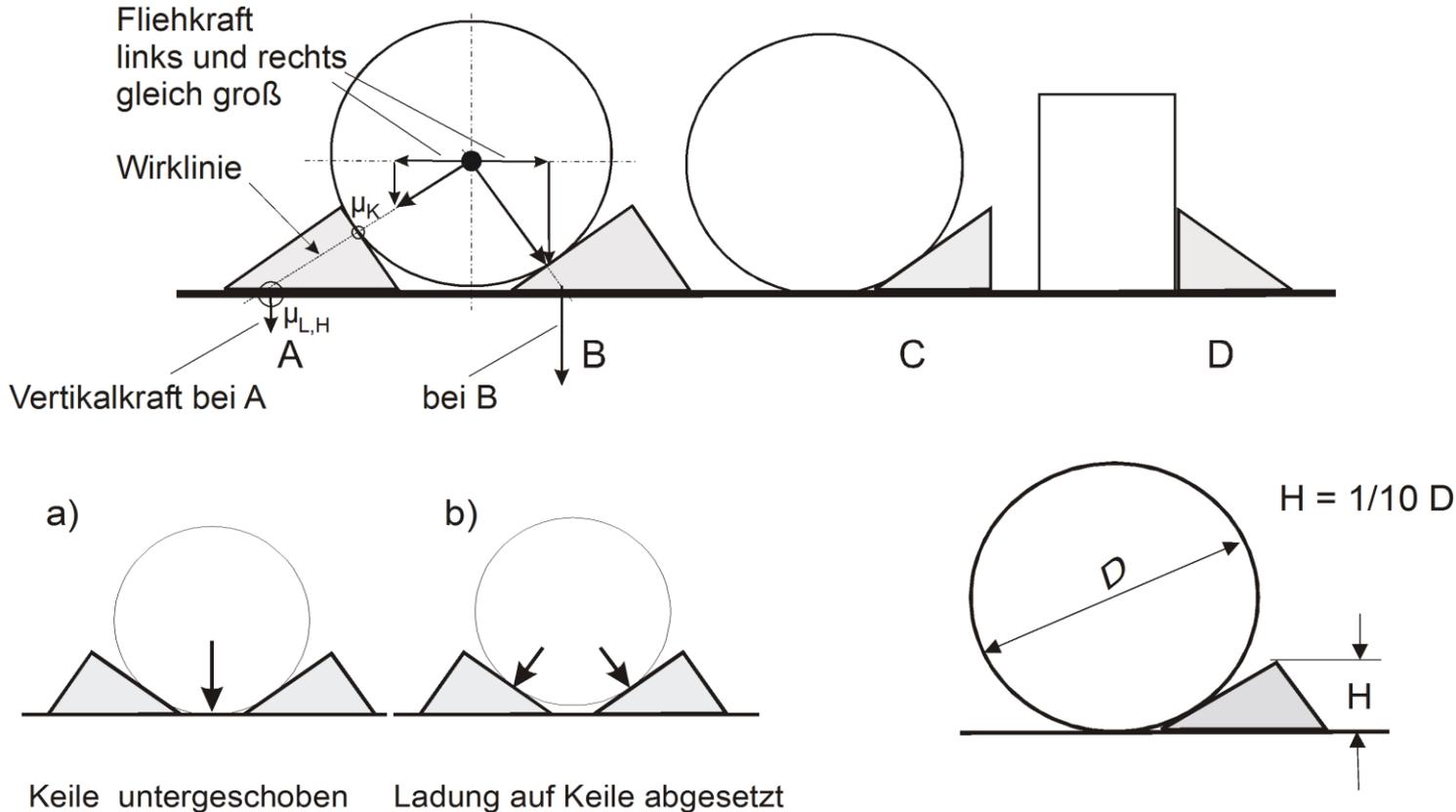


**Keile
auf Tragbalken**



abdeckbare Mulde für Coils

Wirkmechanismus Mulden und Keile



Zur Anwendung von Keilen
und Mulden

[2]

Abstützungen



Abstützung im Innenlader



A-Bock
zu schwach
ausgelegt

diagonale
Beladung



Literatur

- [1] **Strauch, W., Containerhandbuch Bd. 1, GDV, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft**

- [2] **Podzuweit, U., Lemmer, H., Ladungssicherung, Verkehrsverlag Fischer, Düsseldorf, 2012, ISBN 978-87841-521-3**

