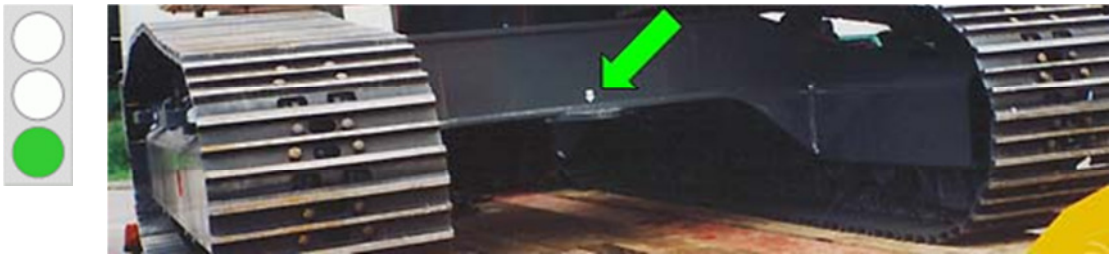
Diagonalzurren leicht gemacht - mit der Methode „Backrezept“

Viele Ladungen lassen sich nur formschlüssig mit Diagonalzurrungen sichern - die richtige Anbringung ist dabei entscheidend

Bei der Anbringung von Diagonalzurrungen ist immer wieder zu beobachten, dass beim Sicherungspersonal nur sehr beschränkte Vorstellungen über den Zusammenhang der zulässigen Zurrkraft bzw. Lashing Capacity, der Vorspannung und der Kraftrichtung der Zurrungen vorhanden sind. Die Qualität einer Diagonalzurrung steht und fällt jedoch mit der richtigen Anbringung und einer ausreichenden Anzahl von Zurrungen.



[Kapt. W. Strauch]

Dieser Bagger verfügt über gut platzierte und ausreichend starke Zurrpunkte am vorderen und hinteren Ende des kettengetriebenen Fahrgestells.

[Kapt. W. Strauch]

Unverständlich ist unter diesen Umständen, dass hier Zurrmittel an den Laufketten befestigt werden. Die meisten Hersteller von Kettenfahrzeugen empfehlen die Sicherung ihrer Fahrzeuge an den Laufketten nicht. Wäre das technisch zulässig und würden dadurch

günstigere Zurrwinkel und Kraftkomponenten erreicht, wäre es sinnvoll. Hier wird jedoch der gegenteilige Effekt erreicht: Eine Verschlechterung der Sicherung ist die Folge. Bei der folgenden Kräftebilanz wird nicht berücksichtigt, dass ein Teil des Baggergewichtes über die abgelegte Schaufel auf die Ladefläche des Fahrzeugs übertragen wird. Für die folgenden Rechenbeispiele bleiben auch eventuelle Kippkräfte unberücksichtigt. Die Gewichtskraft des Baggers wird mit 24.000 daN angenommen. Da die Ketten teilweise auf den Außenlängsträgern des Sattelanhängers aufliegen, wird der Gleitreibbeiwert mit $\mu = 0{,}1$ angesetzt. Die erforderlichen Sicherungskräfte gibt die Tabelle wieder:

(Alle Kräfte in daN)	in Vorausrichtung	seitwärts und nach hinten
Gewichtskraft G	24.000	24.000
Trägheitskraft in Vorausrichtung (0,8 G)	19.200	
Trägheitskraft rück- und seitwärts (0,5 G)		12.000
Reibungskraft bei Gleitreibbeiwert von $\mu = 0{,}1$	2.400	2.400
Erforderliche Sicherungskraft	16.800	9.600

Tabelle 1: Erforderliche Sicherungskräfte bei 10 % Reibung

Die eingesetzten Zurrketten sind aus hochfestem Material der Güteklasse 8 und haben bei einem Kettenstahldurchmesser von 13 mm eine zulässigen Zurrkraft von 10.000 daN. Obgleich die Realität anders aussah, wird für die folgende Rechnung unterstellt, dass die Zurrpunkte am Fahrzeug den gleichen Wert erreichen. Ferner wird angenommen, dass die Befestigung an den Laufketten des Fahrzeugs erlaubt ist und der Höhe nach die zulässige Zurrkraft der Ketten erreicht.

[Kapt. W. Strauch]

Es werden folgende Längen gemessen:

l_w = (violett) wirksame Länge des Zurrmittels = 3,20 m (gemessen vom Haken an der Laufkette bis zur Umlenkung an der Ladeflächenseite des Sattelanhängers);

l_{hq} = (blau)wirksame Querkomponente des Zurrmittels = 2,60 m (gemessen von der Umlenkung an der Ladeflächenseite des Sattelanhängers bis parallel zum Fußpunkt der Befestigung des Kettenhakens an der Laufkette);

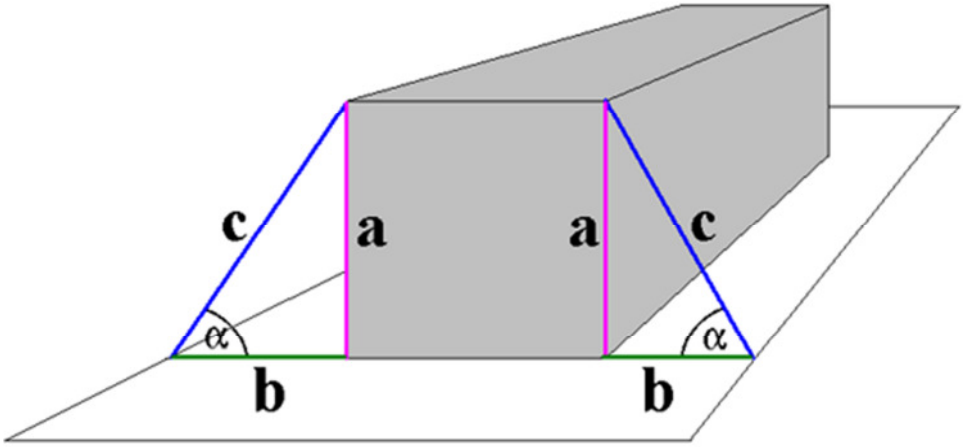
l_{hl} = (grün) wirksame Längskomponente des Zurrmittels = 1,20 m (gemessen von der Umlenkung an der Ladeflächenseite des Sattelanhängers bis zum Fußpunkt der Befestigung des Kettenhakens an der Laufkette);

l_v = (rot) wirksame Vertikalkomponente des Zurrmittels = 1,00 m (gemessen zwischen der Befestigung des Kettenhakens an der Laufkette und dem Fußpunkt dieser Befestigung in Höhe der Ladefläche).

