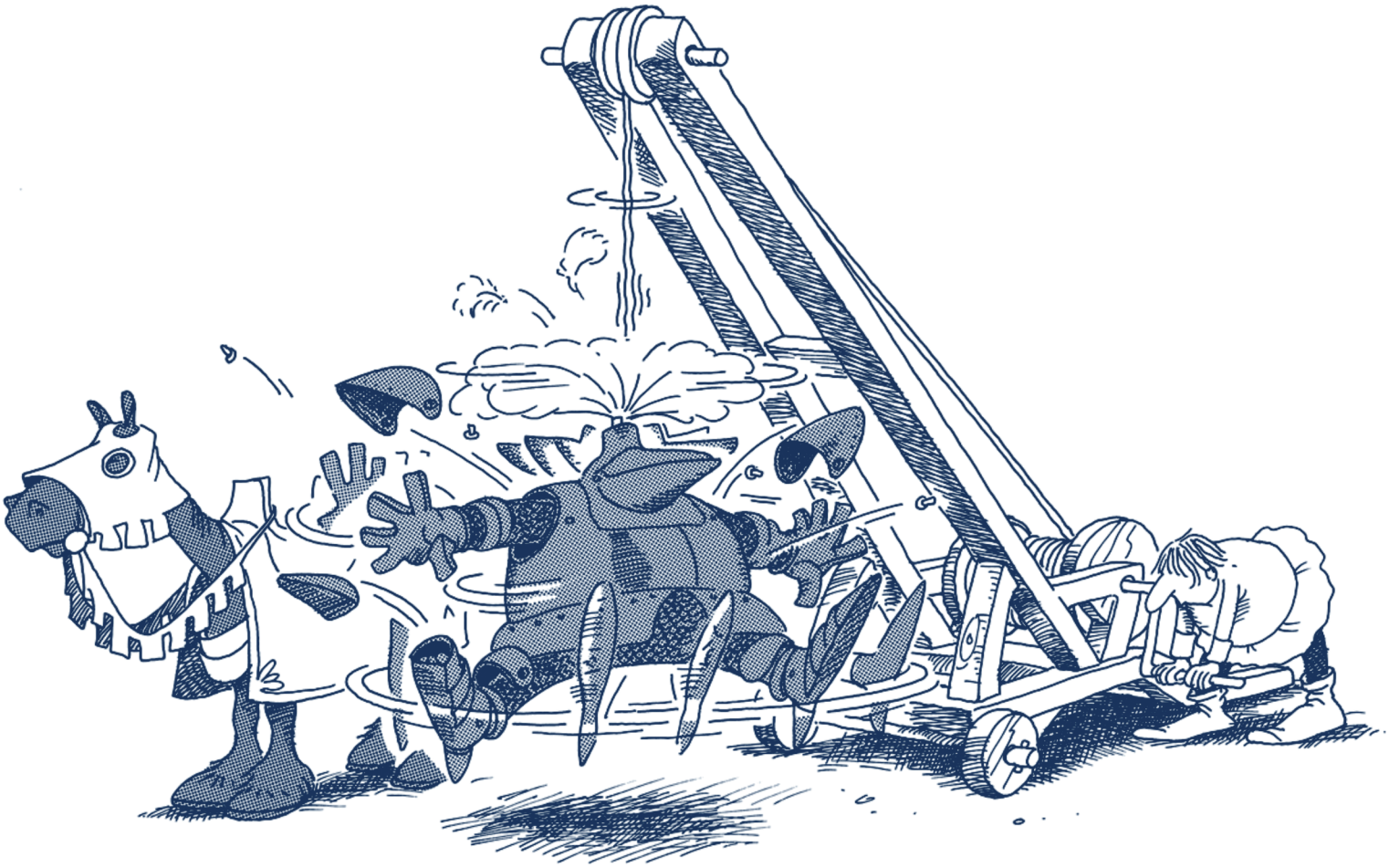
# WIRE ROPE
## TECHNOLOGY AACHEN



# Über das Drehverhalten von Drahtseilen

# Über das Drehverhalten von Drahtseilen

von Dipl.-Ing. Roland Verreet

Inhalt

1. Einleitung ....4
2. Das Drehmoment des nicht-drehungsfreien Seiles....6
3. Der Verdrehwinkel des nicht-drehungsfreien Seiles. ....10
4. Warum dreht ein drehungsfreies Seil unter einer äußeren Belastung nicht? ....12
5. Das Drehmoment des drehungsfreien Seiles. ....13
6. Der Verdrehwinkel des drehungsarmen Seiles. ....15
7. Der Verdrehwinkel des drehungsfreien Seiles. ....17
8. Intermezzo: Warum sind drehungsfreie Spezialseile so drehstabil? ....18
9. Die Stabilität der Hakenflaschen von Kranen. ....20
10. Die Stabilität von Systemen mit zwei Hubwerken. ....27
11. Zwillingshubwerk: ein linkes und ein rechtes Seil oder zwei drehungsfreie [...] 28
12. Die Veränderung des Drehmomentes eines Drahtseiles durch eine [...] ....30
13. Die Verdrehung eines Drahtseiles durch die Seilscheiben. ....33
14. Die Verdrehung eines Seiles durch die Trommel. ....36
15. Die Verdrehung eines Drahtseiles bei der Montage. ....39
16. Warum dürfen nicht-drehungsfreie Drahtseile nicht mit einem Wirbel [....] ....41
17. Warum dürfen Seile der Machart 17x7 und 18x7 nicht mit einem Wirbel [...] ....42
18. Drallaufbau im Seiltrieb durch einen offenen Wirbel ....42
19. Warum dürfen drehungsfreie Seile mit einem Wirbel arbeiten? ....45
20. Warum sollten drehungsfreie Seile mit einem Wirbel arbeiten? ....46
21. Was ist zu tun, wenn sich trotz Verwendung eines Wirbels Drall im [...] ....47
22. Sonderthema: Die Kopplung von Greiferseilen. ....49
23. Erste Hilfe. ....53
24. Schlußbemerkung. ....54

*© 1984, 1990, 1996, 2003, 2013, 2018 Ingenieurbüro für Drahtseiltechnik Wire Rope Technology Aachen GmbH*
*Titel und Cartoons: Rolf Bunse*
*Satz, Layout und Gestaltung: Benedikt Dolzer, Aachen*
*Nachdruck, auch teilweise, nur mit Genehmigung des Verfassers.*

## 1. Einleitung

Um zu ergründen, warum ein Drahtseil überhaupt das Bestreben hat, sich unter Belastung zu verdrehen, betrachten wir zunächst ein Bündel von sechs parallelen Litzen, die um einen Faserkern angeordnet sind (Abb. 1).

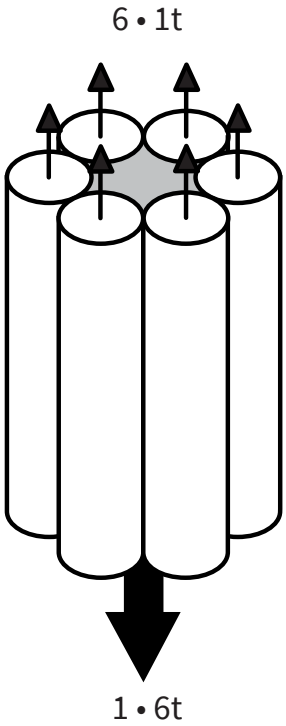



Abb. 1: Litzenbündel

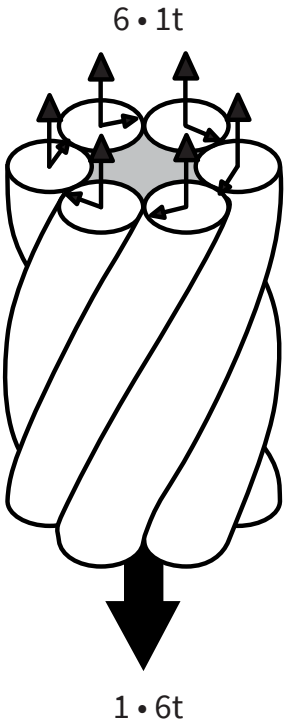



Abb. 2: Geschlagenes Drahtseil

Wenn wir mit Hilfe dieses Bündels eine Last von beispielsweise 6t heben, wird jede Litze mit 1t belastet und gedehnt werden. Der Faserkern nimmt keine Zugkräfte auf.

Beim Lauf über eine Seilscheibe wird das Bündel um seine "neutrale Faser", seine Achse, gebogen. Hierbei werden die außen liegenden Litzen zusätzlich gedehnt und deshalb zusätzlich belastet, die innen liegenden Litzen aber gestaucht und daher zum Teil oder sogar vollständig entlastet (Abb. 3).

Hierbei treten in den Litzen sehr hohe Zugkräfte und große Lastwechsel auf, die zu einem schnellen Versagen des Bündels führen werden.

Betrachten wir nun ein Seil mit 6 Außenlitzen, die helixförmig um einen Faserkern geschlagen wurden (Abb. 2).

