

Schüttgut in Bigbags

Prof. Ulrich Podzuweit

2012

KLSK[®] e.V.



Vorwort

Die hier vorgestellte Studie befasst sich mit Sicherungsfragen von Schüttgütern in Bigbags und Säcken auf Straßenfahrzeugen. Allein schon Schüttgüter sind ein relativ wenig bearbeitetes Gebiet. Noch schwieriger wird die Schüttgutladung in Bigbags. Eine Ausarbeitung insbesondere zu theoretischen Fragen stößt schnell in unbekanntes Terrain vor. Sie kann oft nur Lösungsansätze und Wege aufzeigen, da das Fachgebiet noch eine Vielzahl nicht untersuchter Felder hat.

Ein zweites Ziel soll diese Ausarbeitung erreichen. Sie soll Hintergrundinformationen zu der neuen VDI-Richtlinie Blatt 18 der 2700 geben. Eine Reihe von Aussagen und Vorgehensweisen bedürfen einer ergänzenden Erläuterung, da sie in einer Richtlinie nicht umfassend erklärt werden können.

Mein Dank gilt der Firma Euro-Safe, die sich schwerpunktmäßig diesem Thema widmet und zweitens dem Königsberger Ladungssicherungskreis (KLSK), der sich ebenfalls dem Ladungssicherungsthema verpflichtet hat.

Ulrich Podzuweit

München, 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	4
2	Ladung in Säcken	6
2.1	Ladungsgüter	6
2.2	Begriffe	8
2.2.1	Schüttgut	8
2.2.2	Schüttgutkegel	8
2.2.3	Schüttgutwinkel, Kegelwinkel	9
2.2.4	Einteilung nach Schüttgutwinkel α	9
2.2.5	Bedeutung des Schüttgutkegels	11
2.2.6	Gruppeneinteilung	12
3	Schüttguteigenschaften	14
3.1	Ladungsmasse	14
3.2	Setzen von Ladungen	14
3.3	Verdichtung	15
3.4	Rieselfähigkeit	15
4	Sacktechnologie	16
4.1	Einführung	16
4.2	Bauliche Ausführung Bigbags	16
4.3	Säcke	19
4.4	Bigbags und Säcke auf Paletten	22
4.4.1	Paletten auf Fahrzeuge	22
4.4.2	Stapelung von Säcken auf Palette	23
4.4.3	Verbindung Palette mit Ladung	24
5	Antriebskraft	25
5.1	Einführung	25
5.2	Antriebskräfte für Auslösung einer Ladungsbewegungen	25
5.3	Energiebilanz bei Stoßanregung	27
5.4	Übertragbare Stoßenergie	28
6	Versatzbewegung	30
6.1	Begriff	30
6.2	Bigbagverformungen	31
6.3	Bewegungsablauf einer Versatzbewegung	32
7	Bilderverzeichnis	34
8	Verwendete Literatur	34

1 Einführung

Seit Anfang der 90er Jahre steigt der Transport von Schüttgütern in Weichladungen, wie Bigbags (Großsäcke) und Säcke, an. Bigbagbeförderungen füllen eine Lücke zwischen den Sackbeförderungen und den Transporten in Mulden und Silotankfahrzeugen. Großsäcke mit Schüttgütern sind eine „Weichladung“, die mehr oder weniger plastisch sind und deshalb in vielen Fällen nicht oder unbefriedigend mit gängigen Sicherungsmethoden gesichert werden können. Wenn aber gängige Sicherungstechniken nicht möglich sind, dann wird der Transport teurer oder unsicherer!

Die heutige Normung zur Sicherung von Ladungen hat einige wichtige Voraussetzungen. Zwei für das Thema lauten: Erstens, es werden „steife“ Ladungen vorausgesetzt und zweitens soll die Ladung „fest“ mit dem Fahrzeug verbunden sein. Weichladungen sind nicht „steif“. Und die Voraussetzung „fest“ verbunden“ aufgrund von Sicherungsmaßnahmen kann bei Bigbags nicht erfüllt werden. Bereits „normale“ Ladungen, wie z. B. Fässer, sind nicht steif und können deshalb nicht ohne weiteres mit einem Fahrzeug „fest verbunden“ werden. Und noch schwieriger wird es, wenn es sich um plastische Versandstücke, wie Bigbags oder Säcke handelt!

Neben der sicherungstechnischen Frage gibt es neben weiteren auch die ökonomische. Da heute Schüttgutladungen in Tausenden von Tonnen befördert werden, muß auch die Kostenseite beachtet werden.

Inzwischen wurden eine Vielzahl von günstigen Sicherungslösungen vorgestellt, die ein Herabfallen aus Eigenbewegungen verhindern sollen. Abb. 1.1 zeigt eine „Abladung“ nach Öffnen der Hecktür, aber auch eine „Verlagerung“ der Bigbags, Abb. 1.2.



Abb. 1.1. „Herabfallen“



Abb. 1.2. „Verlagerung“ von Säcken

Mit Schüttgütern in flexiblen „Umschließungen“, wie Bigbags oder Säcke, ergeben sich eine Reihe von Fragen zur Sicherung auf Ladeflächen, insbesondere zum Gefährdungspotential

aus Eigenbewegungen in Bezug zur Ladefläche. Dazu zählen das Herabfallen von der Ladefläche, aber auch die Freisetzung eines Gefahrguts, wenn es zu einer Umschließungsbeschädigung kommt, z. B. wenn ein Bigbag gegen eine Rungentasche prallt und undicht wird, Abb. 1.3 und 1.4. Das Ladegut muß dann nicht unbedingt von der Ladefläche „fallen“. Stäube können auch nach Undichtwerden eines Bigbags verweht werden!

Auch die Frage, ob der Aufprall bei gleich großer Masse einer Weichladung auf eine Seitenwand weniger gefährlich ist als die einer starren Ladung.



Abb. 1.3. Undichter Bigbag



Abb. 1.4. Anstoßschaden

In diesem Beitrag sollen die Fragen aufgenommen werden, die die Sicherungstechnik und das Gefährdungspotential von Säcken und Großsäcken (Bigbags, FIBC) betreffen.

Im Folgenden steht im Mittelpunkt eine Eigenart in dem Bewegungsverhalten von Bigbags und Säcken auf Paletten, die hier als Versatzbewegung bezeichnet werden soll und bei Weichladungen und Platten auftritt. Und nur hier wird es Verformungen geben, die nicht oder fast kaum zurückfedern.

2 Ladung in Säcken

2.1 Ladungsgüter

Feste Ladegüter können unterschiedlich eingeteilt werden. Die Übersicht 2.1 bringt eine Zusammenstellung nicht nach Produktgruppen, sondern nach einem Schema, das von der einteiligen großen Ladungsmasse bis zum kleinsten Ladungsteilchen alle Arten von Ladungen zusammenfaßt. Grundsätzlich kann in monolithische und polyolithische (vielgestaltige) Ladungen unterschieden werden.

Übersicht 2.1. Einteilung der Ladegüter



Großsäcke (Bigbags), Abb. 2.1, aber auch Säcke Abb. 2.2, werden als „Umschließung“ für Stäube, pulverförmige Ladungen, Granulate, Körner, Späne, also Schüttgüter eingesetzt. Daneben gibt es aber auch Bigbags, in denen Pflastersteine befördert werden, einer Ladung, die sich deutlich von „üblichen“ Schüttgütern in Verpackungen unterscheidet. Schüttgüter, wie Altpapier, die in Mulden befördert werden, sind ebenfalls gesondert zu behandeln, weil sie nur in Ausnahmefällen in Verpackungen befördert werden. Im wesentlichen werden in Versandstücken Schüttgüter der Kategorie 3 befördert.

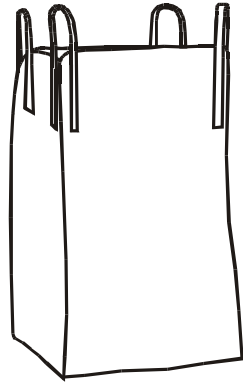


Abb. 2.1. Großsack



Abb.2.26. Sack (Beutel, Tüten)

Die Einteilung hat als Ansatz, daß Ladungen einmal unteilbar, nicht palettierbar sind und einzeln gesichert werden müssen. Daneben gibt es Ladungen, die entweder erst zu einer Ladeeinheit auf einer Palette zusammengefasst werden müssen, aber auch ohne Palette z. B. durch Ausstauen auf der Ladefläche gesichert werden. Zusätzlich gibt es blockartige Ladungen, die geschichtet oder gestapelt werden können. Noch kleiner als Ladungsmassen sind einzelne Teilchen eines Schüttguts.

Unter Berücksichtigung der Vielzahl der Schüttgüter erscheint es in Hinblick auf die Ladungssicherung sinnvoll, sie in drei Kategorien nach Übersicht 1 einzuteilen. Abfallpapier wird in aller Regel nur in Mulden transportiert. Pflastersteine werden in Mulden oder aber auch, wenn die Bigbagfestigkeit es zulässt, in offenen Bigbags transportiert, Akkus auch in Deckelfässer und Schüttgüter, wie Stäube in Weichverpackungen, wie Großsäcke oder Säcke und aber auch in Mulden oder Silotankfahrzeugen. Wenn die Ladungssicherung im Mittelpunkt stehen, sind Mulden- oder Silobeförderungen hier nicht Gegenstand.

Die Einteilung von Schüttgütern in Kategorien und weiter unten zusätzlich in Gruppen ermöglicht es, Schüttgüter genauer zu unterscheiden. Damit können Sicherungsmaßnahmen in Hinblick auf ihre Sicherungswirkung im voraus beurteilt werden.

Schüttgüter der Kategorie eins und zwei werden üblicherweise nicht in Verpackungen transportiert, Abb. 2.3, da sie zu groß für Verpackungen sind. Dazu gehören auch größere Pflastersteine, Abb. 2.4 und Abb. 2.5, Schottersteine für Schienenverlegungen. Auf Halden werden sie Schüttgutkegel ausbilden. Es wird dann von Stückigkeit gesprochen. Für Sicherungsmaßnahmen dagegen ist nur die Kategorie 3 von Bedeutung, weil diese Güter in Verpackungen befördert werden.