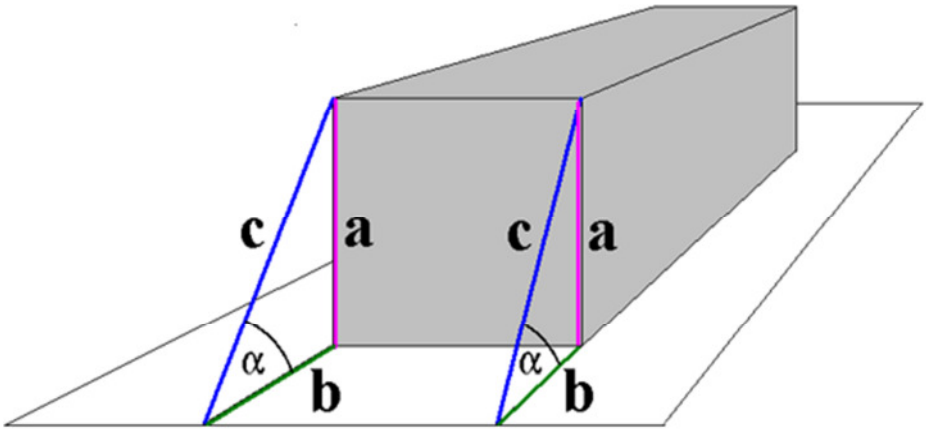
Für die folgenden Rechnungen wird ferner vorausgesetzt, dass die Kettenspanner nur soweit angezogen wurden, bis die Ketten gestrafft sind. Die Vorspannung der Ketten liegt demnach nahe Null - und so soll es sein. Jede Vergrößerung der Vorspannung wirkt sich negativ auf die "Resthaltekräfte" der Verzurrung aus. Das ist der entscheidende Unterschied zwischen formschlüssigen Zurrungen und kraft- bzw. reibschlüssigen Niederzurrungen:

- Bei formschlüssigen Zurrungen an starren Ladungen muss die Vorspannung möglichst klein gehalten werden; es darf aber keine Lose in den Zurrungen verbleiben. Für elastische bzw. gefederte Ladungen gelten Besonderheiten.
- Bei Niederzurrungen muss die Vorspannung möglichst groß sein, sie darf allerdings nicht die Hälfte der zulässigen Zurrkraft übersteigen.

Grundsätzliches zur Berechnung von Zurrkräften beim Direktzurren



Schrägzurrung quer [Kapt. W. Strauch]



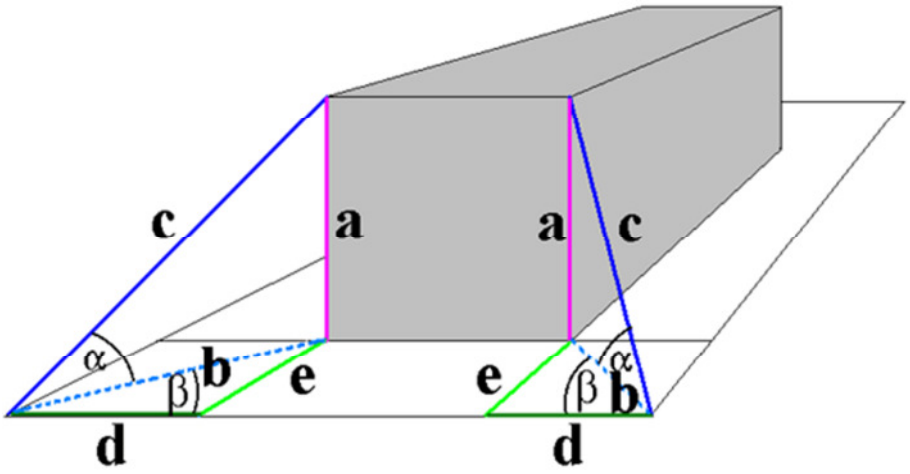
Schrägzurrung längs [Kapt. W. Strauch]

Beim Schrägzurren wirken Kräfte in zwei Richtungen, nämlich in einer horizontalen Richtung und in der Vertikalrichtung. Die Größe der in den jeweiligen Richtungen wirkenden Kräfte kann durch eine Rechnung mit Winkelfunktionen ermittelt werden. Dazu ist beim Schrägzurren die Ermittlung des vertikalen Zurrwinkels α erforderlich, das ist der Winkel zwischen Horizontalrichtung der Zurrung und der Schrägzurrung selbst. Als weitere bekannte Größe ist die zulässige Zurrkraft bzw. Lashing Capacity (LC) Voraussetzung. Die ausgeübte Vertikalkraft (a) kann über die Formel

$$a = \sin \alpha \cdot LC$$

errechnet werden. Die ausgeübte Horizontalkraft (b) lässt sich nach dieser Formel berechnen:

$$b = \cos \alpha \cdot LC$$



Diagonalzurrung [Kapt. W. Strauch]