20 Stichwortverzeichnis

A

A-Bock		76, 558
Abrollmulden		131
Absetzmulden		131
Absteifung		554,
Abstützung (Formschluß)		276, 541, 554, 558
Abspannung		425, 446
Abwurfwinkel		373
Achse	anheben	234
	Auflieger	160, 170
	auf Hindernis	161
	Kurbel-	160
Achslast	Auswirkungen auf den Betrieb	242
	aus Beladung	224
	Berechnung	231
	Ermittlung der	55
	im Fahrzeugschein	237
	aus Nutzlast (Kfz.-Schein)	233
	StVZO	238, 240
	technisch zulässige	236
	zulässige (Auflieger)	186, 236
Achsanlenkung		160
	-abmessungen	184
ADR	Einteilung Ladungen	127
	Verpackungsarten	128
	Ladungssicherung	109
Aggregatzustand		138, 146
Analyse zur Unfallursache		100, 369
Anhänger	-pendeln	246, 247, 262
	-schleudern	247
Anknüpfungstatsachen	für Gutachten	101
Ankippen		43
Anlegen (Formschluß)		276, 284, 541
Anschlag		542
Antriebsachse		239
Antriebskraft		501
Aluminium	Transportunfall	4/27
Arbeit		49, 50 ff,
	-saufnahme	497, 498
	Sicherung mittels Arbeitsaufnahme	498
Aufbau		159, 173, 182
	Anforderungen an Auflieger	176
	Arten	190
	Begriffe	183, 189
	Bewegung bei Einfederung	171

Aufbau	-nicken	363
	Querschnitt	183
	-rungen	183, 507
Aufgleiten		156
Auflaufkeil		248
Auflieger		244
	Abmessungen	184
	Achse	160
	Dach	193
	Einteilung nach Gewicht	177
	Seitenwand	193
	torsionselastisch	93, 251
	torsionssteif	89, 54, 251
Aufprallenergie		52
Aufprallgeschwindigkeit	nach Ldungsbewegung	52, 310
Auflaufweg		375
Auslösung	Längstoß	364
	sh. a. Horizontalstoß	
	Längstöße aus Unebenheiten	199
	Nicken	363
	Typen	174
ATL	Austauschbare Ladungsträger	131
Aufstandsfläche	Reibung	380, 393
	Oberfläche	394
	sh. a. Reibung	
	Varianten	393
Aufstellungsarten	von Fässern	549
Außenrahmen		181
Außenrahmenprofil		551
Ausstauung		494, 547
	Container	550
	dichte	547, 548, 549
	Paletten mit Fässern	548
Austauschbare Ladungsträger		126
	ATL sind Ladung	129
Auslaufverzögerung		367
Ausweichmanöver		246, 322
B		
Balken	auf Biegung berechnen	494, 555
	Stütz-	555
Belade	-fälle	233
	-regeln	220
	-technik	198
Beladung	diagonale	558
	Doppelstock-	217
	einseitige	212
	-fälle	204
Beladung	liegende	216

Beladung	Diagonale	558
	vom Heck	204
	stehende	216
	Markierungszeichen	219
	von oben	213
Belastbarkeit	von der Seite	83, 210
	Aufbauten	207
Berechnung	Achslastermittlung	55
	Auslaufweg bei Stoßanregung	367
	Ausweichmanöver	323
	Balken	494
	Buchtlasching	533, 536
	Durchbiegung Runge	514
	Energetischer Ansatz	496
	Ersatzfeder	500 ff
	Formschluß	19/6
	Funktion	18
	zum Hebelgesetz	56
	Gurt-	441
	kippsgefährdete Ladung nach VDI	354
	Kurvenfliehkraft	326 ff
	Kurvenfliehkraft bei Aufbauwanken	326
	gleitende Ladung	368
	kippende Ladung	359
	Ladungsweg nach d'Alembert	503 ff
	Niederzurrung	451
	Nutzlastverteilungsdiagramm	264 ff
	Zum Reibungsgesetz	57
	Reibungssicherung	401
	Runge	507
	nur Schub	510
	Schub und Biegung	511
	nur Biegung	512
	stoßartiger Kraft	513
	zur Sicherungsformel	283
	Sperrbalken	519
	Stauung mit Lücken	534
	zur Stoßantriebswirkung	316
	Verformungsschluß	497
	zum Versatz von Platten	345
	zum Verschiebung mit Gurtdehnung	537
	zum Zurrwinkel	63
Berechnungsformeln	konstante Verzögerung	311
Beschleunigung		304
	Differenz-	313
Beschleunigung	Folgen horizontaler . . .	156
	konstante	36, 307
	stoßartig	307
	ungleichmäßige	36

Beweglichkeitsdiagramm		357
Bewegungsabläufe von Ladungen		159
Bewegungsarten		346
	Wandern	549
Bewegungsauslösung		359
	Beispiel für Kippen	356
Bewegungsenergie		49 ff
	Vergleich gleiten – rollen kippen	361
Bewegungsgrößen		338
Bewegungsursachen		306
Bewegungszustand		36, 338
Biegemomentenverlauf		520
Bigbag		137, 538
	Niederzurrung	412
Blattfeder		168
	Vergleich mit Luftfeder	169
Blocken		282, 303, 545
	DIN 12 195	543
	nach hinten	78
	zur Seite	79
Bordwand		494, 508
	Durchschlag	371
	Klemmung Sperrbalken	518
	S-Schlag	522
Bremsen		225, 309
	Aufbaunicken beim	363
	Diagramm	309
	Konstantantrieb	309
	Kurvenfahrt	321
	Sicherheit	264
	Verhalten aus Nutzlastverteilung	254
	Schwellphase	309
Bremsverhalten		243
Bremsweglänge		254
Buchtlasching		526
	Anwendung	534 ff
	Beispiele	528 ff,
	Berechnung Rückhaltung	536
	oder Niederzurrung	476
	als Quersicherung	535
	Lage Abspannung	538
Bündeln		422
C		
Coilmulde		556
Container		132
Container	-ausstauung	550
	-teile	132
Cosinus		62