Wenn das geschlagene Seil um eine Seilscheibe gebogen wird, liegt jede Litze streckenweise außen, wo sie gedehnt wird, und streckenweise innen, wo sie gestaucht wird. Innerhalb der selben Litze erzeugt die Biegung somit an einer Stelle eine Dehnung (und Zugkräfte) und einige Millimeter weiter eine

Stauchung (und Druckkräfte). Durch leichte Verschiebungen der Litzen aus dem Stauchungsbereich (wo zuviel Material ist) in den Dehnungsbereich (wo Material fehlt) kann ein großer Teil dieser durch die Biegung erzeugten Längenänderungen und Kräfte abgebaut werden (Abb. 4).

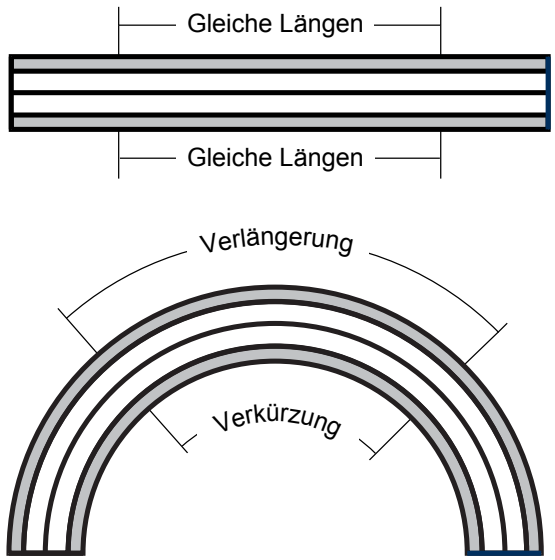



Abb. 3: Längenänderung der Litzen beim Biegen eines Litzenbündels

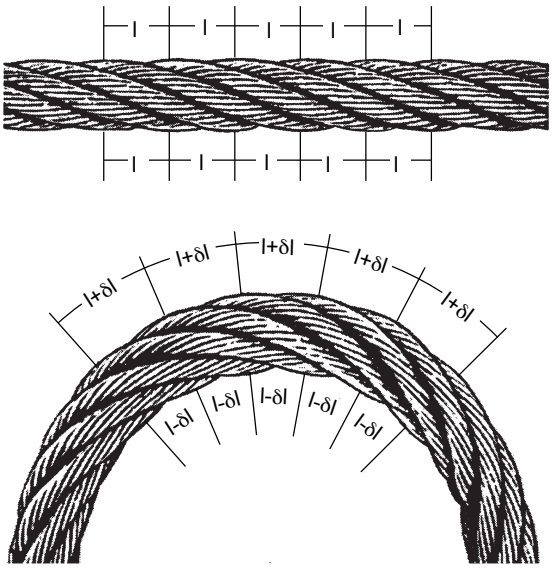



Abb. 4: Spannungsabbau im Seil

Aus diesem Grund ist ein geschlagenes Drahtseil einem Litzenbündel beim Lauf über Seilscheiben in Bezug auf die Lebensdauer deutlich überlegen.

Für dieses bessere Biegeverhalten muß der Anwender aber einen hohen Preis zahlen: Wenn wir mit Hilfe des geschlagenen Seiles nach Abb. 2 eine Last von 6t heben, wird in jeder Litze aufgrund ihrer Neigung zur Seilachse eine Kraft Fa geweckt, die größer ist als beim Bündel. Sie beträgt etwa 1,06t (Abb. 5).

Die gleiche äußere Belastung führt also im geschlagenen Seil zu einer Belastung jeder einzelnen Litze, die höher ist als beim Bündel.
Schwerwiegender ist aber die Tatsache, daß durch eine äußere Kraft nun in jeder Litze eine tangential am Seil angreifende Kraftkomponente Fc geweckt wird. Diese Kraftkomponente bildet mit dem Hebelarm R zum Seilmittelpunkt ein Drehmoment, welches versuchen wird, das Drahtseil um seine eigene Achse zu verdrehen (Abb. 6). Mit den hierdurch entstehenden Problemen befaßt sich diese Broschüre.

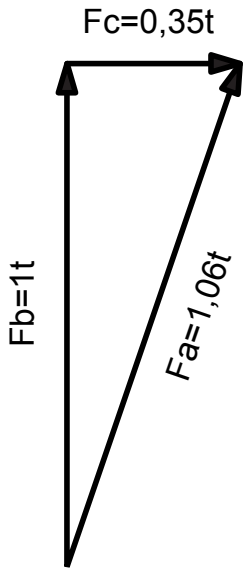



Abb. 5: Kraftkomponenten der Litzen

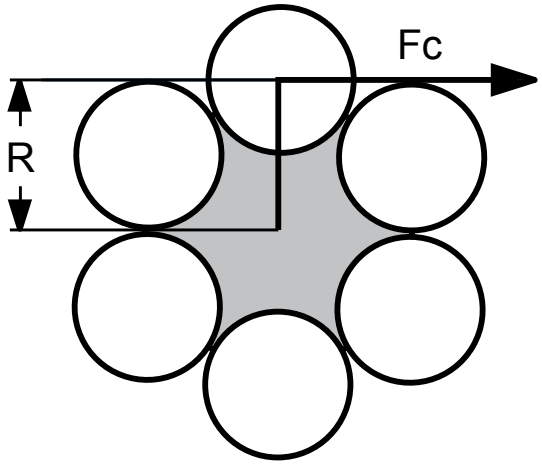



Abb. 6: Das Drehmomment des Seiles

## 2. Das Drehmoment des nicht-drehungsfreien Seiles.

Die Summe der Produkte aus den tangentialen Kraftkomponenten der Litzenkräfte Fci und ihren Hebelarmen Ri ergibt das Drehmoment eines Drahtseiles. Im Falle des sechslitzigen Seiles aus Abb. 6 errechnet sich das Drehmoment zu:

$$M = 6 \cdot Fc \cdot R$$

Bei mehrlagigen Drahtseilen ist die Berechnung der Drehmomente wegen der ungenügenden Kenntnis der Kraftverteilung über dem Belastungsspektrum nicht mehr mit einer hinreichenden Genauigkeit durchzuführen, so daß hier die Drehmomente experimentell in Abhängigkeit von der Last bestimmt werden sollten.

Die Versuche werden in folgender Weise durchgeführt: Das zu prüfende Drahtseil wird in der Zugprüfmaschine mit dem einen Ende fest eingespannt, das andere Ende wird in einem Meßkopf verankert, der das Torsionsmoment in Abhängigkeit von der Zugbeanspruchung erfassen kann. Durch den Aufbau des Meßkopfes und die Schaltung der Aufnehmer werden eventuell auftretende Biege- und Temperatureinflüsse kompensiert.

Die Konstruktion des Meßkopfes erlaubt eine definierte Verdrehung des Seiles vor Versuchsbeginn, so daß die Meßkurven auch für verschiedene Verdrehungszustände des Seiles ermittelt werden können.

Während der gesamten Dauer des Belastungsversuches werden die Meßwerte für Zugkraft, Drehmoment, Seildehnung und weiter interessierende Größen, zum Beispiel der effektive Seildurchmesser oder die Zugbeanspruchung einzelner Drähte, erfaßt und in einen Rechner eingelesen. Die so erfaßten Daten können während des

Versuches in der gewünschten Abhängigkeit geplottet oder nach Beendigung des Versuches ausgewertet werden.
Die wesentlichen Einflußfaktoren auf das Drehmoment eines Drahtseiles sollen nun anhand zweier Beispiele erläutert werden:

### 2.1. Beispiel 1:

Ein Drahtseil vom Durchmesser 10mm und ein Drahtseil gleicher Machart vom Durchmesser 20mm werden mit der gleichen Last beaufschlagt. Welches Seil entwickelt das höhere Drehmoment?

Man ist geneigt, voreilig zu antworten, das Seil vom Durchmesser 20mm werde das geringere Drehmoment aufweisen, da es etwa die vierfache Bruchlast des dünneren Seiles hat und deshalb spezifisch erheblich geringer belastet wird. In Wirklichkeit zeigt aber das stärkere Seil exakt das doppelte Drehmoment des dünneren.

Die Erklärung ist sehr einfach: Die äußere Last bewirkt in beiden Seilen wegen der gleichen Seilaufbauten und der gleichen Flechtwinkel die gleichen Kraftkomponenten Fc in tangentialer Richtung. Im Seil vom Durchmesser 20mm besitzt jedoch diese Kraftkomponente Fc den doppelten Hebelarm (Abb. 7). Gleiche Kraft • doppelter Hebelarm = doppeltes Drehmoment.