Beim Diagonalzurren wirken Kräfte in drei Richtungen: Horizontal-längs (e), horizontal-quer (d) und vertikal (a). Die Größe der in den jeweiligen Richtungen wirkenden Kräfte kann ebenfalls durch Rechnen mit Winkelfunktionen ermittelt werden. Wie zuvor wird über den Zurrwinkel α und die Lashing Capacity die Vertikalkraft a und die jeweilige gesamte Horizontalkomponente (b) bestimmt werden (gestrichelte Linie). Nach Bestimmung des horizontalen Zurrwinkels β kann daraus die jeweils wirkende horizontale Querkraft und die horizontal wirkende Längskraft bestimmt werden - und zwar nach diesen Formeln:

$$d = \cos \beta \cdot b$$

$$e = \sin \beta \cdot b$$

Aufgrund der Messungenauigkeiten beim Bestimmen der Winkel ist das Verfahren ungenauer als die Methode, die wir im Folgenden als **"Backrezept"** bezeichnen. Vorteilhaft ist auch:

1. Der Anwender braucht vor Ort keine(n) Winkel zu messen, sondern nur Strecken.
2. Die Berechnung erfolgt nur nach den Grundrechenarten. Taschenrechner oder Tabellen mit Winkelfunktionen werden nicht benötigt.
3. Die schrittweise Durchführung erlaubt einen besseren Überblick als dass Einsetzen von Werten in entsprechende Formeln.
4. Die Methode ist mathematisch oder trigonometrisch betrachtet hundertprozentig korrekt.

Ermittlung der Zurrkraftkomponenten nach "Backrezept"

Nach "Backrezept" können die jeweiligen Kraftkomponenten bzw. Zurrkräfte der formschlüssigen Schräg- bzw. Diagonalzurrung beim Direktzurren wie folgt ermittelt werden:

- Länge der gewünschten Komponente geteilt (dividiert) durch die wirksame Länge des Zurrmittels und mal genommen (multipliziert) mit der zulässigen Zurrkraft des Zurrmittels.

Aus dieser Grundregel ergeben sich für das Baggerbeispiel die folgenden Rechnungen:

- Wirksame Längskomponente des Zurrmittels = 1,20 m : 3,20 m · 10.000 daN = 3.750 daN
- Wirksame Querkomponente des Zurrmittels = 2,60 m : 3,20 m · 10.000 daN = 8.125 daN
- Wirksame Vertikalkomponente des Zurrmittels = 1,00 m : 3,20 m · 10.000 daN = 3.125 daN

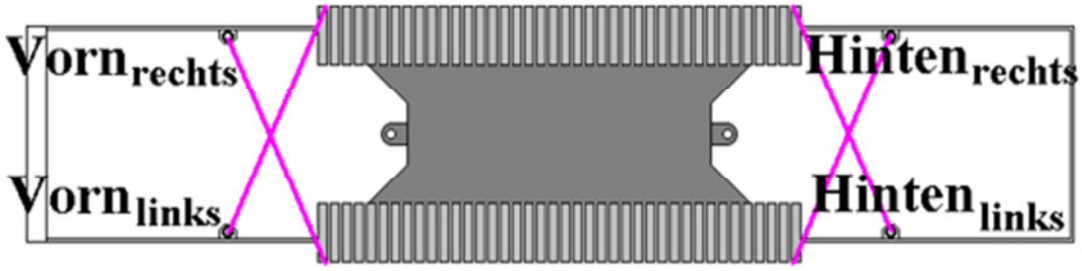
Wirken Trägheitskräfte infolge von Geschwindigkeits- und Richtungsänderungen des Fahrzeugs auf den Bagger ein, werden die Zurrungen entsprechend be- oder entlastet. Eine Belastung darf die zulässige Zurrkraft erreichen. Die Vertikalkomponente vergrößert den Anpressdruck der Ladung auf die Unterlage. Hier wirkt die Vertikalkomponente der formschlüssigen Zurrung über die Reibung wie eine Niederzurrung. Da die Reibung in allen Richtungen wirkt, kann für das Bagger-Beispiel der Wert der Vertikalkomponenten von 3125 daN mit dem angenommenen Gleitreibbeiwert von $\mu = 0{,}1$ multipliziert werden und das Produkt dieser Rechnung jeweils der wirksamen Längs- und Querkomponente zugeschlagen werden.

- Zusätzliche Reibungskräfte infolge des Vertikalanteils = 3.125 daN · 0,1 = 312,5 daN

Der Bagger wird durch eine Kette demnach wie folgt gesichert:

- Horizontal längs mit 3.750 daN + 312,5 daN = 4.062,5 daN
- Horizontal quer mit 8.125 daN + 312,5 daN = 8.437,5 daN
- Vertikal mit 3.125 daN

Da der Bagger vorn und hinten symmetrisch verzurrt ist, ergibt sich folgende Situation:



[Kapt. W. Strauch]

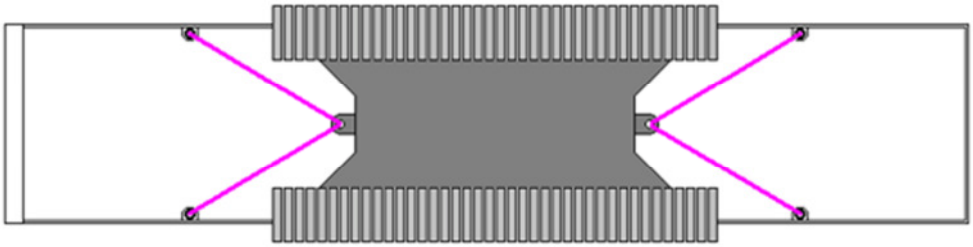
Die beiden vorderen Zurrketten hindern den Bagger an einer rückwärtigen Bewegung, die beiden hinteren an einer Bewegung nach vorn. Die linken Zurrketten sichern gegen Bewegungen nach rechts und die beiden rechten Zurrketten gegen Bewegungen nach links. Die Vertikalsicherung soll nicht weiter diskutiert werden.