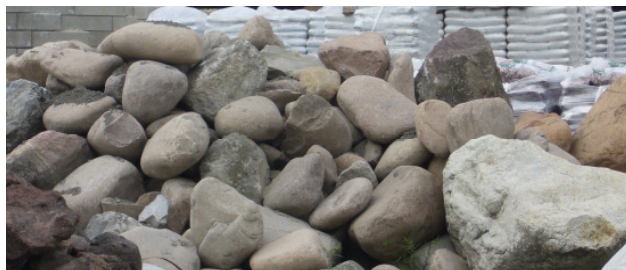


Abb. 2.3. Feldsteine



Abb. 2.4. Pflastersteine

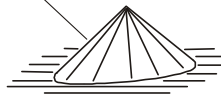


Abb. 2.5. Batterien

Von Bedeutung für die Ladungssicherung sind dagegen die Schüttgüter der Kategorie 3, die bereits in kleinen Mengen ausgeschüttet einen Schüttgutkegel bilden, Abb. 2.6.

Schüttgut
Kategorie 3

Schüttgut-
kegel



Staub
Granulat
Pellets
Körner
Flocken
Späne
Partikel/Teilchen
...

Abb. 2.6. Bezeichnungen für Schüttgüter

Schüttgüter der Kategorie 3 werden, wenn sie ausgeschüttet werden, ein unterschiedliches Rieserverhalten zeigen. Je nach Art des Stoffes und weiteren Eigenschaften, werden sie einen sog. Schüttgutkegel mit einem für das Ladegut typischen Kegel bilden, Abb. 2.8.

2.2 Begriffe

2.2.1 Schüttgut

In DIN 30 781 wird unter einem Schüttgut festgelegt:

„Schüttgut ist loses Gut in schüttbarer Form, wie z. B. Erz, Kohle, Getreide.“

Aus Sicht der Ladungssicherung ist diese Beschreibung nicht ausreichend.

Im Folgenden wird Schüttgut nur dann als Ladung verstanden, wenn es sich in einer „Umschließung“ befindet. Als „Umschließung“ sollen alle die Verpackungen zusammengefasst werden, die es nach dem Gefahrguttransportrecht sind.

2.2.2 Schüttgutkegel

Wird ein bestimmtes Schüttgut, wie in Abb. 2.7 dargestellt, ausgeschüttet, ergibt sich für jede ausgeschüttete Menge stets der gleiche Kegelwinkel, Abb. 2.8.

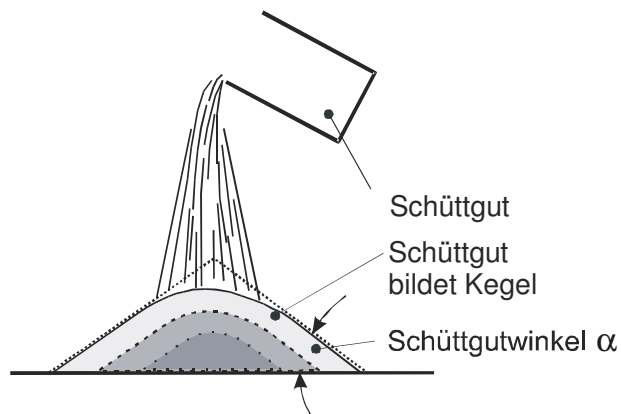


Abb. 2.7. Entstehung eines Schüttgutkegels

2.2.3 Schüttgutwinkel, Kegelwinkel

Ein bestimmtes Schüttgut hat einen typischen Schüttgut- α und Kegelwinkel κ , Abb. 11. In einigen Fällen ist es sinnvoll, den Kegelwinkel κ zu benutzen, üblich ist der Begriff Schüttgutwinkel.

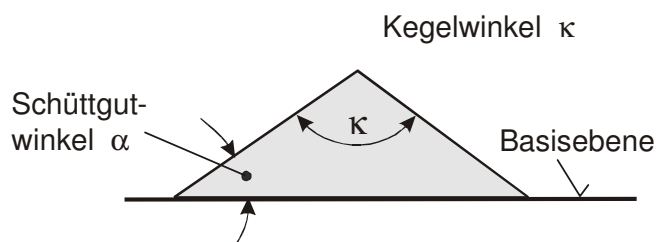


Abb. 2.8. Schüttgut- und Kegelwinkel

2.2.4 Einteilung nach Schüttgutwinkel α

Schüttgüter haben unterschiedlichste Schüttgutwinkel. Die Schüttgüter der Kategorie 2 und 3 werden, um in den Sicherungsmaßnahmen differenzieren zu können, in drei Gruppen eingeteilt, Übersicht 2.2. Diese Zuordnung ermöglicht es, Sicherungsmaßnahmen entsprechend den relevanten Eigenschaften eines Schüttguts und der gewählte Verpackung vorzunehmen.

Wird nur ein Partikel auf dem Schüttgutkegel betrachtet, wird das Teilchen in Ruhe verharren, wenn die Haftreibungskraft größer ist als die Hangabtriebskraft, Abb. 2.9.

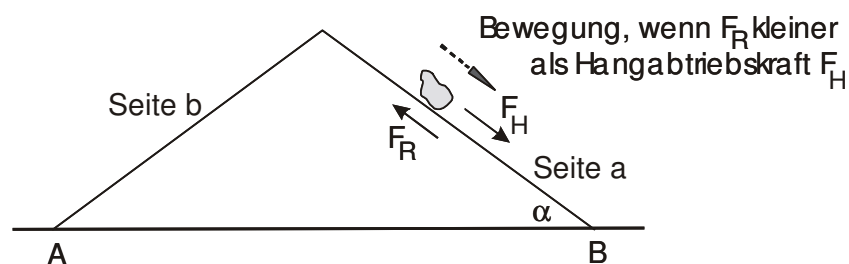


Abb. 2.9. Haftreibung und Schüttgutkegel

Die aktiven Kräfte an dem Partikel sind in Abb. 2.10 dargestellt.

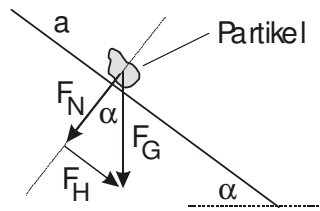


Abb. 2.10. Partikel auf schiefer Ebene

Es kommt zu keiner Bewegung des Teilchens, wenn gilt:

$$F_H \leq F_N \cdot \mu_H$$

$$F_G \cdot \sin \alpha \leq F_G \cdot \mu \cos \alpha$$

$$\mu_H \geq \tan \alpha$$

Wird die Steilheit größer als der Winkel α , kommt es zu einem beschleunigten Abgleiten.

Ein weiterer Fall ist die Einwirkung von Fliehkraften auf einen Schüttgutkegel. Statt der Hangabtriebskraft wird eine Fliehkraft angesetzt, Abb. 2.11 bis 2.12. Die Fliehkraft sei 1/3 der Gewichtskraft [1].

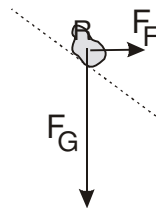


Abb. 2.11. Fliehkraft auf Schüttgut

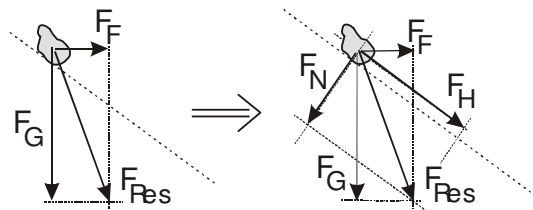


Abb. 2.12. Umrechnung Fliehkraft auf Hangabtriebskraft

Wird aus der Fliehkraft und der Gewichtskraft eine resultierende Kraft gebildet und dann diese Kraft in eine Normalkraft und eine parallel zur schiefer Ebene wirkende Kraft gebildet, zeigt sich daß die Fliehkraft in ähnlicher Weise wirkt, wie die Hangabtriebskraft allein, Abb. 2.13.

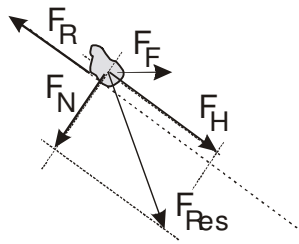


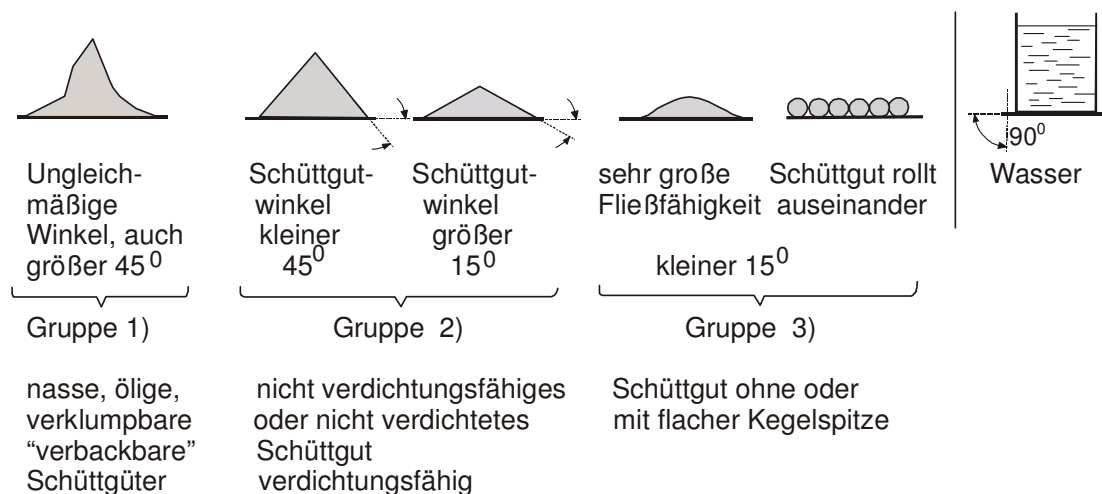
Abb. 2.13. Hangabtriebskraft statt Fliehkraft

Abb. 2.13 zeigt auf, daß die Frage, ob die Ladung durch die Fliehkraft ins Gleiten kommt einzig allein von der Reibungs- und der möglichen Normalkraft abhängt.

2.2.5 Bedeutung des Schüttgutkegels

Für Sicherungsmaßnahmen sind Schüttgüter der Kategorie 2 und 3 von Bedeutung. Sie werden in großen Mengen in Verpackungen transportiert. Die Sicherungstechniken von festen Ladungen können hier nur bedingt angewendet werden. Als für die Ladungssicherung sinnvoll hat sich eine Einteilung in Gruppen gezeigt, Übersicht 2.2. Damit wird über den Schüttgutwinkel die innere Reibung innerhalb eines Schüttguts bei Einwirkung von äußeren Kräften erfasst.

Übersicht 2.2. Einteilung der Schüttgüter



Schüttgüter der Gruppe 1 sind Güter, die unter Feuchtigkeitszusatz (z. B. Dextrose mit 5 % Feuchtigkeit), mit Ölzusatz oder aus anderen Gründen (Aufladung, . . .) zum „Verklumpen“ oder „Verbacken“ neigen.