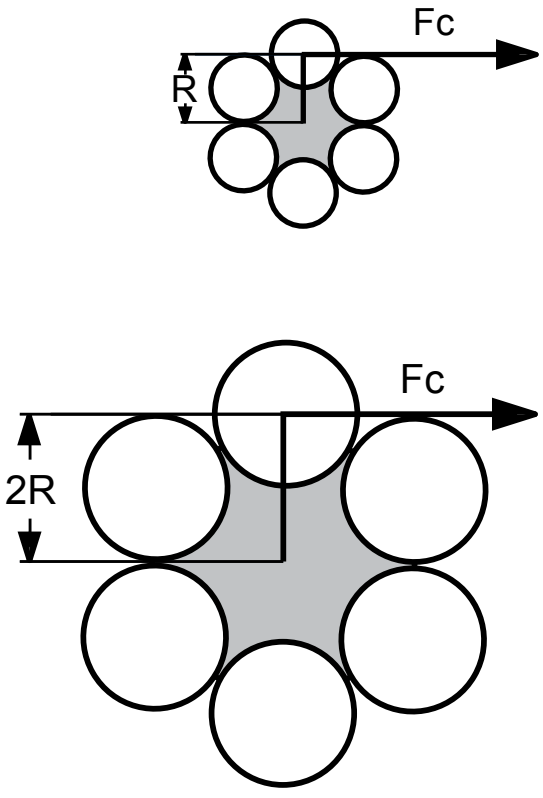



Abb. 7: Der Einfluß des Seilnenndurchmessers auf das Drehmomment

Aus diesem Sachverhalt kann folgende Regel abgeleitet werden:

***Das Drehmoment einer Seilmachart***
***wächst linear mit dem Seildurchmesser.***

Für die Praxis bedeutet dies:

***Je dünner das Seil, desto***
***drehstabiler das System.***

Dies ist ein eindeutiger Pluspunkt für Drahtseile mit einem hohen Metallquerschnitt und mit einer hohen Drahtnennfestigkeit.

### 2.2. Beispiel 2:

Zwei Seile gleichen Durchmessers werden mit Lasten von 1t und von 2t beaufschlagt. Wie beeinflussen die unterschiedlichen Belastungen die Drehmomente der Seile?

Die doppelt so große äußere Last erzeugt im zweiten Seil eine exakt doppelt so große Kraftkomponente Fc wie im ersten Seil (Abb. 8).

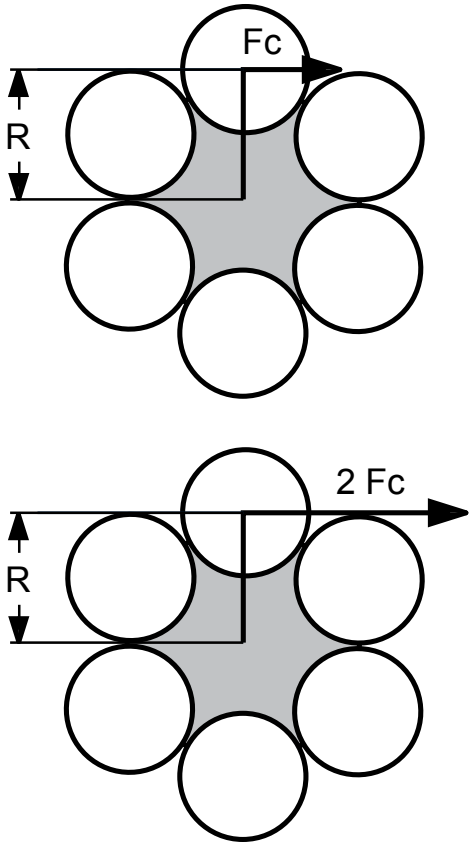



Abb. 8: Der Einfluß der Belastung auf das Seildrehmoment

Bei gleichem Hebelarm R ergibt sich hieraus für das doppelt so stark belastete Seil exakt das doppelte Drehmoment. Aus diesem Sachverhalt kann die folgende Regel abgeleitet werden:

***Das Drehmoment eines nicht-drehungsfreien Seiles wächst linear mit der äußeren Last.***

Wir haben also mittels dieser beiden einfachen Beispiele festgestellt, daß das Drehmoment eines Drahtseiles linear abhängt vom Seildurchmesser und der äußeren Belastung:

***Das Drehmoment ist proportional zum Produkt Last • Durchmesser***

Weiterhin ist das Drehmoment eines Seiles natürlich abhängig von seinem Aufbau, das heißt von der Litzenzahl und den Macharten der Litzen, von den Schlaglängen und von der Schlagart (Kreuzschlag oder Gleichschlag). So ist beispielsweise in einem einlagigen Drahtseil die Kraftkomponente

$$Fc = Fa \cdot \sin \alpha$$

umso größer, je größer der Flechtwinkel α, das heißt, je kürzer die Schlaglänge des Seiles ist.

Der Einfluß dieser Größen kann in einem Faktor k zusammengefaßt werden. k stellt somit eine charakteristische Größe für die jeweilige Seilmachart dar.

Unsere Gleichung für das Drehmoment eines Seiles nimmt dann folgende Form an:

$$\text{Seildrehmoment} = k \cdot \text{Last} \cdot \text{Seilnenndurchmesser}$$

$$M = k \cdot P \cdot d$$

Abb. 9 zeigt die Faktoren k für verschiedene Casar Spezialdrahtseile.

Aus dem Bestreben von Gleichschlagseilen, sich im unbelasteten Zustand bei freiem Seilende stark zu entdrallen, wird oft gefolgert, daß diese Seile auch unter Last bei festen Seilenden ein höheres Drehmoment entwickeln. Dies ist nicht immer der Fall.

Die Drehmomente von Spezialdrahtseilen in Gleichschlagmachart liegen in der Regel niedriger als die Drehmomente von Kreuzschlagseilen gleicher Machart. Für DIN-Seile ist häufig das Gegenteil richtig.

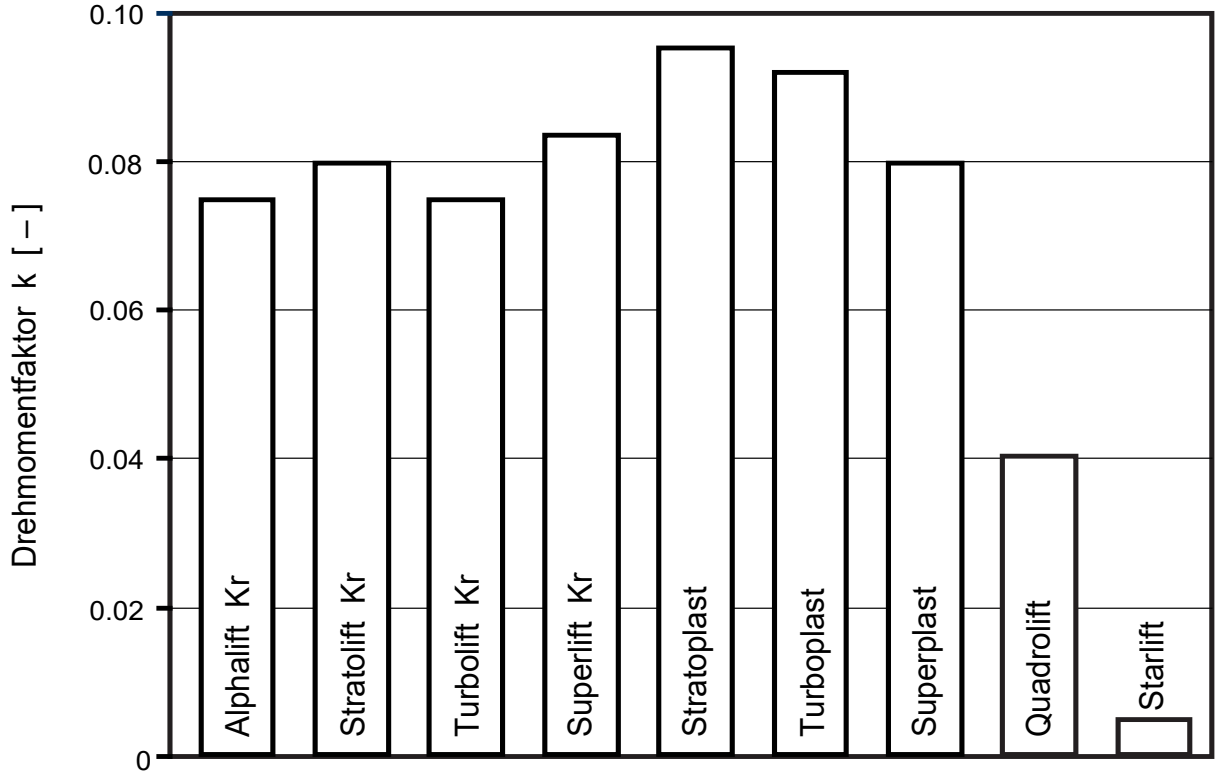



Abb. 9: Drehmomentfaktoren k verschiedener Spezialdrahtseile

## 3. Der Verdrehwinkel des nicht-drehungsfreien Seiles.

Ein nicht-drehungsfreies Seil wird unter Last immer versuchen, sein Drehmoment durch Schlagverlängerung, d. h. durch Aufdrehen um seine eigene Achse, abzubauen. Durch einen Belastungsversuch mit freier Drehbarkeit eines Seilendes kann der Verdrehwinkel ermittelt werden, unter dem sich das durch die jeweilige Last geweckte Drehmoment zu Null abgebaut hat.