alle Kräfte in daN in Richtung	Erreichte Sicherung gemäß vorherigen Rechnungen	Erforderliche Sicherungskraft nach Tabelle 1	Differenz minus = fehlend plus = Überschuss
nach vorn	2 · 4.062,5 = 8.125	16.800	- 8.675
nach hinten	2 · 4.062,5 = 8.125	9.600	- 1.475
seitlich	2 · 8.437,5 = 16.875	9.600	+ 7.275

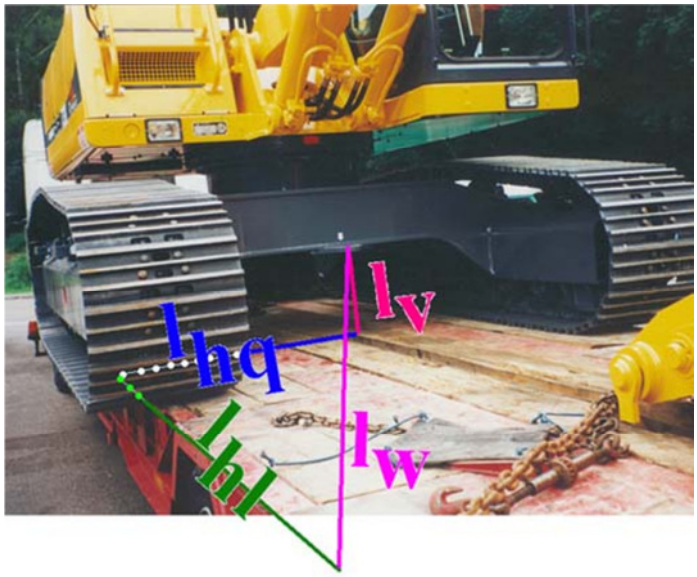
Tabelle 2: Kräftebilanz der angebrachten Sicherungen

Fazit: Die Sicherung in Längsrichtung ist mangelhaft. In Querrichtung sind die Sicherungskräfte größer als benötigt.

Günstigere Längskomponenten und weniger wirksame Querkomponenten ergeben sich, wenn die gleichen Zurrpunkte am Fahrzeug und die vorhandenen Zurrpunkte am Bagger genutzt werden:



[Kapt. W. Strauch]



[Kapt. W. Strauch]

Die wirksame Vertikalkomponente l_v der Sicherung entspricht der Höhe des Zurrpunktes über der Ladefläche - hier also 0,60 m. Die wirksame horizontale Querkomponente l_{hq} entspricht der halben Fahrzeugbreite - in diesem Fall 1,25 m. Die wirksame horizontale Längskomponente l_{hl} wird mit 2,76 m gemessen. Die wirksame Länge des Zurrmittels wird mit 3,09 m bestimmt. Aus diesen Zahlenwerten ergeben sich bei einer Zurrkette mit einer zulässigen Zurrkraft (LC = Lashing-Capacity) von 10.000 daN die folgenden Kräfte:

- Horizontale Längskraft = 2,76 m : 3,09 m · 10.000 daN = 8.932 daN
- Horizontale Querkraft = 1,25 m : 3,09 m · 10.000 daN = 4.044 daN
- Vertikalkraft = 0,60 m : 3,09 m · 10.000 daN = 1.942 daN

Die Vertikalkraft erzeugt bei einem Gleitreibbeiwert von μ = 0,1 zusätzliche Bodenreibungskräfte von 1.942 daN · 0,1 = 194 daN.

Die horizontalen Sicherungskräfte, die durch eine Kette erzeugt werden, betragen demnach in Längsrichtung 8.932 daN + 194 daN = 9.126 daN und in Querrichtung 4.044 daN + 194 daN = 4.238 daN.

alle Kräfte in daN in Richtung	Erreichte Sicherung gemäß vorherigen Rechnungen	Erforderliche Sicherungskraft nach Tabelle 1	Differenz minus = fehlend plus = Überschuss
nach vorn	2 · 9.126 = 18.252	16.800	+ 1.452
nach hinten	2 · 9.126 = 18.252	9.600	+ 8.652
seitlich	2 · 4.238 = 8.476	9.600	- 1.124

Tabelle 3: Kräftebilanz der geänderten Sicherungen

Fazit: Die Sicherung in Längsrichtung ist nach vorn ausreichend und in rückwertiger Richtung sogar überdimensioniert. In Querrichtung besteht ein Sicherungsdefizit.

Was bringt es, wenn die Zurrpunkte frei gewählt werden könnten?

Wäre der Tieflader mit einer größeren Anzahl ausreichend starker Zurrpunkte und entsprechend hoch belastbaren Sicherungsmitteln ausgestattet, könnte an das Sicherungsproblem anders herangegangen werden. Um die (nahezu) optimalen Zurrpunkte über ein vereinfachtes Verfahren zu bestimmen, wird von folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

- Es ist keine Reibung vorhanden, der Gleit-Reibbeiwert μ ist Null.
- Um keine asymmetrisch wirkenden Sicherungskräfte zu erzeugen, werden nach vorn und

hinten Kräfte in Höhe von 0,8 G angenommen.

- Die seitlichen Kräfte werden mit den üblichen 0,5 G angenommen.

Die längs und quer wirkenden Kraftkomponenten der Zurrmittel sollten im gleichen Verhältnis zueinander stehen. Wenn der horizontale Querabstand vom Zurrpunkt am Bagger zum Zurrpunkt am Fahrzeug 1,25 m beträgt (halbe Fahrzeugbreite), muss der Längsabstand vom Zurrpunkt des Baggers zum Zurrpunkt des Fahrzeugs 2,00 m betragen:

Querabstand zu Längsabstand wie Querkraft zu Längskraft
$l_{hq} : l_{hl} = 0{,}5\ G : 0{,}8\ G$

oder in Zahlenwerten
$1{,}25\ m : l_{hl} = 0{,}5\ G : 0{,}8\ G$

daraus folgt:
$l_{hl} = 1{,}25\ m \cdot 0{,}8\ G : 0{,}5\ G = 2{,}00\ m$

Es geht noch einfacher. Da die Längsbeschleunigungen das 1,6-fache der Querbeschleunigungen ausmachen (0,8 g : 0,5 g = 1,6), muss der horizontale Längsabstand um das 1,6-fache größer sein als der Querabstand ($1{,}6 \cdot 1{,}25\ m = 2{,}00\ m$).