Schüttgüter der Gruppe 2 mit Schüttgutwinkel nahe 45 Grad können im Regelfall wie „normale“ Ladungen gesichert werden, insbesondere wenn sie verdichtungsfähig sind und die Verdichtung während der Beförderung vorhält.

Solche der Gruppe 3 verhalten sich eher wie Flüssigkeiten und sind oft auch in aufwendigen Bigbagauführungen nicht oder nicht ausreichend formstabil und damit nur kostenaufwendig zu sichern. Für sie müssen individuelle Lösungen entwickelt werden.

2.2.6 Gruppeneinteilung

1. Gruppe 1

Eine Verhaltensvariante von Schüttgutkegeln ist in Abb. 2.14 dargestellt. Es handelt sich um feuchten Sand. Schüttgüter, die unterschiedliche Kegelwinkel beim Ausschütten bilden, unter Umständen eine steile Kegelspitze ausbilden, verkleben, verbacken oder verklumpen können, sollen der Gruppe 1 zugeordnet werden.

Derartige Stoffe können mit geringerem Aufwand gesichert werden, weil ein Bigbag mit diesen Schüttgütern relativ steif ist.

Während Güter der Gruppe 2 allein durch Coulombsche Reibung einen Kegel ausbilden, wirken in der Gruppe 1 zusätzliche Bindekräfte. Die Bindekräfte können auch aus einem „Zwischenstoff“ zwischen den Partikeln herrühren, wie Feuchtigkeit oder Öl. Während z. B. trockene Dextrose wegen seines Schüttgutwinkels zur Gruppe 2 zuzuordnen ist, ergibt sich bei mehr als 4 % Feuchtigkeit versehene Dextrose eine Zuordnung nach Gruppe 1, Abb. 2.14.



Abb. 2.14. Feuchter Sand

Eine besondere Stellung innerhalb der Gruppe 1 nehmen die verdichteten Schüttgüter ein. Verdichtungsfähig sind Stoffe, die wie Schotter für Gleise kantig in der Form und rau in der Oberfläche sind. Entscheidend ist auch, ob sich die Verdichtung nicht durch vertikale Aus- und Einfederungen Fahrzeugs während des Transports abbaut.

2. Gruppe 2

Abb. 2.15 zeigt das Verhalten von spitzem Kies, einem Schüttgut, das der Gruppe 2 zuzuordnen ist. Kantiger Kies bildet einen deutlichen Kegel aus, runder Kies dagegen ist eher der Gruppe 3 zugehörig. Kantiger Kies ist verdichtungsfähig, runder dagegen nicht.



Abb. 2.15. Kantiger Kies

Abb. 2.16 zeigt den Schüttgutkegel von trockenem Zucker, Abb. 2.17 von Sand. Der Zucker bildet einen anderen Kegel aus als Dextrose, die sich eher wie nasser Sand verhält.

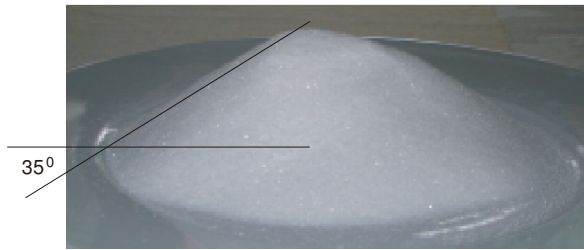


Abb. 2.16. Zucker



Abb. 2.17. Trockener Sand

3. Gruppe 3

Die folgenden Abbildungen zeigen verschiedenste Schüttgutkegel der Gruppe 3. In Abb. 2.18 sind Tonkugeln für die Herstellung von Leichtbeton und in Abb. 2.19 Kaffeebohnen nach dem Ausschütten zu sehen. Sie bilden nur „schwach“ Kegelkonturen aus, weil sie leicht auseinanderrollen. Ähnlich verhalten sich Erbsen, Getreide und andere Nahrungsmittel. Es überwiegt die Rollreibung.



Abb. 2.18. Tonkugeln



Abb. 2.19. Kaffeebohnen

In der Gruppe 3 sind Schüttgüter zusammengefasst, die einen Schüttgutwinkel von kleiner als 15 Grad ausbilden. Zu diesen Schüttgütern zählen Stoffe mit runden Formen und glatten Oberflächen, die leicht rollen können.

3 Schüttguteigenschaften

3.1 Ladungsmasse

Die Sicherungsmaßnahmen müssen stets die Masse des Schüttguts berücksichtigen, weil einige Sicherungstechniken, wie die Niederzurrtechnik oder eine Buchtaschingsicherung in ihrer Auslegung masseabhängig sind. Bei Schüttgütern ist die Masse und die Form zur Beschreibung allein nicht ausreichend. Wird eine monolithische Ladungsmasse in viele gleichgeformte, gleich große Würfel zerlegt, so nimmt die gleiche Masse einen größeren Raum ein, wenn diese Würfel ausgeschüttet werden, Abb. 3.1.

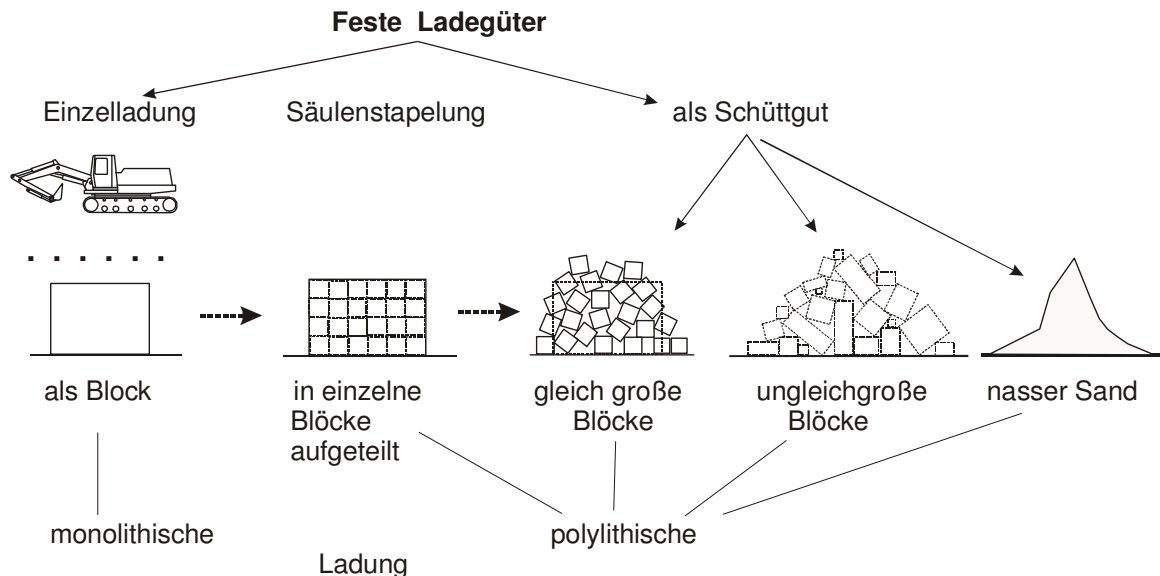


Abb. 3.1. Einteilung der festen Ladegüter

Berücksichtigt wird dies, indem die Dichte benutzt wird, daß die Masse auf ein bestimmtes Volumen bezogen wird.

$$\text{Dichte } \rho = \frac{m}{V} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Abhängig ist die Dichte bei Schüttgütern von der Einzelgröße der Teilchen und von der Oberflächenausbildung (rund – kantig) und –rauigkeit (glatt – rau). Mit der Oberfläche und Form entscheidet sich auch, ob der Schüttgutwinkel von Roll-, bzw. Gleitreibung oder beiden bestimmt wird. Die Gruppeneinteilung nimmt diese Punkte auf. Die Dichte wird auch von der Anzahl der Teilchen zum Beispiel pro Kubikmeter beeinflusst.

3.2 Setzen von Ladungen

An verschiedenen Ladungen können Setzungserscheinungen auftreten. Das bedeutet z. B., dass eine Gurtvorspannung einer Niederzurrung nicht „steht“. Ein Bigbag mit Kaffeebohnen, insbesondere wenn der nicht fest zugebunden ist, wird durch eine Niederzurrung tief eingeschnürt. Eine Niederhaltekraft kann nicht stabil aufgebaut werden.

3.3 Verdichtung

Verdichten bedeutet, daß das Gut auf ein kleineres Volumen bei gleicher Masse gebracht wird. Im Gegensatz zu Setzungserscheinungen, die zeitabhängig sind (also ohne oder mit Bewegungen) kann ein Schüttgutladung durch vertikales Drücken, vertikales oder horizontales Rütteln, durch Einblasen oder durch Einwirkung eines Vakuums (seltene Methode) verdichtet werden. Wichtig ist auch, ob die Verdichtung während einer Beförderung anhält.

Bei Schüttgütern hängt wesentlich die Verdichtungsfähigkeit davon ab, ob das Partikel kantig und die Oberfläche rauh ist.

3.4 Rieselfähigkeit

Wird ein Schüttgut auf eine ebene Fläche ausgeschüttet, so bildet sich ein Schüttgutwinkel, z. B. Abb. 2.7. Wird nun die Basisebene, Abb. 3.2, langsam angehoben, so wird das Gut anfangen, abzurieseln und zwar von der Spitze beginnend. Das Abrieseln beginnt sofort, da der Kegelwinkel bereits der Grenzwinkel ist, bei dem das Schüttgut gerade noch nicht abgleitet. Das Verhalten auf einer schiefen Ebene ist insofern von Bedeutung als ein Schüttgut z. B. in einem Bigbag eine erkennbare „Verzögerung“ hat. Ausführungen dazu sind in Abschnitt 6 ff zu finden.

An der Oberfläche des Kegels wirken Reibungskräfte zwischen den Partikeln. Die Teilchen werden gleiten bzw. rollen oder beide Varianten gleichzeitig ausführen. Das Abrieseln wird solange andauern, bis der Schüttwinkel zur Basisebene sich wieder eingestellt hat, Abb. 3.2.