Coulombsche Reibung		384 ff, 279
	sh. a. Reibung	
	Reibungsgesetz	57
	Voraussetzungen	384
D		
Dach		183, 194
Dachbaum/-gurt		183
d'Alembert		353, 368
	Ladungsbewegung aus -	499
Definition	zur Festlegung von Begriffen	297
Dehnung		224, 458
	Begriffe	458
	-sbeschleunigung	299
	-sdiagramm	293
	Feder	497
	Gurtdiagramm	460
	Kettendiagramm	460
	sh.a. Gurtdehnung	
	-sschaubilder	460
	von Zurrmitteln	294
	von Zurrmitteln im Vergleich	460
Definition	Formschluß VDI	281
Deformation		292
	bleibende	340
	einer Runge	507
Diagramm	Ketten-	461
Diagonalzurrung	Rückhaltung gegen Kippen	494
	kreuzweise	474, 542, 493
dicht geladen		547
Differenzverzögerung/-beschleunigung		
	bei Konstantantrieb	311
	bei Stoßantrieb	313
DIN EN 12 195	-3	121, 282, 420
	-1: 2011	456, 466
Direktzurrung		474, 546
	Bagger	492
	Formschluß	482
	Kombinationen von	479
	oder Niederzurrung - . . . en	491
	Übersicht	474, 489
	VDI	276
Drehbewegung Masse		41
Dreieck	in der Geometrie	59
	rechtwinkliges	59
Doppelstockbeladung	sh. a. Überstauung	217
Druckpunktverlagerung	Kantengleiter	475
Durchschlag Bordwand		371
dynamischer Kraftverlauf		331

E

Eigenbewegung einer Ladung		67, 73, 339 ff, 150
	allgemein	71
	bei Formschluß	471
	Holzstämmen	67
	notwendige	471
	ohne	277
	Meßergebnisse	158
	Versuche	157
	Voraussetzung für Rückhaltung	301
Einfederung		168, 172
Einknicken eines Zuges		246, 263
Einzelladung		68, 224
Einzelzurrung		472
elastischer Formschluß		473, 485
Elastizitäten		492
Elastostatik		301, 544
Energetischer Ansatz		496 ff
Energie		49
	-aufnahme Feder	497 ff,
	-aufprall-	52
	-bilanz Stoßanregung	367
	Ersatz-	498 ff,
Erdanziehung	sh. g-Wert	
Ersatz-	energie	498
	feder	499
	Zurrmittel	500
Eytelweinsche Gleichung	Formel	434
	Horizontalzug (= Seitenzug)	437
	Umrechnungen	435

F

Fahrbahn/Fahrbahnstoß	-hindernis	161, 199, 203, 332
	-unebenheit	84, 203
	Freiraumbildung aus	549
	Stoßanregung aus	366
Fahrmanöver	Umsturz aus	258
Fahrgestell		182
Fahrwerk		152, 182
Fahrzeug		151, 182
	Aufbau	173
	Anforderungen VDI	116
Fahrzeug	Pflichten . . . -führer	183
	-beschleunigung	512
	-beschädigung	86
	-einteilung	151
	-eignung	93
	-nicken	363

Fahrzeug	Plattform- . . .	190
	Pritschen- . . .	190
	-rahmen, sh. Rahmen	
	-rahmenkröpfung	740
	-schaden	86
	-schwerpunkt	230
	sh. a. Schwerpunkt	
	-schein, Angaben im	237
	-technik	149
	-umsturz	88
	sh. a. Umsturz	
	-verzögerung und g-Wert	307
Fassaufstellung		155
Federkraft		302
Federmodell		497
Federrate	Kette	497
Federwirkung	im Zurrmittel	295, 299
Festlegen (Formschluß)		276, 281
	nach VDI	276
Festkörperreibung		386
	auf elastischer Unterlage	386
Festsetzen (sh. a. Blocken)	mit kurzen Steckungen	551
„fest verbundenen Ladung“		275, 277, 443
	sh. a. Sicherungsformel	
	sh. a. Verbindung, feste	
Feuchtigkeitsschaden		92
Flächenbelastung		349
Flächenwinkel	(sh. a. Vertikalwinkel)	
Fliehkraft		294
	am Fahrzeug	326 ff
Formschluß		303, 473, 485
	sh. a. Blocken, Festlegen	
	neuer Ansatz	290
	Definition VDI	281
	elastischer	473, 473, 290 ff,
	Kippgefahr Ladung durch	354 ff
	Modell	291
	im Maschinenbau	279, 285
	am Rad	172, 332
	in Richtlinien	283
	unelastischer	276, 494, 506, 552
	VDI	223, 280 ff,
Formschluß	vorgespannter	545
	Vergleich mit Verformungsschluß	295 ff
Formschlüssige Sicherung		276, 488
	mit kraftschlüssiger Sicherung	482
	unelastisch	539
	Verankerung Sperrbalken	517
Formstabilität		144, 412