Merksatz für das "Backrezept":

> **Eine Diagonalzurrung ist optimal positioniert, wenn der horizontale Längsabstand das 1,6-fache des horizontalen Querabstands beträgt.**

[Kapt. W. Strauch]

Nicht geändert hat sich demnach die wirksame horizontale Querkomponente l_{hq}. Sie entspricht nach wie vor der halben Fahrzeugbreite - also 1,25 m. Auch die wirksame Vertikalkomponente l_v der Sicherung hat sich nicht geändert. Sie entspricht nach wie vor der Höhe des Zurrpunktes über der Ladefläche - also weiterhin 0,60 m. Die notwendige horizontale Längskomponente l_{hl} wurde mit 2,00 m errechnet. Dort muss ein Zurrpunkt sein und die Kette muss daran befestigt werden. Die wirksame Länge des Zurrmittels l_w hat sich durch das Umsetzen der Kette geändert und wird durch Messung jetzt mit 2,44 m bestimmt. Aus diesen Zahlenwerten ergeben sich bei einer Zurrkette mit einer zulässigen Zurrkraft (LC = Lashing-Capacity) von 10.000 daN, die an mindestens gleich starken Zurrpunkten befestigt ist, folgende Sicherungskräfte:

- Horizontale Längskraft = 2,00 m : 2,44 m · 10.000 daN = 8.196,7 daN
- Horizontale Querkraft = 1,25 m : 2,44 m · 10.000 daN = 5.123,9 daN
- Vertikalkraft = 0,60 m : 2,44 m · 10.000 daN = 2.459,0 daN

Da von Null-Reibung ausgegangen wurde, erzeugt die Vertikalkraft keine zusätzlichen Bodenreibungskräfte.

Die horizontalen Sicherungskräfte durch je zwei symmetrisch angebrachte Ketten an der Vorder- und Rückseite des Baggers betragen demnach

- in Längsrichtung jeweils 2 · 8.196,7 daN = 16.393,4 daN und
- in Querrichtung jeweils 2 · 5.123,9 daN = 10.247,8 daN.

Bei einer Gewichtskraft des Baggers von 24.000 daN hätten jedoch in Längsrichtung 19.200 daN und in Querrichtung 12.000 daN gesichert werden müssen. Es besteht somit ein Sicherungsdefizit.

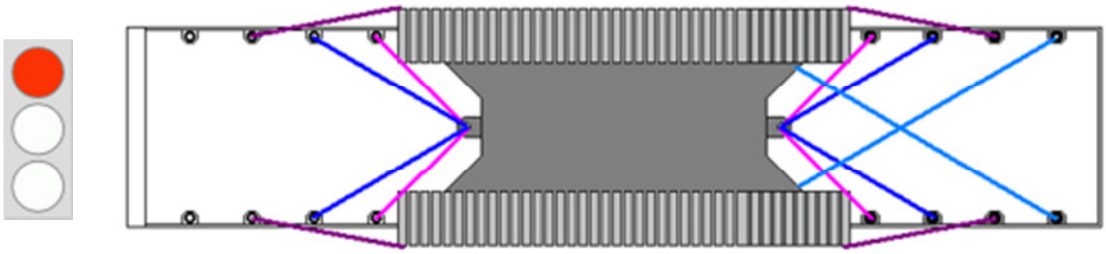
Wird der ursprünglich angesetzte Gleit-Reibbeiwert von $\mu = 0{,}1$ für eine erneute Kalkulation beibehalten, erzeugt die Vertikalkraft von 2.459 daN zusätzliche Reibungskräfte in Höhe von 245,9 daN.

Die horizontalen Sicherungskräfte betragen unter dieser Voraussetzung:

- in Längsrichtung jeweils 2 · 8.196,7 daN + 2 · 245,9 daN
= 16.393,4 daN + 491,8 daN = 16.885,2 daN und
- in Querrichtung jeweils 2 · 5 123,9 daN + 2 · 245,9 daN
= 10.247,8 daN. + 491,8 daN = 10.739,6 daN

Bei den erforderlichen Sicherungskräften gemäß Tabelle 1 von 16.800 daN in Längsrichtung und 9.600 daN in Querrichtung ist der Bagger ausreichend gesichert.

Sicherungen mit mehreren Zurrungen



[Kapt. W. Strauch]

Ergibt sich aufgrund zu schwacher Zurrelemente ein Sicherungsdefizit, liegt der Schluss nahe, mit zusätzlichen Zurrungen dieses Defizit auszugleichen. Dabei besteht aber die Gefahr, dass durch unterschiedliche Zurrlängen - oder gar unterschiedlich gewählte Materialien - ein inhomogenes Sicherungssystem entsteht. Unterschiedliche Längen oder Materialien bedingen unterschiedliche Längenänderungen und Spannungen. Bei einem auftretenden Transportstoß würden sich die Kräfte in den unterschiedlichen Materialien ungleichmäßig aufbauen. Das relativ zu seiner Festigkeit am höchsten beanspruchte Element reißt bzw. bricht zuerst. Die anderen folgen wie bei einem Reißverschluss nach.

Ausgleich eines Sicherungsdefizits durch Reibungserhöhung

Als Lösung bietet sich an, es bei einem einheitlichen Sicherungssystem aus Diagonalzurrungen zu belassen und zusätzlich die Reibung zu erhöhen. Da diese in allen horizontalen Richtungen wirkt, kann ein Sicherungsdefizit damit "unschädlich" ausgeglichen werden.