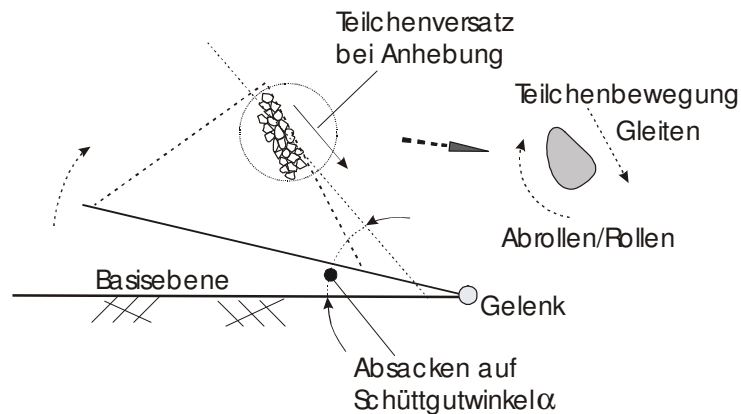


Abb. 3.2. Schüttgut auf schiefer Ebene

4 Sacktechnologie

4.1 Einführung

Schüttgutladungen in Säcken sollen als Weichladungen bezeichnet werden, da sie bei Einwirkung äußerer Kräfte nicht formbeständig sind. Sie können bei Belastungen von horizontal oder vertikal wirkenden Kräfte ihre Form (Querschnitt, Höhe) ändern und sich in Bezug zu ihrer Aufstandsfläche verschieben.

Entscheidend für die Gestaltfestigkeit ist auch, ob die Säcke voll befüllt und ausreichend fest und dicht verschlossen wurden. Bleibt ein füllungsfreier Raum oder werden Bigbags offen befördert, z. B. weil sie Pflastersteine enthalten, werden sie von der Richtlinie nicht erfasst, weil in beiden Fällen das Ladegut bei Krafteinwirkungen ausweichen kann und der Bigbag damit forminstabiler wird.

Das Verhalten eines Schüttguts allein ist nicht ausschlaggebend dafür, ob und wie ein Schüttgut gesichert werden kann. Hinzu kommt die Sackvariante, also die Umschließung mit ihren Eigenschaften. Abb. 4.1 zeigt einige Merkmale und Ausrüstungen von Bigbags.

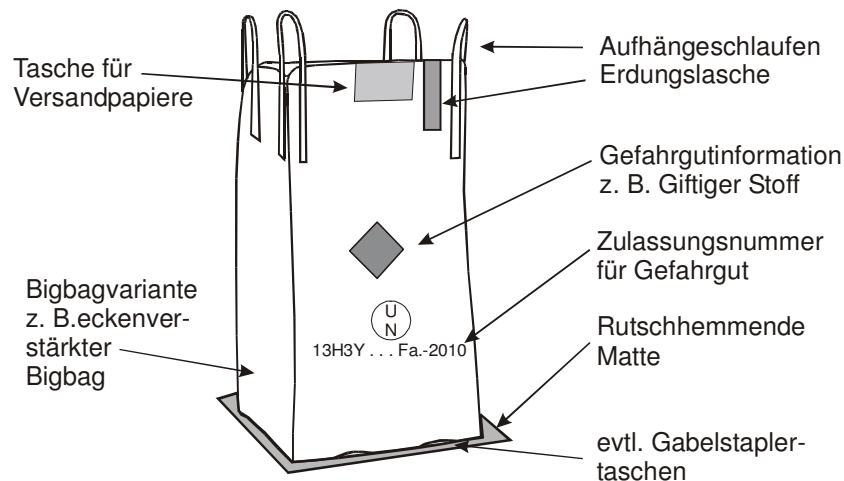


Abb. 4.1. Ausrüstungen für einen Bigbag

4.2 Bauliche Ausführung Bigbags

Großsäcke (Bigbags) werden als „Umschließung“ für Stäube, pulverförmige Ladungen, Granulate, Körner, Späne, also Schüttgüter eingesetzt. Daneben gibt es aber auch Bigbags, in denen Pflastersteine befördert werden. Ladegüter für Bigbags können deshalb in „weiche“ (plastisch – elastisch) und in „harte“ unterschieden werden.

Sie haben eine ca. 1,2 m mal 1,2 m große Grundfläche und eine Höhe von bis zu 2,2 m. Mit diesen Abmessungen passen sie gut zwischen die Wände eines LKW-Aufbaus. Beim Befüllen ändern sich aber die quadratisch angelegten Querschnittsmaße etwas. Man spricht dann vom Packmaß, Abb. 4.2.

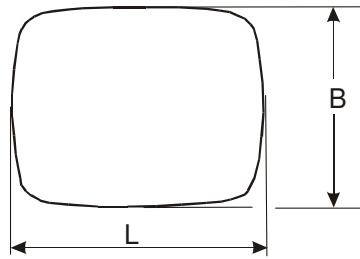


Abb. 4.2. Packmaße



Abb. 4.3. Bigbag mit Innenfächern

Die Ladungsmasse liegt maximal bei 1500 kg. In aller Regel werden Bigbags auf Paletten stehend zwischengelagert und auch befördert. Es werden aber auch Bigbags direkt auf die Ladefläche gestaut. Die Verbindung Bigbag mit einer Palette wird durch Schrumpffolie oder Wickeln hergestellt.

Die Großsäcke werden aus Geweben oder Kunststoff hergestellt. Sie werden in der Regel an vier Ecken abgenäht oder verstärkt, damit eine in etwa quadratische Querschnittsfläche nach Befüllung eingehalten wird, Abb. 4.3. Bigbags können aber auch weitere Abnäher und Zuganker besitzen, so daß auch bei Befüllung in der Regel ein fast quadratischer Querschnitt bleibt, Abb. 4.4.

Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal für Bigbags ist die Querschnittsform, Abb. 4.4. Erkennbar ist, daß es neben den quadratischen auch zylindrische gibt. Die Formtreue ist unterschiedlich. Sie hängt auch von den Abnähern und evtl. vorhandenen Zugankern ab, Abb. 4.4 D).

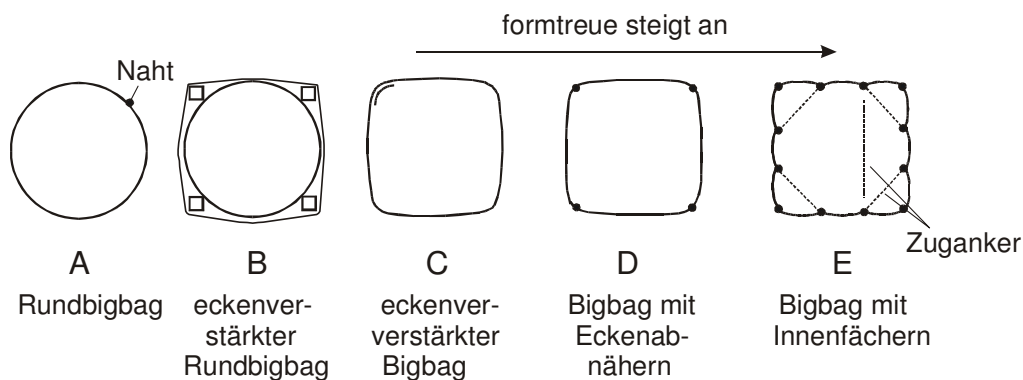


Abb. 4.4. Querschnittsformen

Aber auch für runde Bigbags wären Verstärkungen denkbar, in dem z. B. Wendeln wie bei Grasabfallbehältern eingebaut würden. Abb. 4.5 zeigt einen eckenverstärkten Rundbigbag.

Für die weiter unten folgenden Ausführungen sind die Kenngrößen Querschnittsfläche A eines Bigbags und die Höhe H, Abb. 4.6, wichtig, Übersicht 4.1.



Abb. 4.5. Eckenverstärkter Rundbigbag

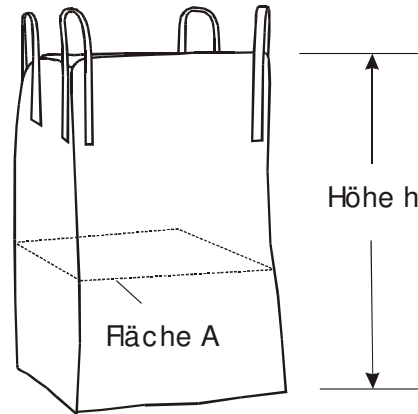


Abb. 4.6. Querschnittsfläche A

Übersicht 4.1. Gängige Bigbagabmessungen

Abmessungen in m	Fläche A in m ²
1 x 1	1
1,2 x 1,2	1,44
... ?	

Ein Bigbag als Umschließung ist nachgiebig und wird durch das Ladegut auf Innendruck beansprucht und versucht deshalb in den kreisförmigen Querschnitt (bzw. kugelförmigen) überzugehen. Das hat aber zur Folge, dass Stauraum verloren geht. Deshalb wird ein Großsack in der Variante „eckig durch Abnäher“ sich anders verhalten als ein runder und beide wieder anders als einer mit zahlreichen Abnähern, um die Palettenform einzuhalten. Diese letztgenannte Variante wird sich aber bei äußeren Kräften, z. B. Bremskräften anders als die mit einem Kreisquerschnitt verformen. Es muß deshalb stets das Ladegut und die Umschließung gemeinsam betrachtet werden.

Abb. 4.7 zeigt Einfüllöffnungen von Bigbags. Die Skizze A stellt eine offen beförderte Variante dar. Die Richtlinie VDI Blatt 18 erfasst die Sicherungsmaßnahmen für offene Bigbags nicht.

Weiterhin ist die Einfüllöffnung (ebenso wie der Auslaß) wichtig.

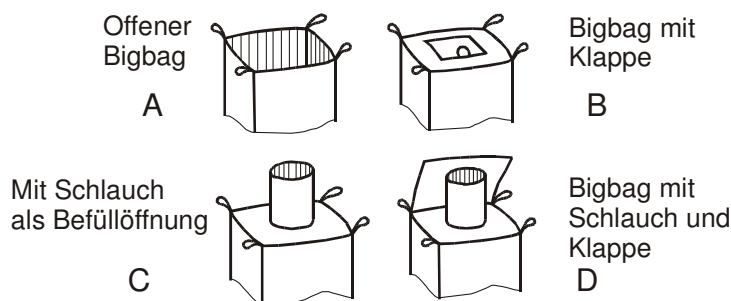


Abb. 4.7. Einfüllöffnungen

Abb. 4.8 zeigt eine zugebundene Schlauchöffnung der Variante C.



Abb. 4.8. Zugebundene Schlauchöffnung

Bigbags besitzen vier Schlaufen, an denen sie angehoben werden können, Abb. 4.9. Daneben gibt es Bigbags, die an der Unterseite Gabelstaplertaschen zur Aufnahme von Zinken haben.