Förderanlagen mit Rollen		203
Freiraum		154, 549
	bei Fassladungen	155
Freiraum	-folgen	158
	-mechanismus	155
Freischneiden		292, 501
G		
Gabelstapler	Transport mit	202, 82, 84
	Anhebevorrichtung	201
	Beförderung	203
Geradauslauf		241, 246
	Anhängerpendeln	246
Gefährdung	aus der Ladung	66
Generalklausel		110
Gesetz		102
Gesetze der Mechanik		53
Gestänge	als Sicherungsmittel	492
Gestelle		542, 554
	sh. a. A-Bock	
Gewichtszug		188
Gigaliner		174
Gleitbeginn		308
Gleiten		349
	mit Kippen	334, 342
	Lösebeginn	308
	Übergang Haften Gleiten	366
	Reibungszahl	398, 399
	Folgen einer	350
Gleitbewegung		350
Gleitende Verladung		403
Gleitreibung		382
	-messung	397
großflächige Streuung		99
Gurt		415
	-kennzeichnung	417
	Kraftflußdiagramm	441
	Angaben	465
Gurtanhänger		465
Gurtdehnung		458, 462
	Berechnung	440
	Diagramm	462
	Spannen (rheolog. Elemente)	439
	Spannkraftmessung	450
	und Verschiebungsweg	501
	sh. a. Dehnung	
Gurtkraftabbau/reduzierung		475, 450, 434
	Folgen	437
Gutachtertätigkeit		19
Güteklassen Ketten		419
g-Wert		37, 307

H

Haftreibung		381
Haftreibungsverzögerung		308, 309, 362
Handspannkraft SHF		417
Hangabtriebskraft		405
Hebelgesetz		232, 54
	Beispiel	56
Heckbeladung		199, 209, 254
Hecklastigkeit		249
Hindernis	beidseitiges Fahrbahn-	161
Herabfallen	Coil	74
	großflächige Streuung	75
	Holz	74
	schwere Teile	76
Hilfsrahmen		183
Hinterachse		234
	Verschub . . . nach vorn	234
Homogene Ladung		227
Hookesche Gerade		289, 301, 461, 505
Horizontale Stoßkraft	am Gabelstapler	199
	am Rahmen	154
Horizontalstoß	(sh. a. Längsstoß)	153
	Einflußgrößen	167
	Entstehung	160
	Meßergebnisse	158
	am Rad	160
	Versuch zum	157
Horizontalwinkel	(= Flächenwinkel)	477
Horizontalzug	Niederzurrung	437
	sh. a. Seitenzug	

I

IBC	flexible	128
innerbetrieblicher Transport		199, 203, 4/20
innerbetriebliche Zwischenlagerung		201
Innenlader		558
Innenrahmen (Fahrzeuge)		181

K

Kanister		128
Kantengleiter	sh. a. Umschlingungswinkel	426, 429
	Kette	418
	Umschlingungswinkel am	431
Kastenaufbau		181
Keil		557, 473
KEP	Ladungsverteilung	250
Kennzeichnung	Kette	420
Kennzeichnung	Zurrgurte	417

Kette/n		418, 492
	-anhänger	420
	Dehnungsdiagramm	461
	Elastizität	459 ff, 492,
	Federrate	505
	Güteklasse	419
	Kantengleiter Kette	418
	Kenngößen	461
	Kennzeichnung	420
	-normung	419
	Spannen	418
	Verbindungselement	418
	Verkürzungselement	418
Kippen von Ladungen		351
	sh. a. Umsturz	
	mit Gleiten	351
	vor Gleiten	357
	Kräftebilanz (d'Alembert)	353
	Rückhaltung gegen	492
	Standfestigkeit VDI	354
Kippbogen		494
Kippneigung	einer Ladung	217
	-sversuch	217
Kippsichere Stauung		229
Kiste		128
Klemmschluß		403
Kofferaufbau		182
Kombinationen	von Direktzurrungen	478 ff,
	von Sicherungen	471, 478
	von Kraftschluß mit	
	Formschlußsicherung	482
	von Wirkmechanismen	478, 482
	von Zurrverfahren	470, 474, 480
Kombinationen		276
Kombinierte Sicherung VDI		276
Kopfschlingenzurrung	sh. a. Buchflasching	476
Konstantantrieb	sh. a. Stoßantrieb	307, 322
	Umrechnung von Stoßantrieb auf	315
Konstantverzögerung	Berechnungsformeln	311
Kopfbucht	Varianten	532
Kopfschlingenzurrung	Lösungen für	532
Kraft		11
	Ausweichmanöver	322
	äußere	318 ff
	Charakteristiken	307
	Darstellung	32
	dynamischer Verlauf	318
	Einheiten	34
	Einzel-	317
Kraft	an der Ladung	304