Einige Prüfmaschinen erlauben es, neben anderen wichtigen Kennwerten wie beispielsweise Zugkraft und Dehnung auch den Verdrehwinkel mittels eines Präzisionspotentiometers während der gesamten Versuchsdauer zu messen und in einen Rechner einzulesen. Während oder nach dem Versuch können Diagramme mit dem Verdrehwinkel über der Last oder mit dem Verdrehwinkel über der Dehnung gezeichnet werden.

Abb. 10 zeigt den Verdrehwinkel pro Längeneinheit für verschiedene Seilkonstruktionen bei freier Drehbarkeit eines Seilendes (Belastungsversuch auf Wirbel).

Der Vergleich eines Kreuzschlag- und eines Gleichschlagseiles der Machart Casar Stratolift ergibt wiederum für das Gleichschlagseil die bessere Drehstabilität.

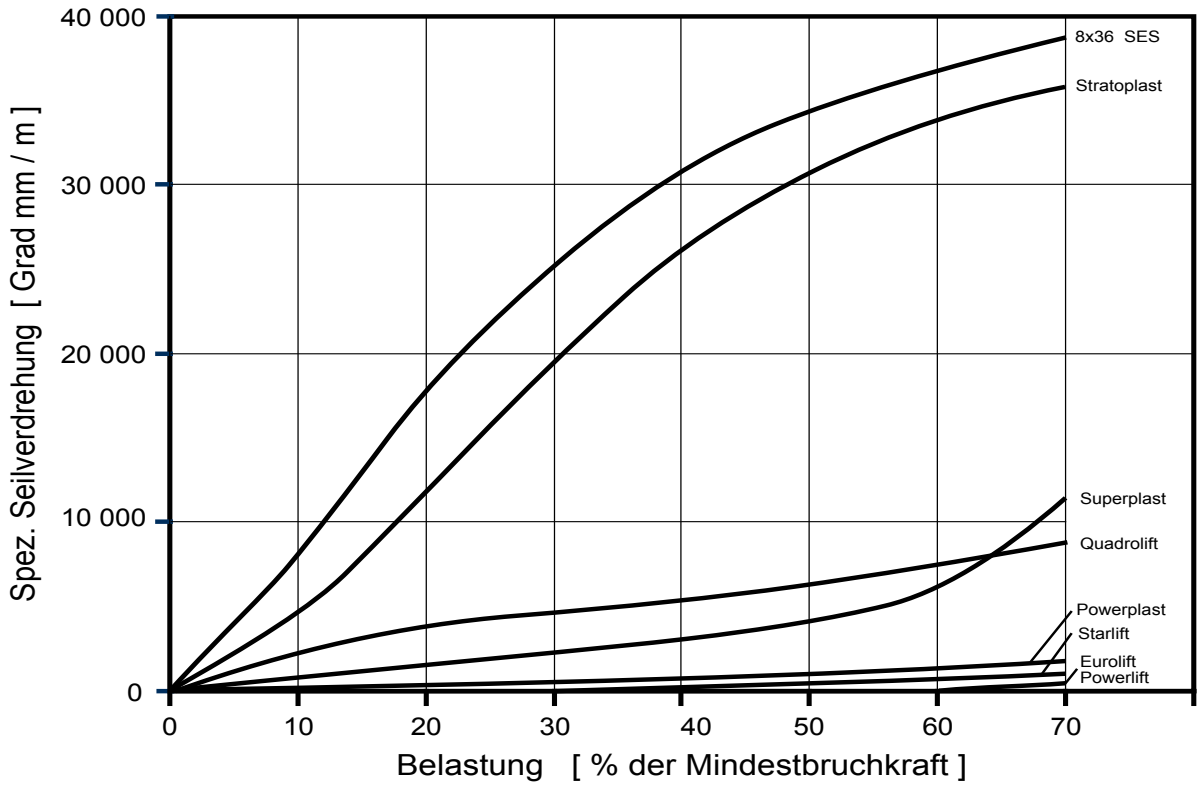



Abb. 10: Verdrehwinkel unter Last verschiedener Seilkonstruktionen

Bei freier Drehbarkeit dieser Seile, also beispielsweise bei Befestigung auf einem Wirbel, würde keines dieser Seile seine Mindestbruchkraft erreichen. Das Kreuzschlagseil würde bei etwa 75 % seiner Mindestbruchkraft reißen, das Gleichschlagseil sogar schon bei etwa 40 %. Dieser Sachverhalt erklärt einen der Gründe, warum nicht-drehungsfreie Seile nicht mit einem Wirbel eingesetzt werden dürfen: Die wirkliche Sicherheit im Seiltrieb ist durch die Verwendung eines Wirbels mit nicht drehungsfreien Seilkonstruktionen enorm herabgesetzt.

Bei Be- und Entlastung würden diese Seile zudem ständig auf- und zudrehen und wären somit einem starken inneren Verschleiß und einer enormen Materialermüdung ausgesetzt.

Dies ist ein weiterer Grund, der den Einsatz eines Wirbels mit nicht- drehungsfreien Seilmacharten verbietet.

## 4. Warum dreht ein drehungsfreies Seil unter einer äußeren Belastung nicht?

Das Grundprinzip drehungsfreier Seile besteht darin, auf ein Kernseil eine gegenläufig geschlagene Außenlage aufzubringen, deren Drehmoment dem des Kernseiles entgegengesetzt ist und dieses im Idealfall völlig zu Null kompensiert.

Abb. 11 zeigt das Querschnittsbild eines Seiles der Machart 18x7. In diesem Seil wirken die in den sechs Kernseillitzen durch eine äussere Last geweckten Tangentialkräfte Fc mit dem Hebelarm R in die eine Richtung, die in den zwölf Außenlitzen geweckten Tangentialkräfte entgegengesetzt mit dem Hebelarm 2•R.

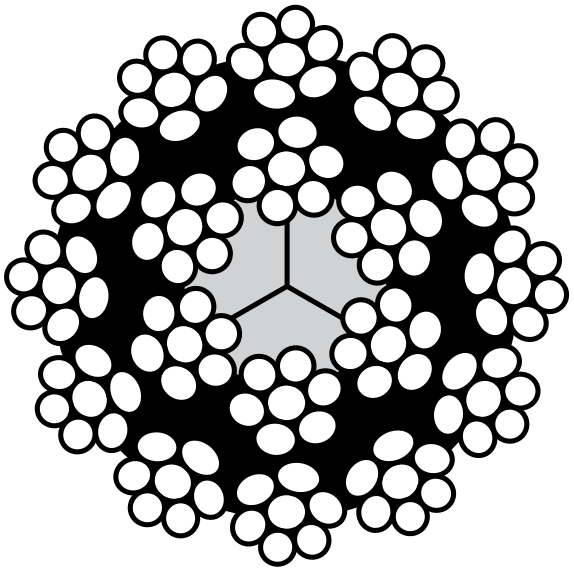


Abb. 11: Drahtseil 18x7

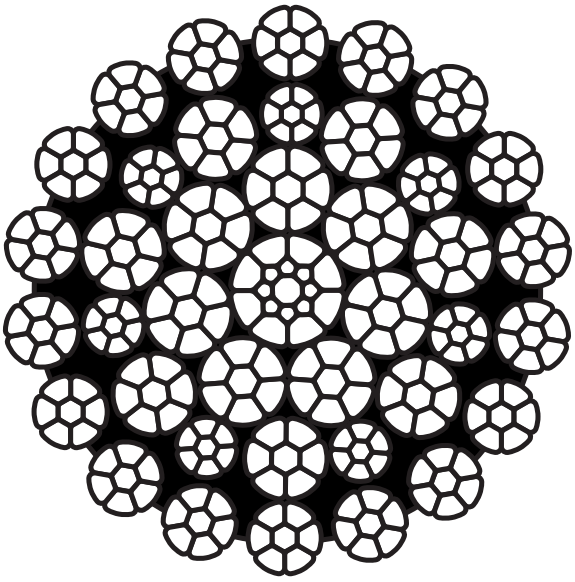


Abb. 12: Casar Powerlift

Unter der Voraussetzung, daß die Litzen gleichartig beansprucht sind (und sie sollten gleich beansprucht sein!), und daß somit auch die Komponenten Fc in Tangentialrichtung des Kernseiles und der Außenlage gleich groß sind, ergibt sich hier ein Drehmomentverhältnis von

$$6 \cdot Fc \cdot R : 12 \cdot Fc \cdot (2 \cdot R)$$

Das Momentenverhältnis beträgt also

$$6 : 24$$

Wäre das Kernseil in der gleichen Richtung geschlagen wie die Außenlage, ergäbe sich ein Drehmoment des Seiles von

$$12 \cdot Fc \cdot (2 \cdot R) + 6 \cdot Fc \cdot R = 30 \cdot Fc \cdot R$$

Da sich hier aber durch die gegenläufige Verseilung des Kernseiles die Drehmomente subtrahieren, erhalten wir als resultierendes Drehmoment

$$12 \cdot Fc \cdot (2 \cdot R) - 6 \cdot Fc \cdot R = 18 \cdot Fc \cdot R$$

Rein rechnerisch ergibt sich also durch das gegenläufige Schlagen des Kernseiles eine Reduktion des Drehmomentes auf immer noch 60 % des Wertes der gleichsinnigen Verseilung.