Als Beispiel wird auf eine der vorher genannten Varianten mit einem Sicherungsdefizit zurückgegriffen - die Reibung wird aber auf $\mu = 0{,}4$ erhöht, weil der Bagger auf ausgelegte Streifen aus rutschhemmendem Material gefahren wird. Die alten Werte pro Kette betrugen:

- Längskraft = 2,76 m : 3,09 m · 10.000 daN = 8.932 daN
- Horizontale Querkraft = 1,25 m : 3,09 m · 10.000 daN = 4.044 daN
- Vertikalkraft = 0,60 m : 3,09 m · 10.000 daN = 1.942 daN

Die Vertikalkraft erzeugt bei einem Gleitreibbeiwert von $\mu = 0{,}4$ zusätzliche Bodenreibungskräfte von 1.942 daN · 0,4 = 776,8 daN.

Der Bagger wird durch eine Kette demnach horizontal wie folgt gesichert:

- Horizontal längs mit 8.932 daN + 776,8 daN = 9.708,8 daN
- Horizontal quer mit 4.044 daN + 776,8 daN = 4.820,8 daN

Insgesamt ergibt sich eine Sicherung des Baggers mit den Werten der folgenden Tabelle

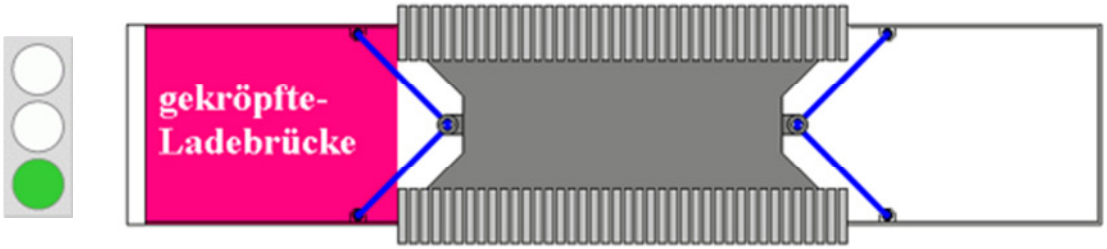
Alle Kräfte in daN in Richtung	Erreichte Sicherung gemäß vorherigen Rechnungen	Erforderliche Sicherungskraft nach Tabelle 1	Differenz minus = fehlend plus = Überschuss
nach vorn	2 · 9.708,8 = 19.417,6	16.800	+ 2.617,6
nach hinten	2 · 9.708,8 = 19.417,6	9.600	+ 9.817,6
seitlich	2 · 4.820,8 = 9.641,6	9.600	+ 41,6

Tabelle 4: Kräftebilanz nach Erhöhung des Gleit-Reibbeiwertes auf μ = 0,4

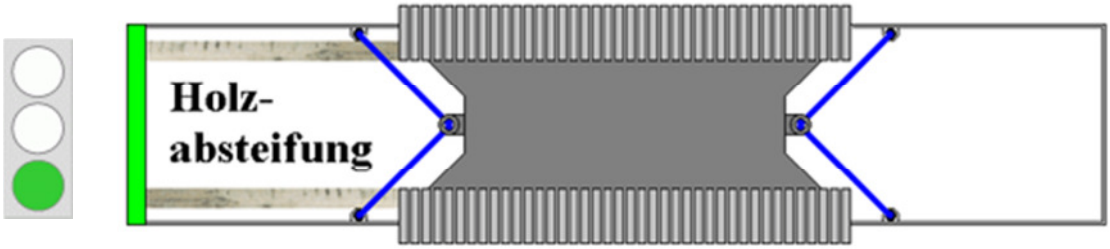
Der Bagger ist ausreichend gesichert.

Ausgleich eines Sicherungsdefizits durch Formschluss an Transportmittelbauteilen

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, in der Richtung des Sicherungsdefizits direkten oder indirekten Formschluss über Transportmittelbauteile herzustellen.



[Kapt. W. Strauch]



[Kapt. W. Strauch]

Können die Längskräfte vom 0,8-fachen der Gewichtskraft (0,8 G) durch Heranfahren an die gekröpfte Ladebrücke oder durch Kanthölzer zwischen Laufketten und einer belastungsfähigen Stirnwand aufgefangen werden, muss nur noch das 0,5-fache der Gewichtskraft (0,5 G) in rückwertiger und seitlicher Richtung durch die Diagonalzurrungen gesichert werden. Aus Gründen der Kräftesymmetrie werden die Zurrungen wie skizziert angebracht - obgleich die Voraussicherung der hinteren Ketten eigentlich nicht benötigt wird. Weil die Ketten am Bagger in 1,25 m Querabstand befestigt sind, wird auch der Längsabstand von 1,25 m gewählt. Anders gesagt: Da die rückwärtigen Beschleunigungen von 0,5 g den Querbeschleunigungen von 0,5 g entsprechen, muss der horizontale Längsabstand dem Querabstand von 1,25 m entsprechen.