Kraft	am Lenker	163
	Längs- (am Rahmen)	164
	am Latsch	172
	Quer-	317
	am Rad	322
	Resultierende von	304
	Statische	29
	Trägheits-	31
	Überlagerungen	320, 321
	Ursache für	306
	vertikale	319
Kräftegleichgewicht		232, 291
Kraftflußdiagramm		441
Kraftschluß	am Rad	172
Kraftschluß		283, 300,
	Definition Maschinenbau	283
	VDI	276
Kraftschlüssige Sicherung		377
	mit Formschluß	282
	mittels Seitenwandreibung	403
	Maschinenbau	285
	nach VDI	284
	geometrisch	59
Kreis		
Kreisfahrvarianten		325
Kurbelachse		160
Kurvenfliehkraft		368
Kurven	-fliehkraft bei Wankneigung	368
	-grenzgeschwindigkeit	250
Kurvenlauf		243, 248, 326, 329
	-radiuseinfluß	328
Kurzholz		348
Kurzrunge		509
L		
Lashing Capacity LC	Gurt	417
	Kette	420
Ladeeinheiten LE		126
Ladegüter/Ladung	Aluminium, flüssig	90
Ladung	ATL	131
	Bagger	492
	Betonteile	551, 555
	Bigbag	78
	Bretter	88
	Container	131 ff
	Faß	70, 549
	Getränkekisten	99 ff
	Holz (Rohholz)	67
	IBC	89, 128
Ladung	Kanister	128

Ladung	Kiste	128, 547, 547
	Paletten mit Ware	548
	Papier	68, 91
	Platten	79, 86
	Reifen	141
	Rohre	472
	Sack	85, 6/23
	Schwerladung	552, 493
	überbreite	101
Lade-	fälle	224
	regeln	220
	einheit	126, 133, 136
	einheit LE (Begriff)	133, 136
	volumen	188
Ladefläche	Höhe der Ladefläche	153, 176, 183
	schräge	349
Ladung	nach ADR	127
	Begriff	129
	Einteilung der	124, 337
	Einzel-	125
	elastische	141
	homogene Misch-	225
	inhomogene Misch-	225, 550
	kippt Fahrzeug	87
	Konstruktionsfehler an der	101
	Markierungszeichen	218
	monolithische	125
Ladung	plastische	142, 341
	polyolithische	125
	starre	125, 139
	Schüttgut-	125, 341
	überlange	139, 226
	Übersicht	337
Ladungs-	abmessungen	138
	bewegung	339
	bewegung Wandern	549
	eigenschaften	138
	fälle	226
	formen	139, 148
	schwerpunkt	139, 145, 230, 139
	schwingung	143
	im Stückguttransport	126
	plastische . . . –masse	339
	starre . . . –masse	339
	verschub, sh. Verschub	
	verteilung	221, 208, 228
	sh. a. Nutzlastverteilung	
	weg nach Gurtdehnung	501
Ladungs-	weg aus d´Alembert-Ansatz	504 ff

Ladungssicherungsunfall		65
	-definition	65
	Schaden	65
	Ursachen	65
Ladungssicherung	Literatur	8
	Einflußgröße Fahrzeug	153
	Mechanische Grundlagen	28
	Schadenssumme	17
	Themen der	12
	Unfallzahlen	15, 16
	-verfahren nach VDI	276
Lageenergie		49
Längskraft		317
	am Rahmen	164
Längsstoß	aus Fahrbahnunebenheiten	199, 361
	sh. a. Horizontalstoß	
Lastfälle		224, 317
Latsch	Kraft am	157
Leermasse/-gewicht		244
	Fahrzeugschein	237
	-verhältnis zu Zuladung	241
	Sh. a. Sattelzug Leergewicht	
Leichtbaurahmen		178
	sh. a. Rahmen	
Lenk	-achse	238
Lenkfähigkeit		243
Linienbelastung		349
LKW-Zug		175
Lowliner		174
Luffeder		169
	drucklos machen	234
	Vergleich mit Blattfeder	169
 M		
Markierungszeichen		218
Masse	Definition	37
	Drehbewegung	41
	Eigenschaften	145
	Ladungs-	52
Masseträgheitskraft	sh. a. Trägheit	37
Masseträgheitsmoment		145
Mechanismus	Freiraumbildung	155
Midliner		174
Mischladung	homogene	225
	inhomogene	225
Modell	für elastischen Formschluß	298
Moment		51
Mulde		131, 542, 556