Es versteht sich von selbst, daß ein Drahtseil mit einem solch großen verbleibenden Drehmoment auf keinen Fall drehungsfrei, sondern bestenfalls drehungsarm sein kann.

Abb. 12 zeigt den Querschnitt eines Spezialseils der Machart 40xK7.

Hier erzeugen im Kernseil 21 Litzen ein Drehmoment in der einen Richtung, während in der Außenlage nur 18 Litzen ein entgegengesetztes Moment erzeugen. Den Nachteil ihrer kürzeren Hebelarme kompensieren die Kernseillitzen durch ihre zahlenmäßige Überlegenheit und ihre höheren Metallquerschnitte und daraus resultierend durch größere Kraftkomponenten Fc. Auf diese Weise wird es möglich, im Seil für einen extrem großen Lastbereich die Drehmomente von Kernseil und Außenlage zu kompensieren.

Im Versuch zeigen Seile der Machart 40xK7 erst bei Lasten von mehr als 60% ihrer Mindestbruchkraft eine schwache Drehneigung.

## 5. Das Drehmoment des drehungsfreien Seiles.

Wir haben oben eine Gleichung zur Bestimmung des Drehmomentes eines Seiles hergeleitet:

$$Seildrehmoment = k \cdot Last \cdot Seilnenndurchmesser$$

$$M = k \cdot P \cdot d$$

Die linke Seite der Gleichung, das Drehmoment, wird genau dann zu Null, wenn einer der drei Faktoren der rechten Seite zu Null wird.

Zunächst besagt dies, daß das Drehmoment Null ist, wenn die äußere Last Null ist. Dies spricht für sich. Ferner wird das Drehmoment Null, wenn der Seildurchmesser Null wird. Da dann auch die Bruchkraft Null würde, hilft uns dies allerdings nicht weiter. Das Ziel für den Hersteller eines drehungsfreien Seiles muß es also sein, den Faktor k durch geschickte Wahl der Seilgeometrie zu Null zu machen.

Abb. 13 zeigt die Faktoren k verschiedener drehungsarmer und drehungsfreier Drahtseile in Abhängigkeit von der Last. Wie man sieht ist der Versuch, den k- Faktor von 18x7 zu Null zu machen, nur sehr unvollkommen gelungen. Mit einem Wert für k von 0,055 entspricht er etwa 60% des Wertes nicht-drehungsfreier Seile (und bestätigt damit unsere obige Rechnung).

Die Werte für Seile der Machart 35xK7 und 40xK7 bewegen sich über das gesamte Lastspektrum nahezu ideal um Null.

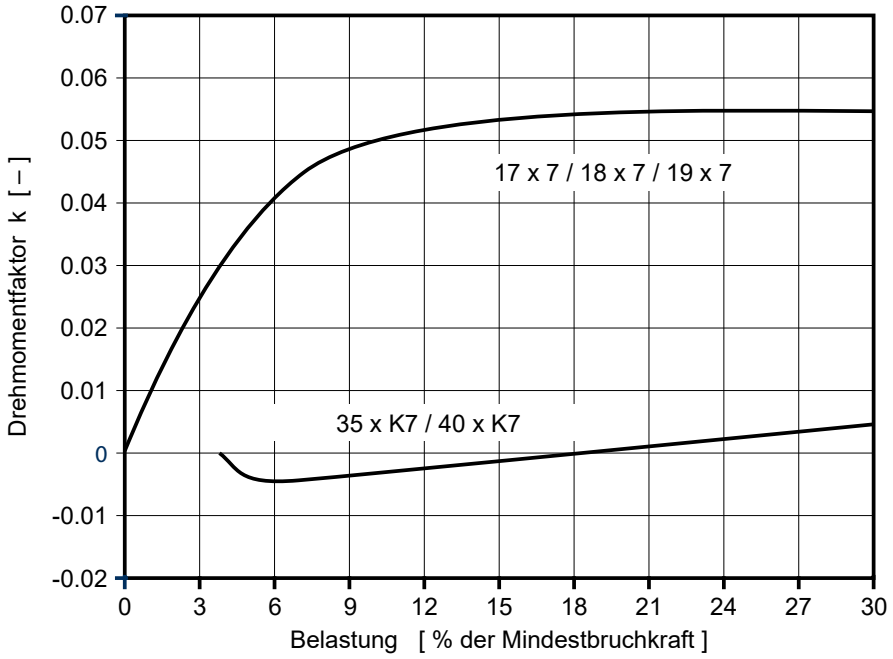



Abb. 13: Drehmomentfaktoren verschiedener Drahtseilkonstruktionen in Abhängigkeit von der Belastung

## 6. Der Verdrehwinkel des drehungsarmen Seiles.

Ein Drahtseil ist dann drehungsarm, wenn sich die durch eine äußere Belastung im Seil geweckten Drehmomente von Kernseil und Außenlitzen nahezu vollständig aufheben. Ein derartiges Seil wird sich bei freier Drehmöglichkeit unter Belastung nur geringfügig verdrehen, bis sich ein neuer Gleichgewichtszustand zwischen den Drehmomenten von Außenlage und Kernseil eingestellt hat.

Überwiegt beispielsweise das Drehmoment der Außenlage, so dreht sich das Seil bei freier Drehmöglichkeit auf und vergrößert die Schlaglänge der Außenlage. Gleichzeitig wird jedoch das gegenläufig geschlagene Kernseil zugedreht und die Schlaglänge des Kernseiles verkürzt. Die Verlängerung der Außenlage führt zu ihrer Entlastung und zur Verringerung ihres Drehmomentes, die gleichzeitige Verkürzung des Kernseiles führt zu dessen zusätzlicher Belastung und zur Vergrößerung seines Drehmomentes.

Durch immer weitere Seilverdrehung nimmt das Drehmoment der Außenlage so lange ab und das Drehmoment des Kernseiles so lange zu, bis sich ein Momentengleichgewicht eingestellt hat.

Wenn bis zum Erreichen dieses Momentengleichgewichtes Seilverdrehungen erforderlich sind, führt die so erzeugte Verlängerung der Außenlage bei gleichzeitiger Verkürzung des Kernseiles zu einer Umverteilung der Kräfte und Drehmomente. In dem neu gefundenen Gleichgewichtszustand ist dann das Kernseil deutlich überproportional an der Lastaufnahme beteiligt.

So finden auch nicht völlig drehungsfreie Seile, beispielsweise Seile der Macharten 17x7, 18x7, 17x19 und 18x19 trotz des im unverdrehten Zustand gemessenen sehr hohen Drehmomentes, nach einer gewissen Seilverdrehung ein Momentengleichgewicht. Wie wir aber gesehen haben, ist dieses Gleichgewicht nur möglich bei einer stark überproportionalen Belastung des Kernseiles und einer stark unterproportionalen Beanspruchung der Außenlitzen.

Dies hat für die Praxis weitreichende Folgen: Seile der Macharten 17x7, 18x7, 17x19 und 18x19 und ihre verdichteten Varianten neigen zu einem stärkeren Verschleiß und zu Drahtbrüchen im nicht kontrollierbaren, hochbeanspruchten Kernseil, insbesondere an den Stellen, wo die Aussenlitzen die Litzen des Kernseiles überkreuzen und zusätzlich hohe Pressungen auf sie ausüben. Die Zerstörung der Seile bei fortschreitender Ermüdung erfolgt also zunächst innen und somit von außen nicht kontrollierbar.

Gleichzeitig vermitteln aber die allein bei einer Sichtkontrolle inspizierbaren, kaum beanspruchten Außenlitzen bei einer Seilinspektion immer einen guten Eindruck. Die Folge ist, daß mit diesen Seilkonstruktionen häufig Seilbrüche auftreten, ohne daß sich die für das Ablegen der Seile erforderliche Zahl von äußeren Drahtbrüchen eingestellt hätte.

Bei freier Seildrehung kann in einem nicht völlig drehungsfreien Drahtseil ein Gleichgewicht der Drehmomente nur durch ein Verwürgen des Kernseiles hergestellt werden. Dies führt dazu, daß im Belastungsversuch bei frei drehbarem Seilende das stark überproportional belastete Kernseil vorzeitig reißt. Daher erzielen Seile der Macharten 17x7, 18x7, 17x19 und 18x19 und ihre verdichteten Varianten im Ganzzerreißversuch auf Wirbel lediglich maximal 70% ihrer Mindestbruchkraft. Abb. 14 zeigt die Bruchkräfte verschiedener Seile im Belastungsversuch mit frei drehbarem Wirbel.