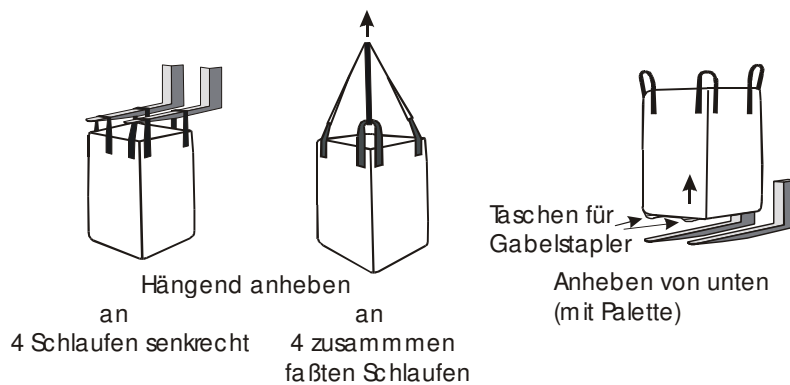


Abb. 4.9. Anhebevarianten

4.3 Säcke

Lange bevor Großsäcke entwickelt und eingesetzt wurden, waren Säcke und Ballen für alle möglichen Güter *die* Ladeeinheiten im Ladungstransport, Abb. 4.10 und 4.11.

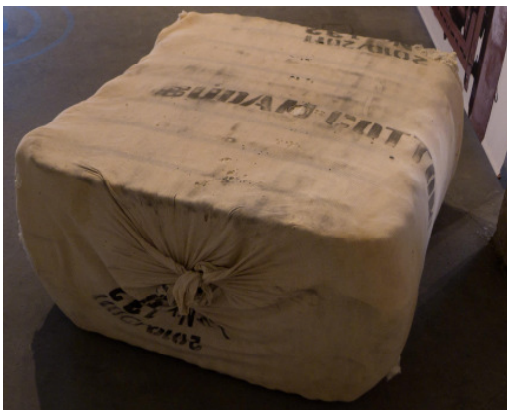


Abb. 4.10. Ballen



Abb. 4.11. Jutesack

Säcke wurden in Netzen oder Platten aus Seeschiffen herausgehievt und mit Sackkarren in Lager gebracht.

Säcke sind heute aus anderen Materialien. Sie sind relativ formtreu, Abb. 4.12., und werden im Transport gestapelt auf Paletten transportiert. Abb. 4.13. zeigt eine im 5er-Verband gestapelte Palette.



Abb. 4.12. Formtreue Rechtecksäcke



Abb. 4.13. 5er Stapelung

Eine Definition des Begriffs „Sack“ gibt es im Gefahrguttransportrecht, dem ADR. Danach ist ein Sack eine *„flexible Verpackung aus Papier (mehrlagig), Kunststofffolien, Textilien gewebten oder anderen geeigneten Werkstoffen.“* Säcke können ohne oder mit Innenauskleidung oder Beschichtung sein. Sie können staubdicht oder sogar wasserbeständig sein. Die maximale Nettomasse liegt bei 50 kg nach dem ADR, Abb. 4.14.



Abb. 4.14. Papiertüte

Säcke werden von oben mittels Schwerkraft befüllt, Abb. 4.15 oder durch Einblasen über eine schlauchartige Öffnung, Abb. 4.16. Die Öffnungen werden durch Nähte oder durch Zukleben mit einem Deckblatt verschlossen, Abb. 4.17.



Abb. 4.15. Schwerkraftbefüllung



Abb. 4.16. Befüllung über Einblasen

Einen Sackverschluß nach Befüllung mittels Klebung und Naht zeigt Abb. 4.17.

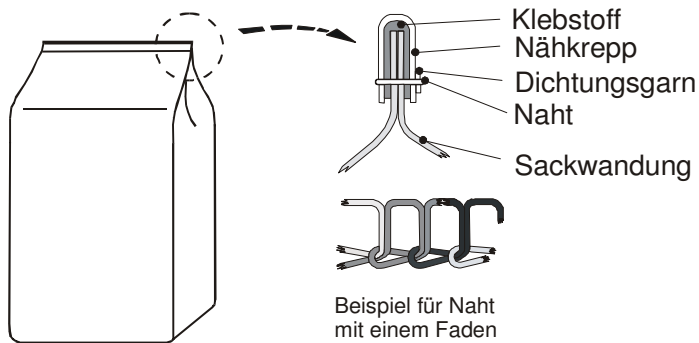


Abb. 4.17. Beispiel für Verschlusstechnologie

Eine Klebeverschluß mit einem Deckblatt an einem Sackboden zeigt Abb. 4.18.

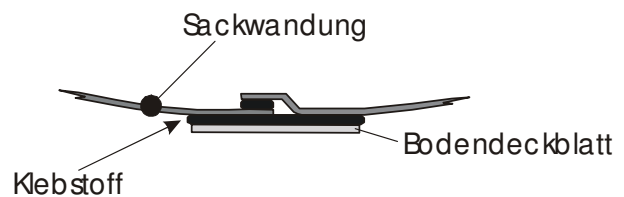


Abb. 4.18. Geklebter Bodenverschluß

4.4 Bigbags und Säcke auf Palette

4.4.1 Paletten auf Fahrzeuge

Bigbags werden direkt auf die Ladefläche gestaut. In der Regel werden sie aber auf Paletten befördert. Damit muß aber auch eine ausreichend (g-Werte) feste Verbindung zwischen Palette und Bigbag, bzw. Säcke hergestellt werden, Abb. 4.19 zeigt eine Wicklung, die auch die Palette erfasst.



Abb. 4.19. Wicklung um Bigbag und Palette

Damit die Ladefläche seitlich möglichst kleine Freiräume hat, werden bestimmte Größen eingesetzt, Übersicht 4.2.

Übersicht 4.2. Palettenabmessungen für „Säcke“

Gängige Palettenabmessungen
für Bigbags und Säcke

Länge in mm	Breite in mm	
800	1200	Poolpalette
1000	1200	Industriepalette
1140	1140	Chemiepalette (Cp 3, CP 9)
1200	1200	Chemiepalette

Abb. 4.20 zeigt skizzenartig die obere Lge einer Palette. Entscheidend ist die bei Säcken, da der Boden nachgiebig ist, wie die Einzelbretter liegen. Wie die Versuche in [2] gezeigt haben, wird ein Sack in Längsrichtung der Bretter leichter abrutschen, Abb. 4.20.

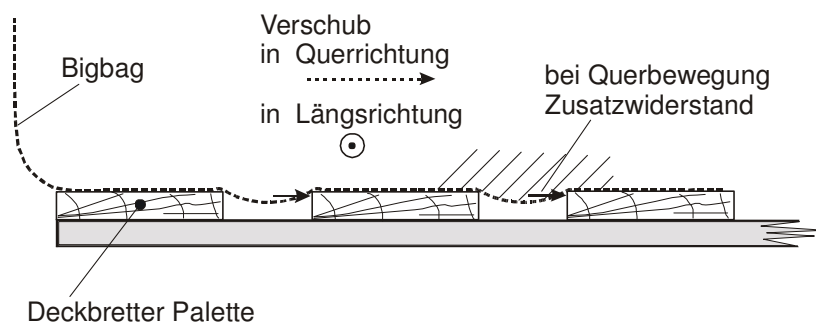


Abb. 4.20. Verschub in Quer- und in Längsrichtung auf einer Palette

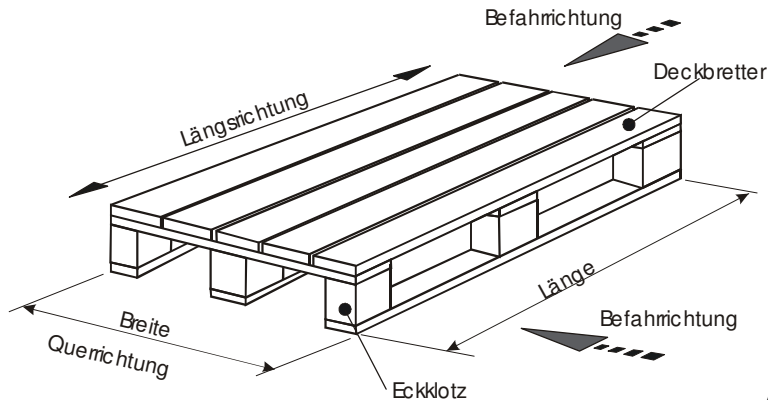


Abb. 4.21. Europalette

4.4.2 Stapelung von Säcken auf Palette

Säcke können unterschiedlich gestapelt werden. Abb. 4.22 bis 4.23 zeigen alte Techniken, die früher bei der Beladung von Schiffen eingesetzt wurden [3]. „Frei hoch“ entspricht der Säulenstapelung.



Abb. 4.22. „Im Bock“ gestapelt



Abb.4.23. Säulenstapelung

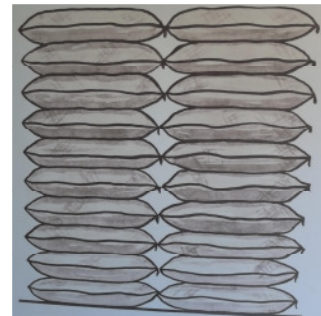


Abb. 4.24. „Frei hoch“]

Säcke müssen heute im Verbund gestapelt werden, Abb. 4.23, damit sind sie weniger anfällig gegen Querverschub bei Einwirkung z. B. von Fliehkräften sind. Eine Säulenstapelung nach Abb. 4.23 ist bei Querkraften nicht ausreichend verschubsicher und auch nicht, wie noch gezeigt wird, versatzsicher. Eine sog. chaotische Stauung, also ohne eine Regelung, ist nur in Containern mit festen Wänden vertretbar.

Abb. 4.25 zeigt das Prinzip der Verbundstapelung. Abb. 4.26 zeigt die 3er und 5er Verbundstapelung. Daneben gibt es weitere Arten von Verbundstapelungen. Sie müssen jeweils auf die Palettenmaße abgestimmt sein.

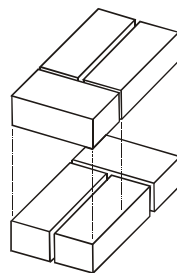


Abb. 4.25. Verbundstapelung

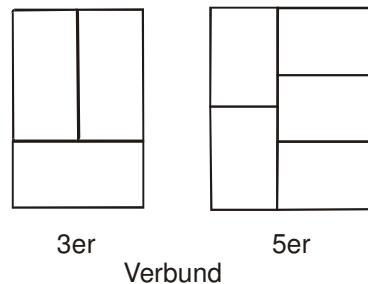


Abb. 4.26. Verbundstapelungen

4.4.3 Verbindung Palette mit Ladung

Wichtig ist es, daß es nicht zu einer Verschiebung von Lagen zueinander und der Ladung mit der Palette kommt. Dafür stehen im wesentlichen drei Techniken zur Verfügung [4]: Die vertikale Bündelung, die Wicklung und die Schrumpffolie, Abb. 4.27 bis 4.29.