N

Nachlaufachse		238
N-Formel	(zur Niederzurrberechnung)	446
Nicken		363
Niederdrücken		278, 475
Niederzurrtechnik		407
	mit Balken	424
	bei direkter Zurrung	475
	bei teilumschlingender Zurrung	475
	bei halbumschlingender Zurrung	472, 422
Niederzurrung		276, 288
	Anwendungsfälle	423
	Anwendungspraxis	424
	Aufstandsfläche plus . . .	390
	Berechnung	454
	Berechnungsansatz 12 195	456
	Bezeichnungen (Sektion)	425
	Berechnungsformeln im Vergleich	466
	Definition	412
	oder Direktzurrung	491
	Einteilung (-umschlingende)	472
	Kennzeichnung Gurt	417
	Literatur	453, 468
Niederzurrung	Ratsche zum Spannen	415
	Sicherungswirkung einer	443
	Technik der	409
	Verschubversuch	448 ff,
	Voraussetzungen	412
	Zurrgurte	415
	Zurrwinkel	419, 427
Normalkraft	auf schiefer Ebene	395
	schwankende	391
Nutzlastverteilung		221, 249, 266
	und Bremsicherheit	256
	Diagramm Begriff	228
	Diagramm Berechnung	264 ff
	Einfluß auf Vortrieb	245
	Erhöhung Rückhaltekraft	410
	Lenksicherheit	249
	schwere Einzelladung	230
	-verteilungsdiagramm	229, 266
	-splan	228
Nicken	Auslösung	363
O		
Obergerichte		103
Ö-Norm V 5750	gleitende Verladung	403

P

Palette		134
	Arten	135
	Ausstattung mit Paletten	550
	Modul	136
Paragraph 22 StVO		275
Paragraph 23 StVO		106
Paragraph 31 StVO	Begriff	108
Paragraph 32 StVO	Verkehrshindernisse	108
Plattformfahrzeug		191
Pritsche mit Bordwänden		191
Projektionswinkel (Zurrwinkel)	sh. Horizontalwinkel	
Punktbelastung		349
Physikalische Größen		33
Phytagoras		60

Q

Querkräfte		318
------------	--	-----

R

Rad	Formschluß am	172
	auf Hindernis	162
	mit Vortrieb	165
Radlast		241
Radstand	verkürzen	234
Rahmen	sh. a. Fahrzeug-	
	sh. a. Außenrahmen	
	-länge ändern (Lasterteilung)	234
Rahmen	Längskraft am	164
	-längsträger	179
	Leichtbau-	178
	-profil	180
	torsionssteifer	251, 257, 54
	torsionselastischer	93
Rampen		204
Recht	„geschriebenes“	103
	„richterliches“	103, 119
	-svorschriften	103
	unbestimmte Sachverhalte	105
	untergesetzliches	110
Regeln der Technik		114
	anerkannte	104, 111
Reibbeiwert		380
Reibschlußerhöhung		303
Reibschlußsicherung	alleinige	39
	Maschinenbau	389
	Einflußgrößen	390
	durch Schräglagerung	408

Reibung		377
	Aufstandsflächen- . .	379, 385
	-sarten	382
	-beiwert	386
	Bewegungsreibung	382
	Coulombsche	279
	Definition . . .	279
	Modell	385
	Einflußgrößen	390
	-kreis	388, 437
	plus Federkraft	380
	Gleit-	379
	Haft-	379
	plus Niederzurrung	380
Reibung	Literatur	406
	im Maschinenbau	389
	Reibungskreis	388
	schiefe Ebene	380
	Schüttgutkegel	401
	Seitenwand- . . .	403
	-senergie	49
	-sgesetz	57, 279
	-übergang /Haften – Gleiten)	400
	visco-elastische	386
Reibungsgesetz		57
Reibschlußsicherung		279
Reibungssicherung	Berechnung	401
Reibungssicherung	Klemmschluß	403
	Literatur	406
	masseunabhängig	400
	Selbstverstärkung	402
	Voraussetzung	280
	-szahl	279, 394
	-szahl (Haften – Gleiten)	397
Reihenaufstellung Fässer		165
	sh. a. Soldatenaufstellung	
Rheologisches Element		438
	Kantengleiter als	439
Reversibilität an Ladungen		289
	sh. a. Rückstellung	
Richtlinien		102, 110
	und Normen	110
	zur Umsetzung	114
Rollen	als Ladungsbewegung	(203), 347
Rundzurrung	sh. a. Rundtörnlasching	472
Rundstahlkette		418
Rundtörnlasching		472
Runge		183, 189
	Belastung	551

Runge	Berechnung	506, 509
	nur Schub/Scherung	510, 551
	Schub und Biegung	511, 552
	nur Biegung	509
	Bordwand-	508
	auf Stoß	512
	Festsetzen mit	510
	Aufbau-	507
	Seitenwand-	507
	Steck-	507, 551
	sh. a Schlingenzurrung, Rundzurrung	
Rückhaltekraft	mittels Ersatzenergie	499
Rückhaltemechanismus		380
Rückhaltung	mittels Verformung	495 ff,
Rutschhemmende Matte		386, 395
Rückrechnung		374
Rückstellung nach Verformung	sh. a. Reversibilität	142, 279