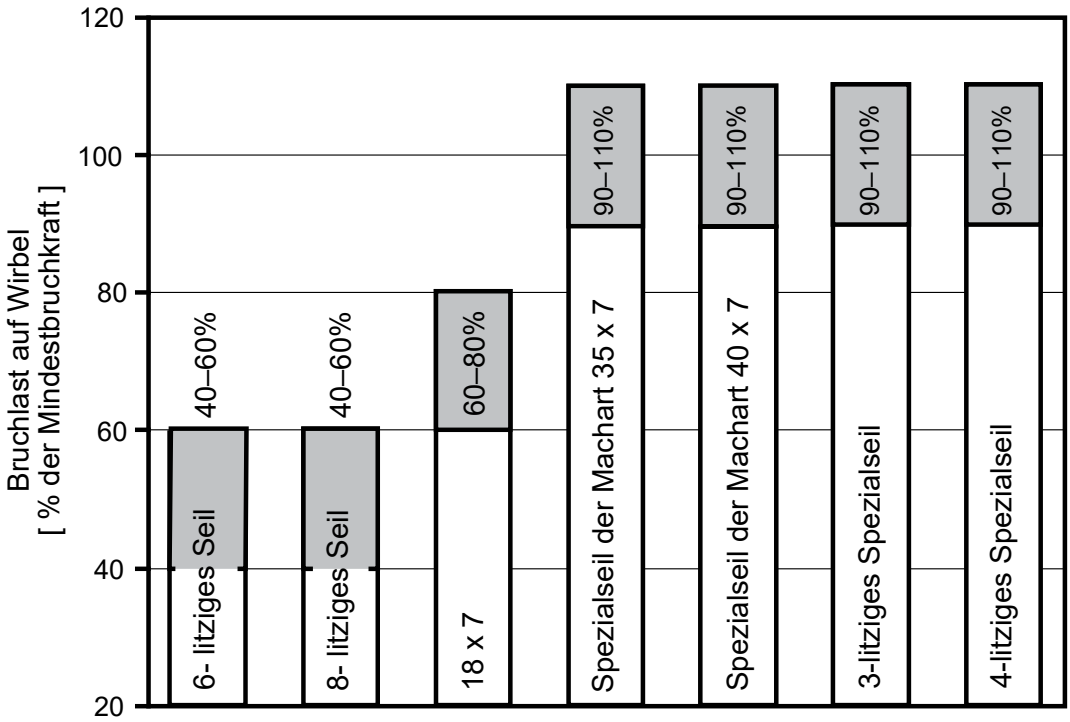



Abb. 14: Bruchkräfte verschiedener Drahtseilkonstruktionen im Belastungsversuch mit offenem Wirbel

## 7. Der Verdrehwinkel des drehungsfreien Seiles.

Ein Drahtseil ist dann drehungsfrei, wenn sich die durch eine äußere Belastung im Seil geweckten Drehmomente von Kernseil und Außenlitzen exakt aufheben. Ein derartiges Seil wird sich bei freier Drehmöglichkeit unter Belastung nicht verdrehen.

Bei ausgewogenem Querschnitts- und Hebelarmverhältnis, wie beispielsweise bei 35xK7 oder 40xK7, zeigt sich bis zu sehr hohen Lasten keinerlei Drehbestreben des Seiles. Es werden nur äußerst kleine Drehmomente geweckt, die sich bereits durch kaum meßbare Drehungen wieder zu Null abbauen können. Die Homogenität der Lastverteilung wird also bei diesen Seilen nicht gestört, so daß diese Seile im Ganzzerreißversuch bei freier Drehmöglichkeit eines Seilendes ihre volle Mindestbruchkraft erreichen. Abb. 15 zeigt die Verdrehung von Drahtseilen der Macharten 18x7 und einiger Spezialseile in Abhängigkeit von der Belastung.

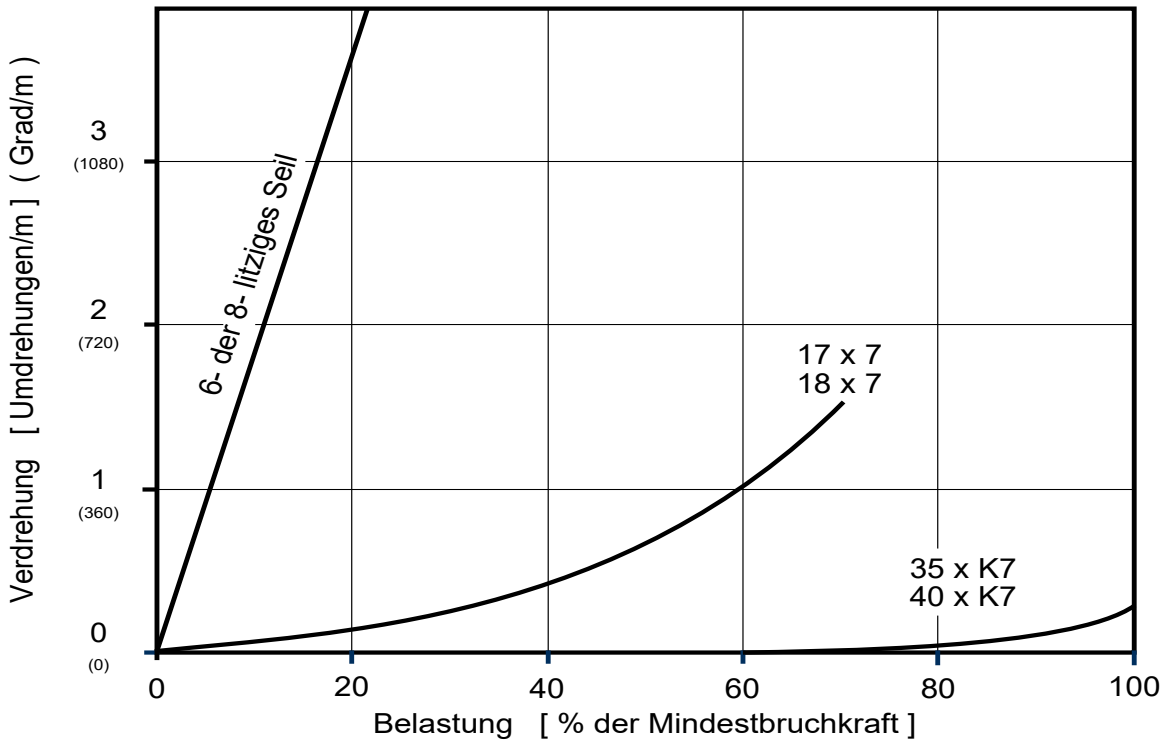



Abb. 15: Verdrehwinkel verschiedener Drahtseilkonstruktionen im Belastungsversuch mit offenem Wirbel

Es sollte hier ausdrücklich erwähnt werden, daß Spezialseile der Macharten 35xK7 und 40xK7 ohne Einbuße an Sicherheit mit einem Wirbel eingesetzt werden können. Bei diesen Seilen wird der Einsatz eines Wirbels sogar empfohlen, damit sich ein Drall, der sich im Seiltrieb aufgebaut hat, am Wirbel ausdrehen kann.

## 8. Intermezzo: Warum sind drehungsfreie Spezialseile so drehstabil?

Die Litzen eines Drahtseiles liegen unter einem gewissen Winkel zur Seilachse. Unter Last versuchen die Litzen, sich in Richtung der Seilachse auszurichten, indem sie das Drahtseil um seine eigene Achse verdrehen.

Der Seilhersteller versucht nun, das Drahtseil dadurch drehstabil zu gestalten, daß er die Außenlitzen des Seiles entgegengesetzt zur Richtung der innenliegenden Litzen verseilt. Dann versuchen nämlich die Außenlitzen das Drahtseil in der einen Richtung, und die innenliegenden Litzen das Drahtseil in der anderen Richtung zu verdrehen.

Die Außenlitzen sind in Hinblick auf die Seilverdrehung klar im Vorteil, denn sie liegen weiter vom Seilmittelpunkt entfernt und besitzen somit den größeren Hebelarm.

Wir können dies vergleichen mit einem Wettkampf, bei dem zwei Gruppen versuchen, ein Drehkreuz in entgegengesetzten Richtungen zu verdrehen. Es ist ein sehr unfairer Wettkampf, denn die eine Gruppe greift außen am Drehkreuz an und hat somit einen erheblich größeren Hebelarm als ihre innen angreifenden Gegner (Abb. 16).