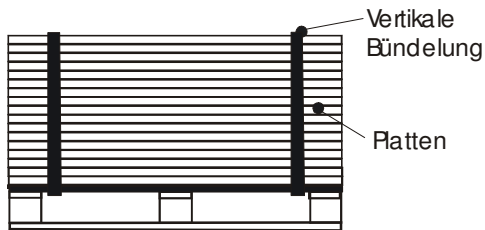


Abb. 4.27. Vertikale Bündelung

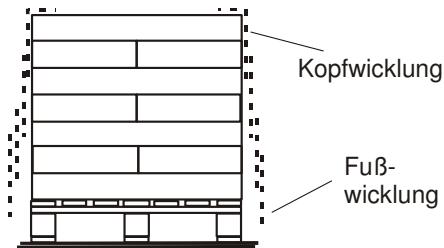


Abb. 4.28. Wickeln

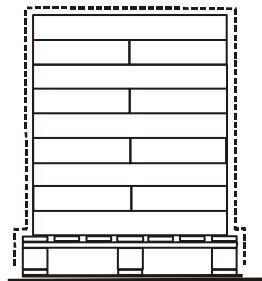


Abb. 4.29. Haubenstretch

4.4.4 Reibung Aufstandsfläche von Bigbags

Wesentlich für eine feste Verbindung zwischen Bigbag und Palette ist die Reibung an der Aufstandsfläche. Die Reibung wird aber bei Bigbag und Säcken auf Holzpaletten von dem Abstand und der Richtung der Deckbretter zur äußeren Kraft abhängen, da die nachgiebige Bigbagaufstandsfläche sich in die Fugen eindrückt. Zu der Coulombschen Reibung kommt also ein Zusatz aus dem „Formschluß“ hinzu, Abb. 4.20. Es muß also bei Versuchen und Untersuchungen die Lage und der Abstand der Deckbretter beachtet werden.

5 Antriebskraft

5.1 Einführung

Wirken im Transport Kräfte an einer Ladung, so kann es zu Eigenbewegungen in Bezug zum Fahrzeug kommen. Dabei sind drei Bewegungsarten möglich: Rollen, Vershub (Gleiten), und Kippen, Abb. 5.1.

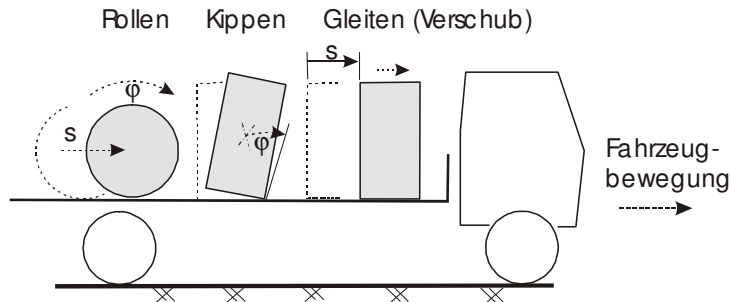


Abb. 5.1. Bewegungsarten

Eine Gefährdung im Ladungstransport geht in fast allen Fällen auf eine Eigenbewegung der Ladung zurück. Durch Ladungsaufprall kann die Bordwand durchschlagen werden und die Ladung auf die Straße herabfallen oder sie kann gegen andere Ladung oder gegen „Hindernisse“, wie z. B. Rungentaschen für Einstecklatten, stoßen und undicht werden. Eine sich bewegendende Ladung kann auch ein Fahrzeug umkippen.

Im Folgenden sollen einige zunächst einige Grundlagen aus der Mechanik zu Eigenbewegungen von Massen vorweg behandelt werden.

5.2 Antriebskräfte für Auslösung einer Ladungsbewegungen

Eine Ladungsbewegung bei alleiniger Reibschlussicherung kommt dann zustande, wenn die Antriebskraft, z. B. aus einer Verzögerung, die Haftreibungskraft an der Ladungsaufstandsfläche, im Folgenden als Haftreibungsverzögerung bezeichnet, übersteigt. Das geschieht bei einer Verzögerung von $\mu_{\text{Haft}} \cdot g$. Bei einer höheren Verzögerung wird die Ladung zu gleiten beginnen, Abb. 5.2. Im Beispiel liegt dieser Punkt in 1, wenn die Verzögerung einen Wert von μ_H mal g von 6 m/sec überschreitet. Dieser Punkt soll auch als Lösepunkt bezeichnet werden. Der Übergang dauert im Ladungsbereich weniger als 0,1 Sekunde [5]. Danach befindet sich die Ladung im Gleit- oder Kippzustand. In der Gleitreibungsphase wird die Gleitreibung die widerstehende Kraft mit $\mu_{\text{Gleit}} \cdot g$ sein, in diesem Fall mit $\mu_{\text{Gleit}} = 0,4$ (= Gleitreibungsverzögerung).

Ab dem Zeitpunkt 3 wirkt dann an der Ladung eine Differenzbeschleunigung als Antrieb zwischen der tatsächlichen Fahrzeugverzögerung, z. B. 8 m/sec² und der Gleitreibungsverzögerung an der Ladung. Wird eine Bremsung mit 0,8 g aus 80 km/h zugrunde gelegt, dann dauert die Bremsung bis zum Stillstand ca. 3,4 sec bis Stillstand des Fahrzeugs. Voraussetzung ist eine „kalte“ Fahrzeugbremsanlage zu Beginn der Bremsung, denn wenn die Bremsanlage überhitzt ist, tritt der Fadingeffekt auf. Die Verzögerung fällt ab. Der lineare Anstieg in der Schwellzeit und der konstante Verzögerungsverlauf in der Bremszeit sind aus der Unfallanalytik übernommen [z. B. 6, 7].

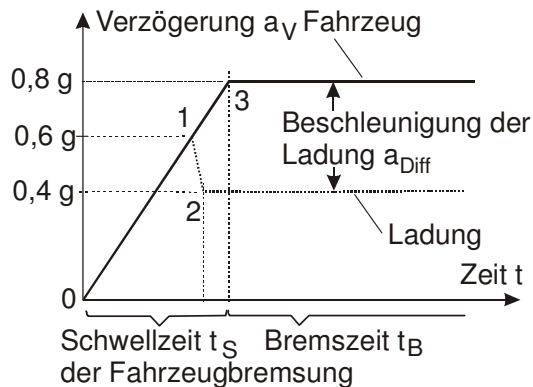


Abb. 5.2. Bremsdiagramm [6] mit Ladungsbewegung

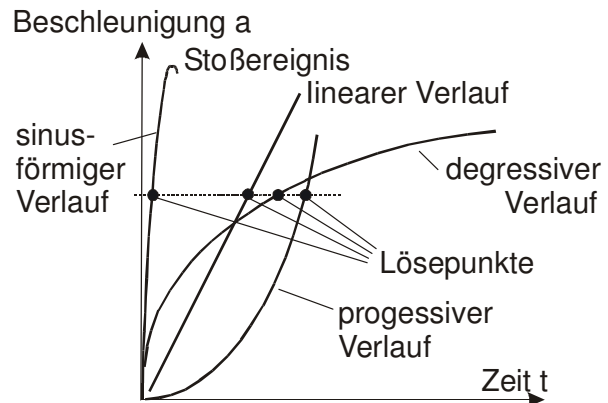


Abb. 5.3. Kraftanstiegsvarianten

Eine ähnliche Charakteristik ist der Querbeschleunigungsverlauf bei einer Kurvenfahrt mit konstantem Radius und einer konstanten Geschwindigkeit. Bei beiden Varianten, Bremsen und Kurvenfahrt, können sich Eigenbewegungen der Ladung ergeben. Eine Konstantanregung liegt auch vor, wenn die Ladung durch eine Hangabtriebskraft beschleunigt wird.

Neben dem linearen Anstieg der Beschleunigung, Abb. 5.2, kann der Anstieg aber auch mit anderen Verläufen erfolgen, Abb. 5.3. Abb. 5.4 zeigt einen sinusförmigen Verlauf, wie er bei Stoßereignissen auftritt.

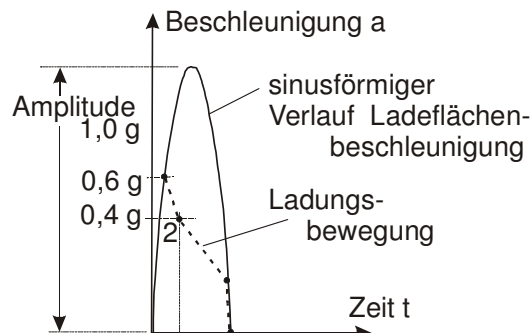


Abb. 5.4. Sinusförmiger Anstieg

Ein derartiger Horizontalstoß tritt z. B. dann auf, wenn ein Fahrzeug über ein beidseitiges Fahrbahnhindernis fährt. Abb. 5.5 zeigt das Ergebnis eines Horizontalschwingtischversuchs mit einem Stahlfaß [8]. Wird der Verlauf als sinusförmig angesetzt, kann durch Integration die Geschwindigkeit zu jedem Zeitpunkt errechnet werden.

Es lassen sich damit zwei Anregungsformen aus den Folgen ableiten:

1. Eine Bewegungsanregung mit einer nachfolgenden konstanten Beschleunigung (= Konstantanregung) und
2. eine sinusförmige Stoßanregung bei z. B. $a = 0,5 \text{ g}$ mit einer nachfolgenden Auslaufbewegung (= Stoßanregung)

Bei einer Haftreibungsgrenze $\mu_H = 0,5$, z. B. in Abb. 5.5, wird die Haftung überwunden. Der Lösepunkt liegt fast im Umkehrpunkt der Kurve bei $0,5 \text{ g}$.