S

Sattelaufleger	Abmessungen	184
	Anforderungen	176
	Einteilung nach Gewicht	177
Sattelaufleger	„Standard“	174
	Typen	174
	Zuladung	185
Sattelkupplung	Überladung	234
Sattellage		349, 402
Sattellast, maximale		240
	Auswirkungen im Betrieb	242
Sattelvormmaß		184
Sattelzug		175
	Abmessungen	184
	Leergewichte	185
	Zuladung	185
Schaden		65, 69
	aus Eigenbewegung Ladung	70
	durch Feuchtigkeit	92
	nicht mechanisch	92
	-ssummen	17
Schäkel	Ketten-	418
Schiefe Ebene		394
	Beladung über	209
	Definition	288 ff
Schiefe Ebene	Sicherung mittels	404
Schiebeplanenaufbau		193
Schleudern eines Fahrzeugs		247
Schlingenzurrung	sh. Rundzurrung	
Schlußtechnik	allgemein	275
	Kritik der	289

Schlußtechnik	im Maschinenbau	285 ff,
Schräglaufwinkel Reifen		249
Schrägstellung		405 ff,
Schubbelastung	Rungen	510
Schüttelrutsche	sh. a. Stoßanregung	309
Schüttgut		125
	-kegel	401
Schwall	Faßladung	80
	Kurzholz quer	348
Schwellphase Bremsung		309, 310, 321
	Werte	362
Schwere einer Ladung		145
Schwerpunkt		41
	-sbewegung	41
	-sbewegung beim Umsturz	261
	einer Fläche	42
	-sermittlung	43, 45
	eines Fahrzeug	44, 230
	einer Ladung	43, 145
	-shöhe	46, 223
	Kennzeichnung	145
	Lage Zurrmittel Buchtflasching	583
Seitenbelastung		210
Seitenwandrungen	sh. a. Runge	507
Seitenwandreibung		403
Seitenzug (Niederzurrung)		437, 436, 439, 437
Sektionieren		219
Sektionseinteilung (Niederzurrung)		425, 438
Selbstverstärkung	Reibung	403
Sicherung	mittels Arbeitsaufnahme	498
	kippgefährdeter Ladung	354
	-kraft	277
	nach VDI	274 ff
	verfahren im Vergleich	303
Sicherungsformel	mit „fest verbundenener Ladung“	277
		275 ff,
	bei Eigenbewegung Ladung	302
Sicherungstechnik	Elemente der	273
	Grundlagen	272
	Kombinationen von - . . . en	478
	nach VDI	274, 541
Sicherungswirkung	Niederzurrung	444 ff
Sinusfunktion		61
Sliding Buggy		190, 234
Soldatenaufstellung Fässer	Sh. a. Reihenaufstellung	155, 549
Spannkraft T_F im Gurt		463
Sperrbalken		521
	Beispiele	517
Sperrbalken	Biegebelastung	516

Sperrbalken	Verringerung Biegung	524
	Festigkeitsgrenze	521
	Klemmung	522
Sperrbalken	Rückfederung	523
	S-Schlag Bordwand	522
	Durchfederung	524
Spindelspanner		418
Standfestigkeit einer Ladung		354 ff,
	Kippen vor Gleiten	357
Stahlseil	Dehnung	459
Starre Ladung		139
Stapelung,	chaotische	144
	Säulen-	144
Stapelung	Verbund-	144
Staugitter		554
Stauung	dichte	211, 213, 214, 547
Stauung	kippsichere	229
	mittige	211
	Kurvengrenzgeschwindigkeit KEP	250
	sh. a. Freiraum	
Stauvarianten		225
	Einzelladung	225
	auf Fahrzeug	196
	Mischladung, homogene	225
	Mischladung, inhomogene	225
Steckrunge	sh. a. Runge	508, 551
Stick-Slip-Effekt		366, 395
Stoffschluß		286
Stoßantrieb/-anregung		307, 332, 361
	sh. a. Schüttelrutsche	
	bei Differenzbeschleunigung	313
	Übergang Haften nach Gleiten	365
	Umrechnung auf Konstant-	
	beschleunigung	313
Stoß	auf Ladung	158
	sh. a. Horizontalstoß	
	auf Rad	154, 157, 172
	großflächigen Ladung	74, 99
Streuung		
Struktur der Sicherungstechnik		471
Stückgut		471
Stützlast		237
StVO		107
	Par. 22	275
T		
Technische Mechanik		301
Teilentladung		227
Teilumschlingende Zurrung		472
Tieflader		174 ff