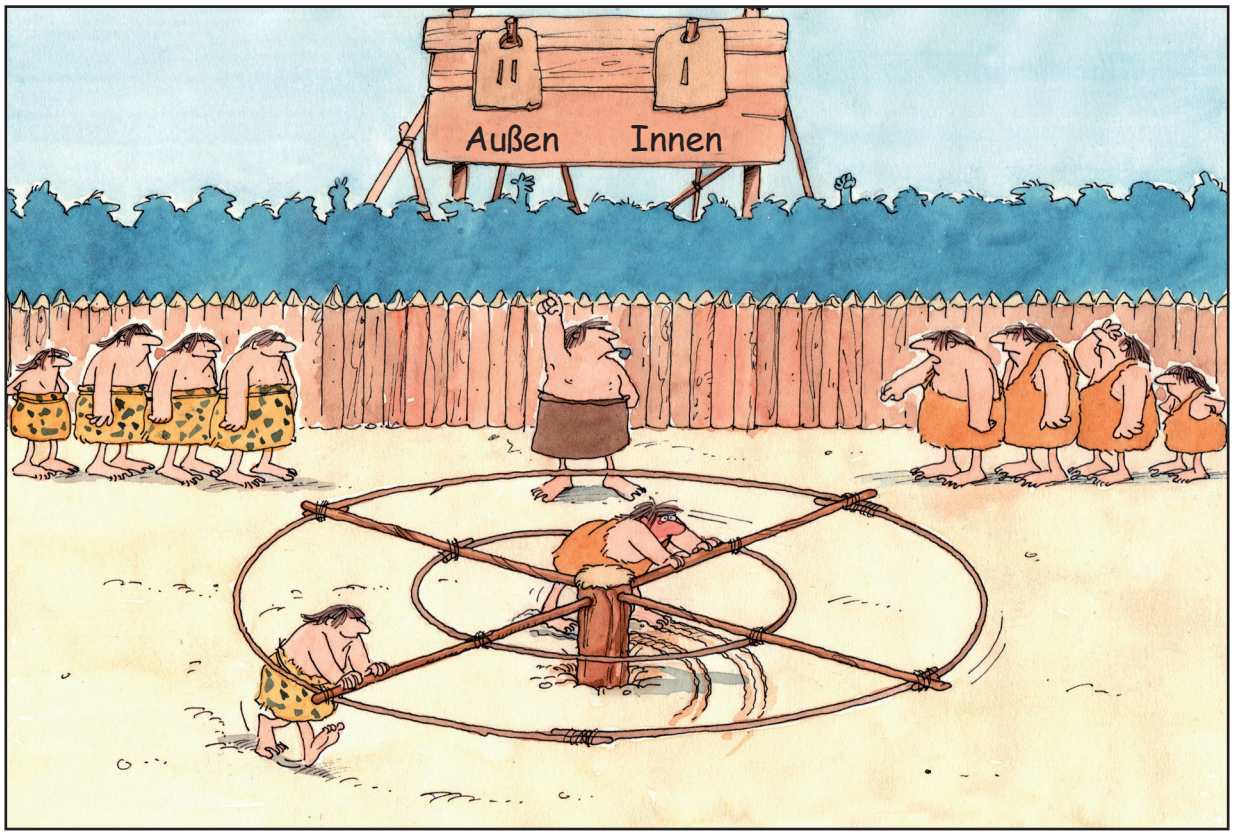



Abb. 16: Die Außenlitzen sind aufgrund des größeren Hebelarms im Vorteil.

Wenn schon bei der gleichen Zahl von Wettkämpfern innen und außen die innen Kämpfenden keine Chance haben, um wieviel schlimmer wird es ihnen dann ergehen, wenn außen doppelt so viele Wettkämpfer antreten wie innen (Abb. 17)?

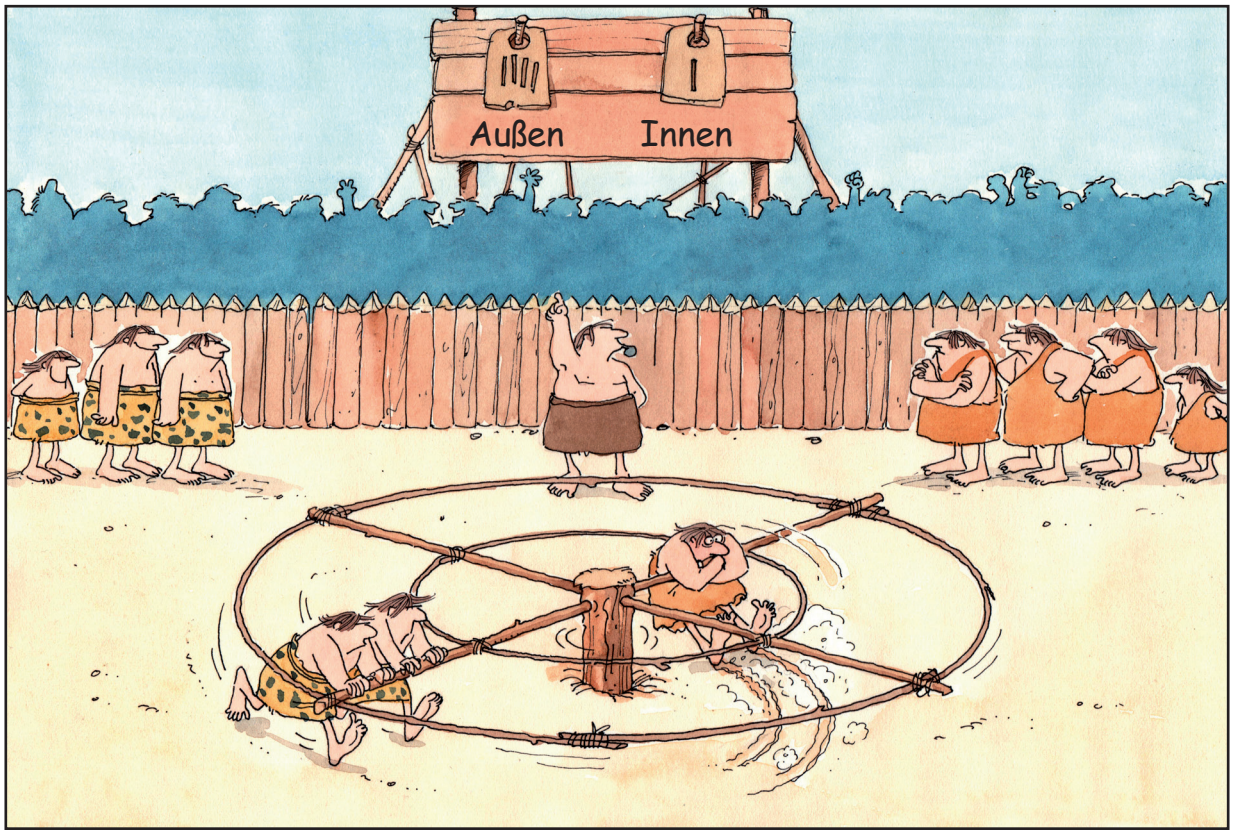



Abb. 17: In einem Seil 18x7 ist der Metallquerschnitt der Außenlitzen doppelt so groß wie der des Kernseils.

Dies nämlich sind genau die Verhältnisse eines Seiles 18x7. Dieses Seil hat 6 innenliegende Litzen, die sich gegen 12 Außenlitzen von gleichem Durchmesser und exakt doppeltem Hebelarm behaupten müssen. Derartige Seile können nur dann halbwegs drehstabil sein, wenn die inneren Litzen hoffnungslos überlastet werden.

Weil sie diese Probleme kennen, haben einige Drahtseilerhersteller den inneren Litzen ein wenig unter die Arme gegriffen: bei der Herstellung der Kernseile wird eine große Zahl von Litzen durch Parallelverseilung sehr kompakt verseilt. Anschließend wird das Kernseil durch eine zusätzliche Verdichtung noch weiter gestärkt.

Durch diese Maßnahmen wird erreicht, daß nun der Metallquerschnitt der Kernseile erheblich größer ist als der der Außenlitzen. Oder, um in unserem Bild zu bleiben: Hier kämpfen nun viele Athleten mit kleinem Hebelarm innen gegen wenige Athleten mit großem Hebelarm aussen (Abb. 18). Das Ergebnis ist eine hervorragende Drehstabilität.