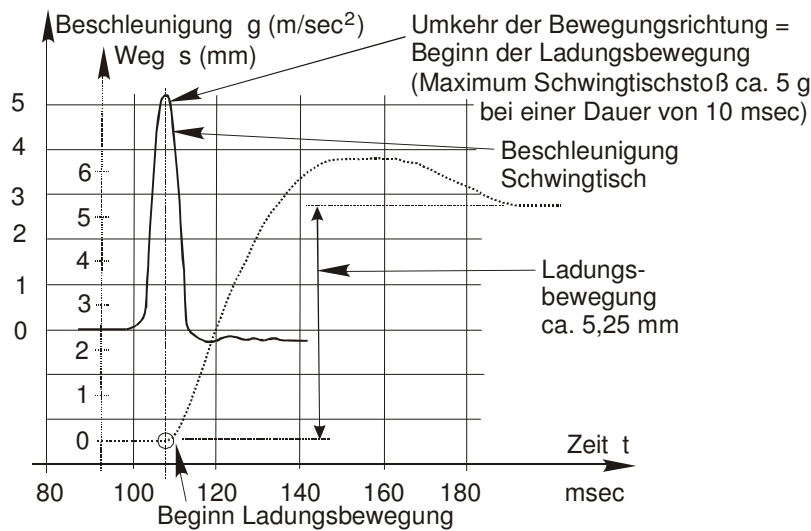


Abb. 5.5. Schwingtischversuch

Der Begriff Stoßanregung könnte den Eindruck vermitteln, daß mechanisch der Impuls für eine rechnerische Behandlung eingesetzt werden kann. Der Impuls setzt voraus, daß die Stoßkraft sehr hoch ist und die Stoßzeit sehr klein. Die bei PKW-Crashversuchen auftretenden Kräfte und Zeiten (100 bis 200 msec) erlauben es, andere äußere Kräfte (Bremskräfte) zu vernachlässigen. Diese Vorgehensweise ist bei Ladungsbewegungen nicht vertretbar, weil weder die Kräfte hoch noch die Zeiten sehr kurz sind. Abb. 5. 6 zeigt die nach derzeitigem Kenntnisstand bekannten Zeiten im Vergleich.

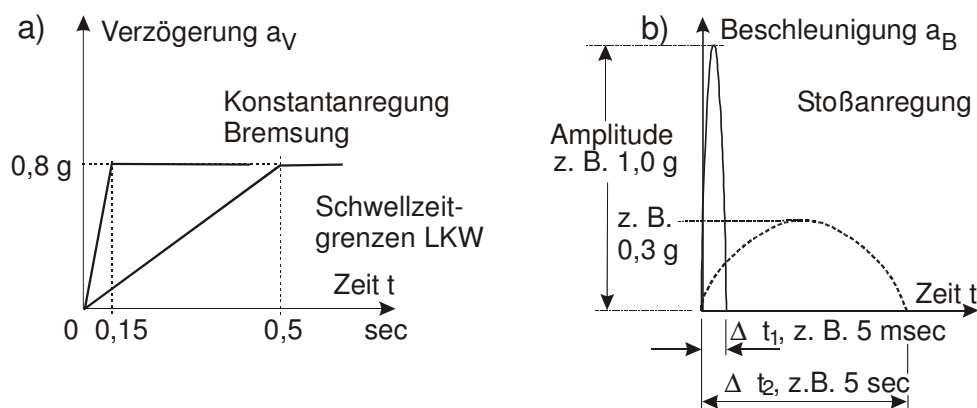


Abb. 5.6. Zeitvergleich Konstant- und Stoßanregung

5.3 Energiebilanz bei Stoßanregung

Beide Anregungsarten bewirken eine Kraft an einer Ladung mit der möglichen Folge einer Bewegung. Die Bewegung folgt bei freier Ladefläche um die Ladung herum der Wirkrichtung der Kraft. Aus der Kraft mal dem Ladungsweg in Wirkrichtung der Kraft ergibt sich eine Energie, die bei einer Stoßanregung nur sehr gering sein kann. Es muß also festgelegt werden, welcher Weg bereits als Ladungsweg gelten soll. Der Ladung wird über die Haftreibung zunächst eine Bewegungsenergie übertragen. Im Augenblick des Lösens und des Übergangs in eine Gleitbewegung kann diese Bewegungsenergie mit der Ladungsmasse m und der augenblicklichen Geschwindigkeit v beschrieben werden. Diese

Energie wird, wenn keine weitere Anregung erfolgt, über einen Gleitweg Δs bis zum Stillstand in Reibungswärme umgewandelt.

$$\frac{1}{2} m_L \cdot v_1^2 = m_L \cdot g \cdot \mu_G \cdot \Delta s \quad (\text{Gl. 5.1})$$

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot \underbrace{g \cdot \mu_G}_{\text{Gleitreibungs- verzögerung}} \cdot \Delta s} \quad (\text{Gl. 5.2})$$

Die Energiebilanz in Gl. 5.1 zeigt auch auf, daß bei alleiniger Reibschlusssicherung einer Ladung, die Ladungsmasse keine Rolle spielt!

5.4 Übertragbare Stoßenergie

Es soll die bis zur Haftreibungsgrenze übertragene Energie einer nur über Reibschluß mit der Ladefläche verbundene Ladung errechnet werden. Denn nur bis zur Haftreibungsgrenze kann Energie „übertragen“ werden. Die Energie im Lösepunkt setzt sich aus der Masse und der Geschwindigkeit im Lösepunkt zusammen. Zugrunde gelegt werden soll der in Abb. 5.7 festgelegte lineare Verzögerungsanstieg in der Schwellphase einer Bremsung (0 – 3).

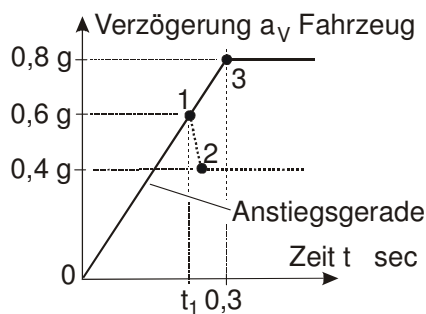


Abb. 5.7. Stoß aus Schwellphase

$$\begin{aligned} a &= k \cdot t \\ 8 \text{ m/sec}^2 &= k \cdot 0,3 \text{ sec} \\ k &= \frac{8 \text{ m/sec}^2}{0,3 \text{ sec}} \\ k &= 26,6 \frac{\text{m}}{\text{sec}^3} \\ a(t) &= 26,6 \frac{\text{m}}{\text{sec}^3} \cdot t \end{aligned} \quad (\text{Gl. 5.3})$$

Aus Gleichung 5.3 kann durch Integration die Geschwindigkeit zu jedem Zeitpunkt errechnet werden.

$$v = \frac{1}{2} 26,6 \frac{\text{m}}{\text{sec}^3} t^2 \quad (\text{Gl. 5.4})$$

oder

$$v = \frac{1}{2} \left(26,6 \frac{\text{m}}{\text{sec}^3} t \right) \cdot t \quad (\text{Gl. 5.5})$$

mit Gl. 5.3.

$$v = \frac{1}{2} a(t) \cdot t \quad (\text{Gl. 5.6})$$

Die Geschwindigkeit in Gleichung 5.6 ist die Fläche unter Anstiegsgeraden in Abb. 5.7.

Die bis zum Punkt 1, Abb. 5.7, übertragene Energie beträgt damit

$$E = \frac{1}{2} m \left(\frac{1}{2} 26,6 \cdot t_1^2 \right)^2 \quad (\text{Gl. 5.7})$$

Erkennbar ist, daß die übertragene Energie mit längerer Zeitdauer bis Punkt 1 und wachsender Haftreibungszahl immer größer wird.

In einem zweiten Schritt soll der Verschub bei einer bestimmten Gleitreibungszahl ermittelt werden. Es werden folgende Werte zugrunde gelegt: Ladungsmasse 1000 kg, Fahrzeugverzögerung 0,8 g, Haftreibungsgrenze 0,6 und die Zeit $t_3 = 0,3 \text{ sec}$ bis zur Vollverzögerung, dann ergibt sich eine übertragene Energie auf die Ladung von:

Die Zeit t_1 bis Punkt 1 in Abb. 5.7 ergibt sich aus:

$$\frac{0,8 \text{ g}}{0,3 \text{ sec}} = \frac{0,6 \text{ g}}{t_1}$$

$$t_1 = 0,2_{25} \text{ sec}$$

$$E = \frac{1}{8} m \left(\frac{1}{2} 26,6 \cdot t^2 \right)^2$$

$$E = \frac{1}{2} 1000 \cdot \frac{1}{4} 26,6^2 \cdot t_1^4 \left[\text{kg} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}^6} \text{sec}^4 \right]$$

$$E = 226,7 \text{ Nm}$$

Aus [3] ergibt sich:

$$E_G = m_L \cdot g \cdot \mu_G \cdot s_G \quad (\text{Gl. 5.8})$$

Damit ergibt sich ein Gleitweg im Auslauf von:

$$s_G = \frac{226,7 \text{ Nm} \cdot \text{sec}^2}{1000 \cdot 10 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}}$$

$$s_G = 0,02_2 \text{ m}$$

Der Gleitreibungsweg aus diesem Stoß wird damit ca. 0,02 m lang sein.

6 Versatzbewegung

6.1 Begriff

Bei Bigbags, gestapelten Säcken tritt eine zusätzliche Besonderheit bei den Beweglichkeiten auf, die sog. Versatzbewegung.

„Als eine Versatzbewegung soll eine Gleitbewegung einer Schüttgutladung in Säcken und Bigbags bezeichnet werden, bei der die Aufstandsfläche unverrückt auf der Ladefläche verbleibt bis zum Lösepunkt und die Ladungsmasse eine irreversible Gleitbewegung macht.“

Während einer Versatzbewegung wird die Haftreibung an der Aufstandsfläche der Ladung nicht unterbrochen. Nur der darüber liegende Teil „versetzt“ sich, Abb. 6.1.

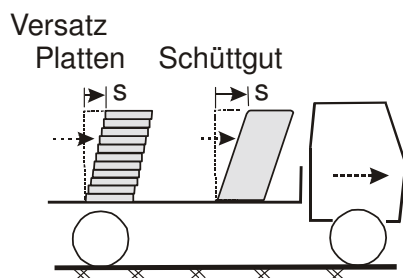


Abb. 6.1. Versatzbewegung

Ab einem bestimmten Versatz kann nach der Versatzphase ein Vers Schub oder ein Kippen eines Bigbags eintreten, unter Umständen können die Vorgänge nahezu zeitgleich ablaufen.

Abb. 1.2, 6.2 und 6.3 zeigen Beispiele für Versatzbewegungen an Versandstücken mit einem Schüttgut.



Abb. 6.2. Versatz von Bigbags



Abb. 6.3. Versatzbewegung von Säcken [5]

Die Versatzbewegung stellt eine Besonderheit von Schüttgutladungen in Weichverpackungen und im Plattentransport dar. Bei diesen Ladungen ergeben sich irreversible Beweglichkeiten. Ein verschobener Plattenstapel verformt sich nicht ohne äußere Krafteinwirkung wieder rückwärts. Bei elastische Ladungen, wie Fässer zum Beispiel, werden

sich Rückfederungen ergeben. Im Folgenden soll die Bewegungsart Versatz näher beschrieben werden.