Die wirksame horizontale Querkomponente l_{hq} von 1,25 wurde bei der erneuten Verzurrung des Baggers nicht geändert. Auch die wirksame Vertikalkomponente l_v ist mit 0,60 m unverändert. Die notwendige horizontale Längskomponente lhl wurde der Querkomponente angepasst und beträgt jetzt ebenfalls 1,25 m. Durch das Umsetzen der Ketten hat sich die wirksame Länge des Zurrmittels l_w auf 1,87 m verkürzt. Aus diesen Zahlenwerten errechnen sich bei jeder der Zurrketten mit einer zulässigen Zurrkraft (LC = Lashing-Capacity) von 10.000 daN, die auch an mindestens gleich starken Zurrpunkten befestigt sind, die folgenden Sicherungskräfte:

- Horizontale Längskraft = 1,25 m : 1,87 m · 10.000 daN = 6.684,5 daN
- Horizontale Querkraft = 1,25 m : 1,87 m · 10.000 daN = 6.684,5 daN
- Vertikalkraft = 0,60 m : 1,87 m · 10.000 daN = 3.208,6 daN

Wie die folgende Tabelle zeigt, ist der Bagger selbst ohne Berücksichtigung von Reibungskräften ausreichend gesichert:

Alle Kräfte in daN in Richtung	Erreichte Sicherung gemäß vorherigen Rechnungen	Erforderliche Sicherungskraft nach Tabelle 1	Differenz minus = fehlend plus = Überschuss
nach vorn	Formschluss am Fahrzeug und Ketten wie unten	16.800	+ diverse
nach hinten	2 · 6.684,5 = 13.369	9.600	+ 3.769
seitlich	2 · 6.684,5 = 13.369	9.600	+ 3.769

Tabelle 5: Kräftebilanz nach zusätzlichem Formschluss und Umsetzen der Ketten

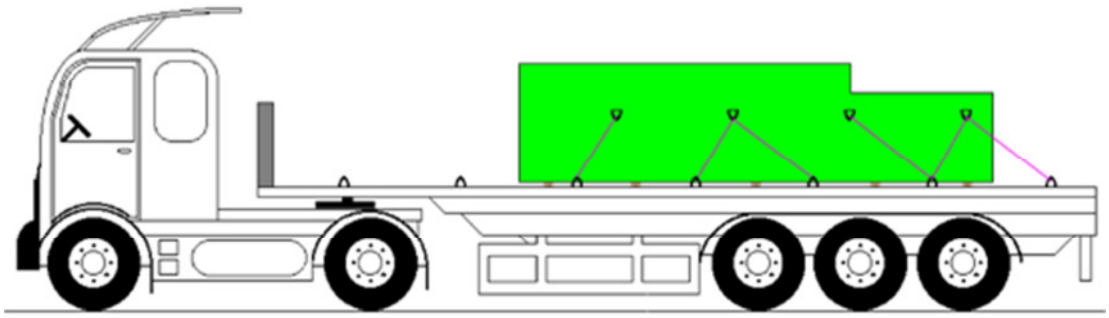
Allgemeine Anmerkung zum Einsatz von Diagonalzurrungen: Da in Vorausrichtung und rückwärtiger Richtung gegen unterschiedlich große Kräfte zu sichern ist, könnten an der Front- und Rückseite von Ladungen unterschiedliche Zurrwinkel gewählt werden. Zu bedenken ist jedoch, dass daraus asymmetrische Sicherungskräfte in Querrichtung entstehen. Besser ist es, für eine Basissicherung von Kräften in Höhe von 50 % der Gewichtkraft in allen

vier Horizontalrichtungen zu sorgen und durch weitere Maßnahmen die restlichen 30 % der Gewichtskraft in Längsrichtung abzufangen, d.h. die Differenz von 0,8 G - 0,5 G.

Wie kann die Attraktivität von Schräg- und Diagonalzurrungen erhöht werden

Generell müssen bei allen formschlüssigen Sicherungen die einzelnen Elemente von ihrem Dehnungsverhalten, ihrer Festigkeit u.a. Faktoren aufeinander abgestimmt sein, damit im weitesten Sinn "homogen" gesichert ist. Dem mit Ladungssicherungsaufgaben betrauten Praktiker wäre es eine große Hilfe, wenn er nicht andauernd "Klimmzüge" machen müsste, um halbwegs vernünftig zu sichern. Das Improvisieren sollte sich nur noch auf wenige exotische Fälle beschränken. Die Erfüllung der folgenden Forderung könnte für einen Großteil der Transporte von Anlage- und Betonteilen, Maschinen, Fahrzeugen u.ä. Ladungen hilfreich sein:

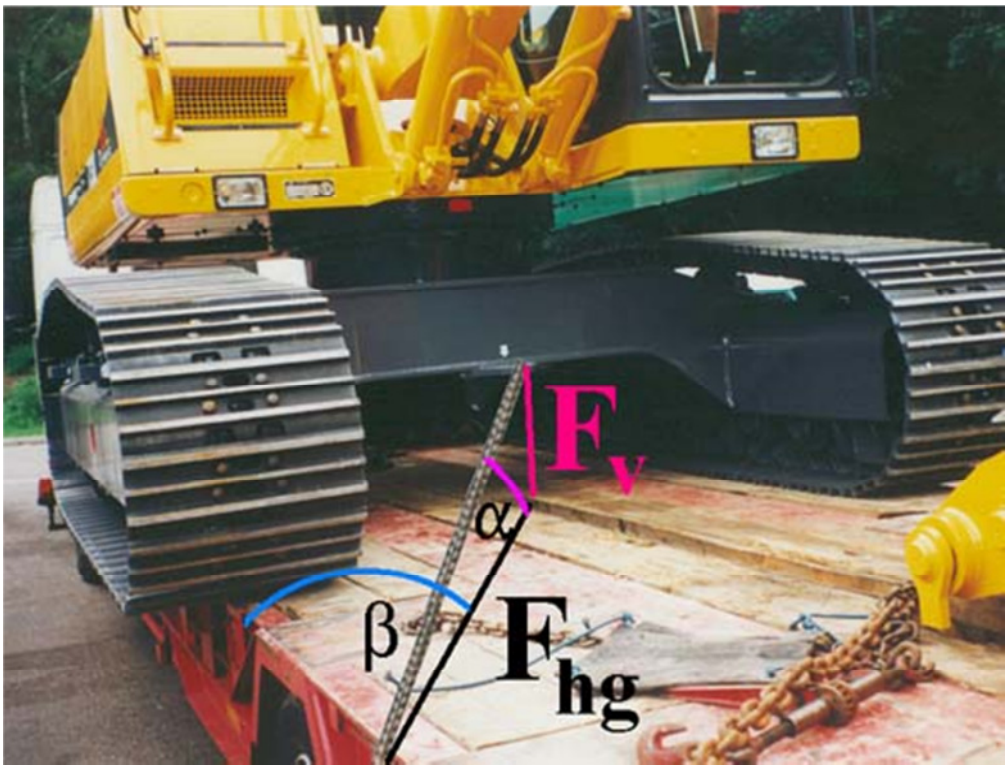
> Die Lashing Capacity sowie Abstände und Höhen angebrachter Zurrpunkte an Gütern und Transportfahrzeugen sind zu normen und einheitlich festzulegen.