Themen der Ladungssicherung		12
Torsionssteifer Rahmen		94, 251, 256
Traktion		243
	sh. a. Vortrieb	
Transport	Begriff	130
	innerbetrieblicher	83, 199, 203
Trägheit		144
Trägheitskraft	sh. a. Masseträgheit	81, 501
Traverse		181, 183
U		
Übergangsreibung		398
Übergang Haften nach Gleiten		365, 397 ff,
Überladung	Sattelpkupplung	234 ff,
Überlange Ladung		226, 139
Überlagerung von Kräften		320
Überstauung	(Sh . Doppelstockbeladung)	217
Übersteuern eines Fahrzeugs		249
Umschlingungswinkel	am Kantengleiter	429, 430, 434
	Gurtkraftabbau	434
	Motor	433
	Riementrieb	433
	Wirkung	431
Umsturz		26, 87, 259, 88
	Begriff	65, 263 ff
Umsturz	Bewegung beim	261
	Drehschemelanhänger	252
	Einfluß Fahrzeug	259
	Einfluß Ladung beim	260
	Einfluß Ladungslängsverteilung	252
	durch Fahrer	259
	aus Entladung	260
	durch Fahrmanöver	258
	Gefährdung beim	252
	Ladungsverteilung	260
	Neigung zum	243, 153
	seitlicher	257
	Stauungseinfluß	253
	torsionssteifer Rahmen beim	94
	-unfall	90, 91
	nach vorn	257
	-analyse	64
	-analyse Ladungsabwurf	370
Umsturz	Bordwanddurchschlag	371
	mechanische –ursachen	65
	-rekonstruktion	371
	-schaden	85
	-skizze	100
	-typen	95

	Ursachen für	65, 86, 99
Umsturz	Umsturzneigung Fahrzeug	243
	Verzögerung aus	372
	Vorlauf eines (Vorlaufursache)	96
	-zahlen	15
Unfalltypen		65, 95
Ungesicherte Ladung		68
Unterdruckschaden		92
Untersteuern eines Fahrzeugs		249
Ursache und Wirkung		336
Ursachen für Ladungsunfälle		64
	mechanische	97
	Analyse von	100
Urteile	OLG 1989	113
V		
Verbindung	sh. „fest verbundene Ladung“	
Verbindung	-selemente Kette	419
VDI-Richtlinien	zur Vorgehensweise	284
	2702: 1990	355
Verbundstapelung		144
Verformung		293
	Rückhaltung mittels	495 ff,
Verformungsenergie		497
Verformungsschluß		303, 296, 300, 303, 485, 489, 495
	Berechnung	497
	elastischer Formschluß	485, 298
	elastischer – unelastischer	488
	Vergleich V. zu Formschluß	300
	Vergleich V. zu Kraftschluß	300
Vergleich Blatt- Luftfeder		169
Verladeempfehlung Holz		112
Verladung	gleitende	403
Verordnung		102
Verpackung	Begriff	130
Verpackungsarten ADR		128
Versandstück ADR	Begriff	130
Versatz		339
	Berechnung	345
	Modell für	334
	Platten	343
	-verformung	341
Verschub		339, 502
	mit Gleiten (Holz)	348
Verschub	Hinterachse Auflieger	234
	-verformung	339
	-versuch (Niederzurrung)	448 ff
	Vergleich mit Versatz	342
	-winkel	428

Verschub	-weg und Gurtdehnung	501
Versetzte Faßaufstellung		155, 549
Vertikale Beschleunigung		153
Vertikalkraft		319
Vertikalwinkel		477
Visco-elastische Reibung		387
Vollumschlingende Zurrung		472
Volumenzug		180, 187, 188
„Vorlaufursache“	(als Schadenursache)	96
Vorläufer		424
Vorschädigung		84, 85
Vorschriften		102
Vorschriften	europäische	116
	untergesetzliches Recht	110
	unbestimmte Sachverhalte	105
Vorspannkraft	STF Gurt	417
	STF Kette	420
Vorstauen		214

W

Wandern		154
Wanken aus Kurvenfliehkraft		359, 368
Wärmelehre		299
Wechselbehälter		131
Winkelfunktion		61
Wirkeffekt		299
Wirkmechanismus		302, 471, 475,
	Begriff	299
	Keile	557
	Niederzurrung – Buchtflasching	483
	Kraft- - Formschluß	482
	Wirkeffekt	299
	Verformungsschluß	299

Z

Zentralachsenhänger		187, 192
Ziehen von Ladungen		203
Zug	Einknicken eines Zuges	255
	Gewichtszug	188
Zugmaschine	Vergleich 2-, 3-achsige	170
Zugkombination		175
Zugmaschinenzug		175
Zurrgurte		415
	Festende	415
	Losende	415
	Zurrkette	418
Zurrkraft	zulässige (Kette)	419
Zurrmittel	Daten zur Berechnung	419, 458 ff

Zurrmittel	Gestänge	492
	Gurt	415
	Kette	418
	Stahlseil	459
	Lage . . . über Schwerpunkt	538
Zurrtechnik		469
	Struktur der	471
Zurrung	Bündelung	422
	direkte	422, 472
	halbumschlingende	422, 472
	Kombinationen von . . .	471
	vollumschlingende	422, 472
Zurrverfahren		422, 471, 474
Zurrverfahren	Kombination von	478, 471, 474
Zurrvariante		471
Zurrwinkel		426, 475, 477,
	Berechnungen zum . . .	63
	Abgrenzung Niederruzzung –	
	Flächenwinkel	477
	geeigneter . . . einer Niederruzzung	427
	nach Versub	501
Zwischenfall		66
Zwischenlagerung		198, 81, 214
	im Freien	204
Zwischenraum		213