Neben dem Versatz kann es aber auch zu Bigbagschwingungen kommen, z. B. wenn der Bigbag bei Versatzbewegung auf eine Barriere stößt, die den Bigbag zurückstößt, Abb. 6.4.

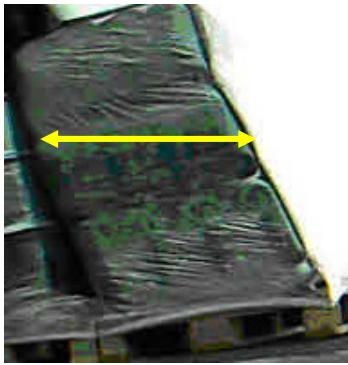


Abb. 6.4. Horizontale Längsschwingung

Die Versatzbewegung beginnt in Abgrenzung zur Verschiebbewegung bereits vor der Haftreibungsgrenze.

6.2 Bigbagverformungen

Bigbags mit Schüttgütern werden sich mit einem bestimmten Ladegut bei Einwirkung von äußeren Kräften, z. B. bei Bremskräften, in einer bestimmten Weise verformen. Praxiserfahrungen und Versuche haben gezeigt, dass folgende Konturen bei Versatzbewegungen an Bigbags von der Ausgangs- zur Endstellung auftreten können, Abb. 6.5. Abb. 6.6 zeigt ein Beispiel für den Fall e). Die Konturen zeigen den Endstand der Versatzbewegung, aber nicht, wie der zeitliche Ablauf erfolgt.

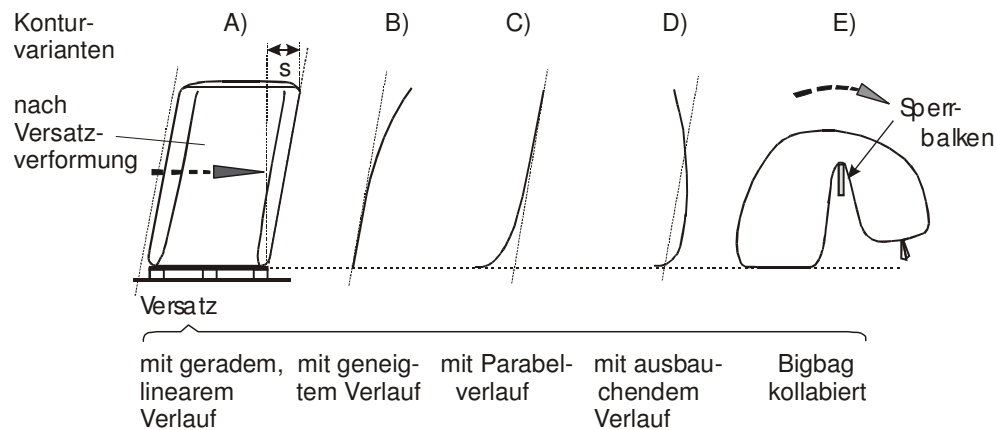


Abb. 6.5.
Verformungs-
varianten
Bigbag [8]



Abb. 6.6. Kollabierter Bigbag [9]

6.3 Bewegungsablauf einer Versatzbewegung

In den folgenden Abschnitten wird für theoretische Überlegungen der Ansatz nach A) in Abb. 6.7 zugrunde gelegt.

Erfahrungen mit dem Abgleiten von Platten [5] auf einer Palette bei einseitiger Anhebung zeigen, daß sich wie bei Bigbags einer Versatzbewegung ergibt, die wie A) in Abb. 6.7 abläuft.

Die Abb. 6.7 zeigt zwei mögliche Abläufe für die Verformung von Bigbags, aber auch von gestapelten Säcken, am Beispiel von gestapelten Platten bei Einwirkung einer Querkraft. Das Endergebnis, eine bestimmte Verformungslinie nach Abb. 6.5, kann, nach derzeitigem Erkenntnisstand, über zwei Möglichkeiten erreicht werden, die in der Abbildung dargestellt sind. Welche der beiden sich Varianten das reale Geschehen trifft oder unter welchen Bedingungen, ist bisher nicht ausreichend untersucht worden. Theoretische Überlegungen sprechen dafür, daß sich Bewegung wie unter A) in Abb. 6.5 entwickelt. Offen ist auch die Frage, ob das Modell für eine Plattenverschiebung sich auf Schüttgüter übertragen läßt. Die Frage, ob das Plattenmodell anwendbar ist und wie der Ablauf ist, ist bei einem Aufprall während einer Versatzbewegung von Bedeutung.

Randbedingungen: Reibungszahl μ_{Gleit} zwischen den Platten gleich und niedrig (damit wird ein zeitlich konstante Widerstandskraft angenommen)
Haftreibungen zwischen unterster Platte und der Palette höher als zwischen den Platten
Platten mit gleicher Masse

Auf der Basis der Randbedingungen lassen sich zwei Modelle für einen Verformungsablauf vorstellen: A) und B) in Abb. 6.7

In Fall A) pflanzt sich der Versatz von der 4. Platte beginnend nach oben fort, im Fall B) tritt ein gleichmäßiger Versatz aller Platten gleichzeitig auf.

Während in t_3 bei Modell A) bereits die 3. Platte zum Anliegen kommt, ist es in der Variante B) erst die zweite. Bei Aufprall während der Versatzphase sind bei der Berechnung, je nach Verwendung des Modell A) oder B), deshalb unterschiedlich große Massen anzusetzen.

In Abschnitt 9 werden Aufprallversuche mit Bigbags auf Güterwagen der Bundesbahn vorgestellt.

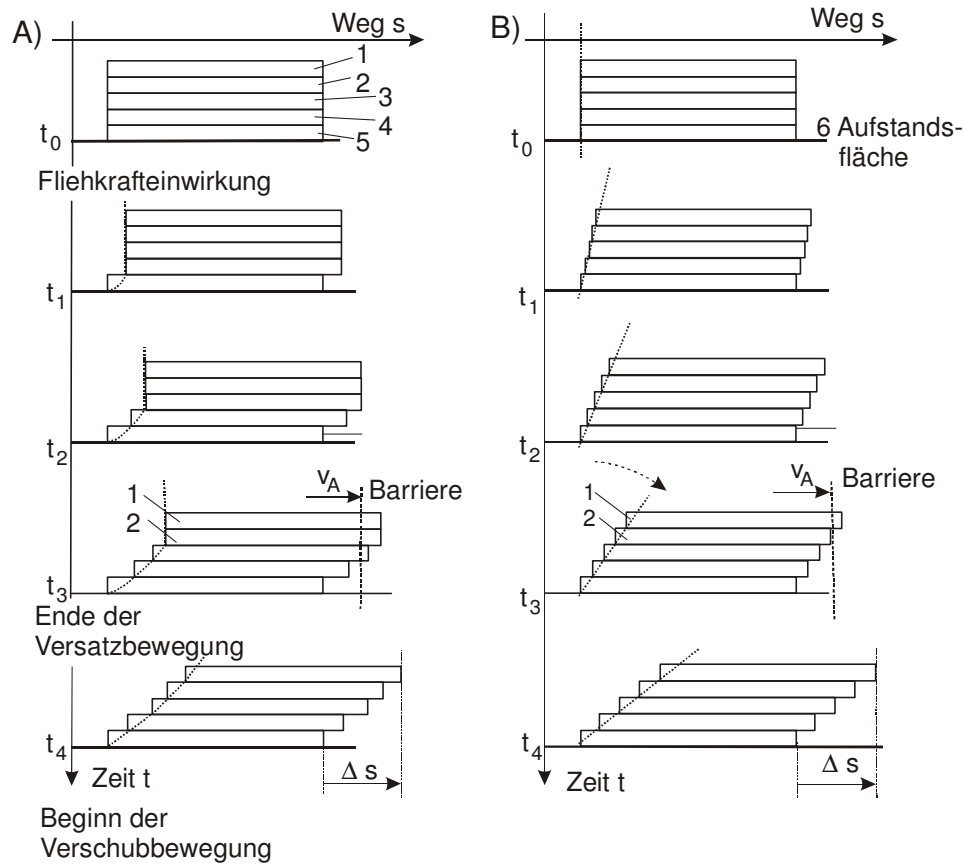


Abb. 6.7. Verformungsabläufe in der Versatzphase

7 Bilderverzeichnis

Abbildungen:

1.1/4.8	M. Lang, Polizeidirektion Schweinfurt, Mitglied KLSK
1.2/4.3/4.19/6.2	W. Neumann, EUROSAFE, 63 457 Hanau, Mitglied KLSK
2.19	C. Franz, 42 111 Wuppertal, Mitglied KLSK
4.5	W. Schlobohm, GWS, 27412 Kirchtimke, Mitglied KLSK
4.12/4.13/6.4	S. Ehringer, SE-LogCon, 86 943 Thaining, Mitglied KLSK
	Alle anderen Abbildungen und Skizzen sind vom Verfasser, Mitglied KLSK

8 Verwendete Literatur

- [1] Strauch, Winfried, Containerhandbuch, GDV, 2004,
- [2] Versuche der Fa. Euro-Safe, 63 457 Hanau, 2011
- [3] Speicherstadtmuseum, 20 457 Hamburg
- [4] Podzuweit, Ulrich, Lemmer, Holger, Ladungssicherungstechnik, Schäden-Ursachen-Vermeidung, Verkehrsverlag Fischer, 40 215 Düsseldorf, ISBN 978 – 3 - 87841
- [5] Podzuweit, Ulrich, Forschungsvorhaben des deutschen Bundesverkehrsministeriums „Ladungssicherung von Gefahrgut“, FE Nr. 90380/9, 1994
- [6] Burg, Heinz, Rau, Hartmut, Handbuch der Verkehrsunfall-Rekonstruktion, Verlag Information Ambs GmbH, 1981, Seite 313
- [7] M. Burckhardt, Zur Theorie der "Bremstechnik", Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 5/79
- [8] Goedecke, Th., Systematische Ermittlung der Transportbeanspruchung zur Optimierung der Ladungssicherung im Container, Forschungsbericht der BAM – Projektnr. 3134 zum BMV-Forschungsvorhaben BMV-A.24/1649.00-96473/97-KA
- [9] Versuchsbericht „Hildesheim“ der KLSK-Tagung am, Internetseite KLSK