[Kapt. W. Strauch]

Der Vorteil ist, dass in jeder Richtung und unabhängig von der Lastverteilung auf dem Fahrzeug jeweils einheitliche Zurrwinkel realisiert werden können. Zusammen mit der Verwendung gleichwertiger Zurrmittel ist ein "homogenes" Verteilen anteiliger Kräfte auf mehrere Zurrungen möglich.

Für diejenigen, die lieber Winkel bestimmen und damit gern rechnen ...



[Kapt. W. Strauch]

Anstelle der bisher praktizierten Rechenmethode kann über den vertikalen Zurrwinkel α die Vertikalkraft F_v mit der folgenden Formel bestimmt werden:

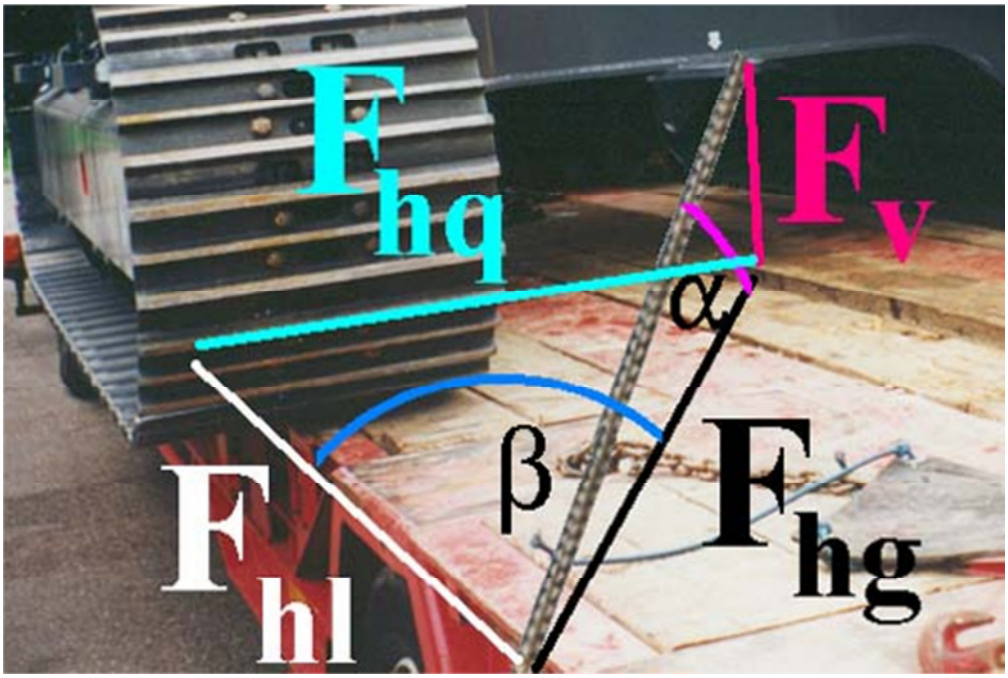
$$F_v = LC \cdot \sin \alpha$$

(in Zahlenwerten, wenn α = 14°: $F_v = LC \cdot \sin \alpha = 10.000\ daN \cdot 0{,}242 = 2.420\ daN$)

Die Gesamthorizontalkraft F_{hg} ist mit folgender Formel zu bestimmen:

$$F_{hg} = LC \cdot \cos \alpha$$

(in Zahlenwerten, wenn α = 14°: $F_{hg} = LC \cdot \cos \alpha = 10.000\ daN \cdot 0{,}970 = 9.700\ daN$)



[Kapt. W. Strauch]

Die horizontalen Querkräfte F_{hq} sind zu berechnen, indem die horizontalen Gesamtkräfte mit dem Sinus des horizontalen Zurrwinkels Beta multipliziert wird. Es gilt die Formel:

$$F_{hq} = F_{hg} \cdot \sin \beta$$

(in Zahlenwerten, wenn $\beta = 32°$: $F_{hq} = F_{hg} \cdot \sin \beta = 9.700 \text{ daN} \cdot 0{,}53 = 5.141 \text{ daN}$)

Die horizontalen Längskräfte F_{hl} berechnen sich aus der Multiplikation der horizontalen Gesamtkräfte mit dem Kosinus des Zurrwinkels Beta. Als Formel:

$$F_{hl} = F_{hg} \cdot \cos \beta$$

(in Zahlenwerten, wenn $\beta = 32°$: $F_{hl} = F_{hg} \cdot \cos \beta = 9.700 \text{ daN} \cdot 0{,}848 = 8.225{,}6 \text{ daN}$)

Eines ist sicher: Diese Methode dauert länger und erfordert das korrekte Messen der jeweiligen Zurrwinkel. Ergebnisse erhält man erst, wenn über eine Zwischenrechnung die horizontalen Gesamtsicherungskräfte bestimmt wurden, die an sich uninteressant sind. Außerdem wird zu bedenken gegeben, dass sich Winkel deutlich ungenauer bestimmen lassen, als die wirksamen Längen der jeweiligen Kraftkomponenten. Der Gebrauch von Tabellen zur schnellen Ermittlung des Ladungssicherungsbedarfs basiert jedoch zumeist auf diesen Formeln und setzt die Bestimmung der Zurrwinkel voraus.