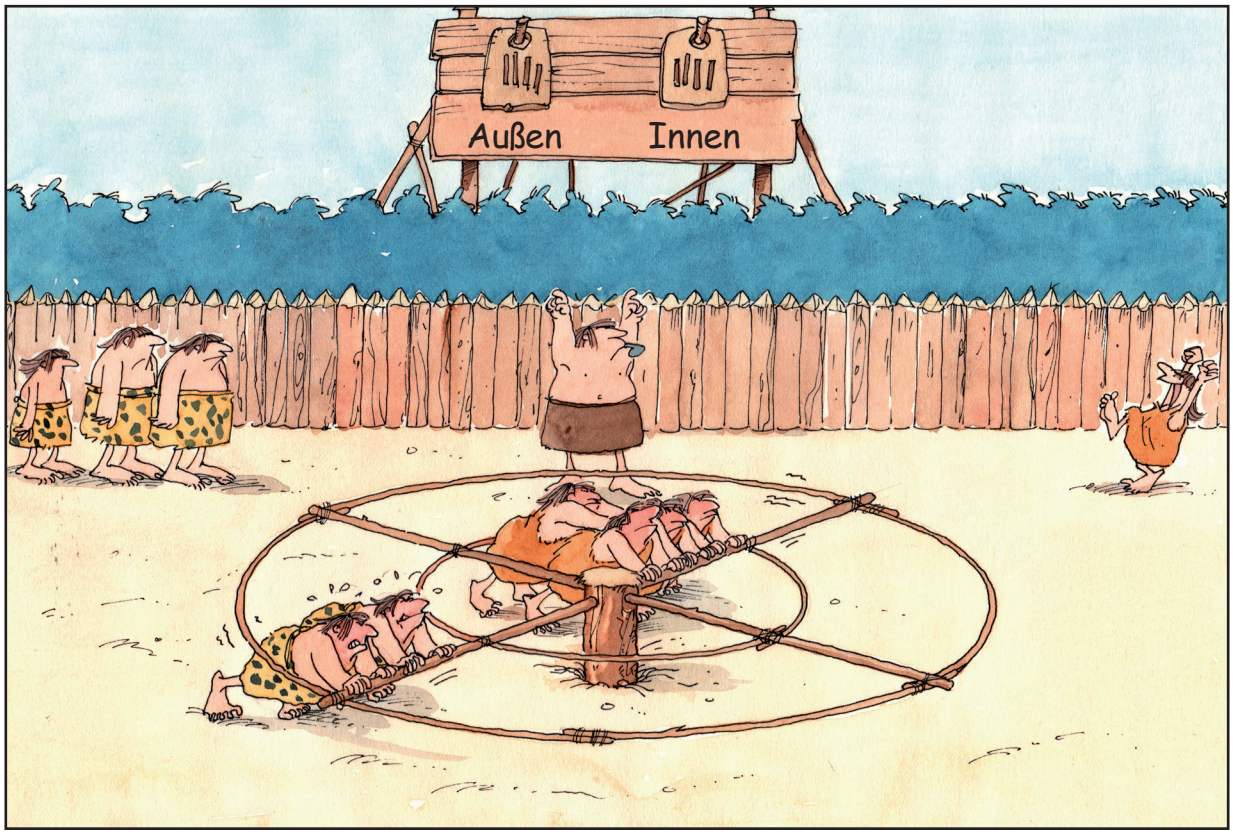



Abb. 18: In den drehungsfreien Hubseilen ist der Metallquerschnitt des Kernseiles größer als der Metallquerschnitt der Außenlitzen. Hierdurch wird ein Gleichgewicht hergestellt, ohne daß einzelne Litzen überbeansprucht werden.

## 9. Die Stabilität der Hakenflaschen von Kranen.

Die Stabilität oder das Maß der Verdrehung einer Hakenflasche von Kranen ist nicht allein von der gewählten Drahtseilkonstruktion abhängig. Auch die Geometrie der Einscherung hat einen erheblichen Einfluß. Die verschiedenen Einflußgrössen sollen im folgenden anhand einer zweisträngigen Seileinscherung erläutert werden.

Ein Drahtseil wird immer versuchen, sein Drehmoment durch eine Verdrehung um seine eigene Achse abzubauen. Bei zwei- und mehrsträngigen Einscherungen ist dies aber immer nur möglich, wenn hierbei gleichzeitig auch die Last angehoben wird (Abb. 18 und Abb. 19). Die innere Energie des Seiles wird also umgewandelt in eine potentielle Energie der Last. Das System wird so lange drehen, bis ein Gleichgewichtszustand hergestellt ist.

Je höher also die Last angehoben werden muß, um den gleichen Verdrehwinkel der Hakenflasche zu erzeugen, desto mehr Energie muß das Drahtseil aufwenden. Je höher also die Last zur Erzeugung des gleichen Verdrehwinkels angehoben werden muß, desto stabiler wird die Hakenflasche gegen Verdrehen sein.

Abb. 19 zeigt zwei Hakenflaschen mit unterschiedlicher Basisbreite, also mit unterschiedlichem Abstand der beiden Seilstränge. Beim oberen System mit schmaler Basis wird die Last bei einer Verdrehung der Hakenflasche um beispielsweise 180° nur geringfügig angehoben. Das Drahtseil muß also nur eine geringe Hubarbeit leisten, bis die Stränge zusammenschlagen. Das System mit kleiner Basisbreite (Abb. 19 oben) hat daher nur eine geringe Stabilität.

Bei dem System mit breiterer Basis wird die Last bei der gleichen Verdrehung der Hakenflasche um 180° deutlich höher angehoben. Das Drahtseil muß hier also eine erheblich größere Hubarbeit leisten, bis die Stränge zusammenschlagen. Das System mit breiter Basis (Abb. 19 unten) ist daher erheblich stabiler.

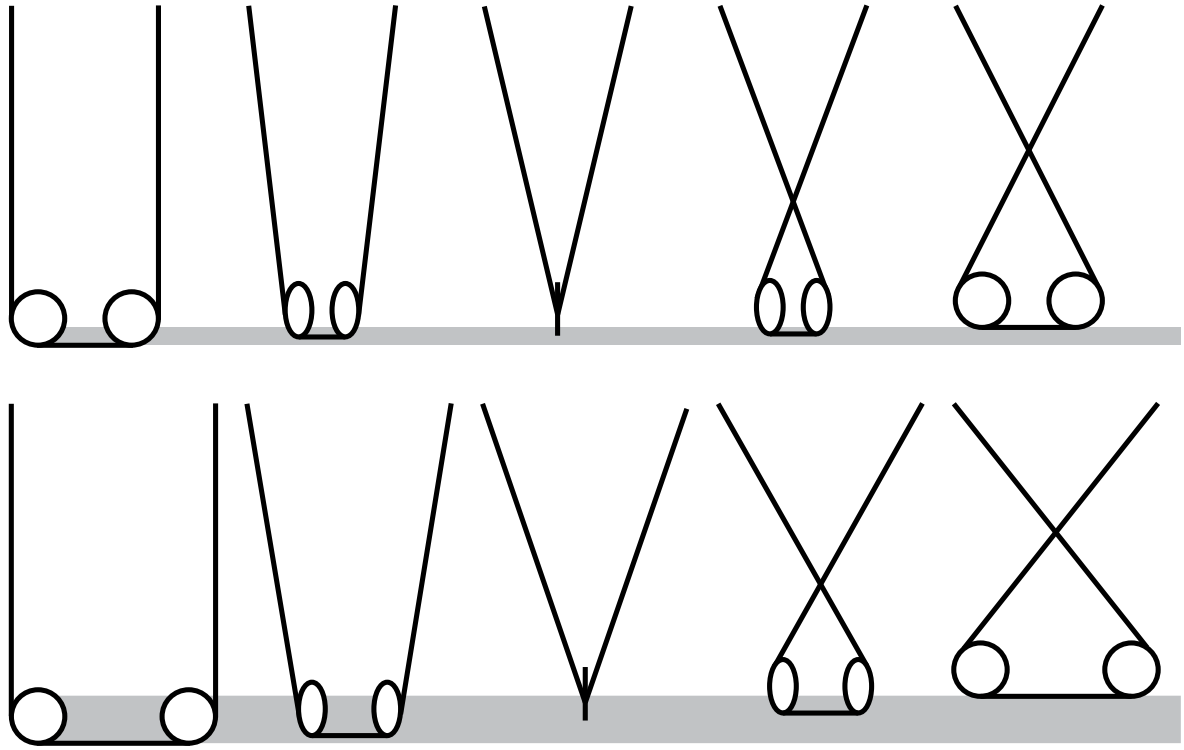


Abb. 19: Einfluß der Basisbreite auf die Stabilität der Unterflasche. Bei großer Basisbreite muß das System beim Verdrehen eine große Hubarbeit leisten.

Abb. 20 zeigt zwei Hakenflaschen mit gleicher Basisbreite, aber unterschiedlicher freier Seillänge bzw. unterschiedlicher Hubhöhe. Beim oberen System mit großer Hubhöhe wird die Last bei einer Verdrehung der Hakenflasche um beispielsweise 180° nur geringfügig angehoben. Das Drahtseil muß also nur eine geringe Hubarbeit leisten, bis die Stränge zusammenschlagen. Das System mit großer Hubhöhe (Abb. 20 oben) hat daher nur eine geringe Stabilität.

Beim unteren System mit einer kleinen Hubhöhe wird die Last bei der gleichen Verdrehung der Hakenflasche um 180° deutlich höher angehoben. Das Drahtseil muß hier also eine erheblich größere Hubarbeit leisten, bis die Stränge zusammenschlagen. Das System mit kleiner Hubhöhe (Abb. 20 unten) ist daher erheblich stabiler.

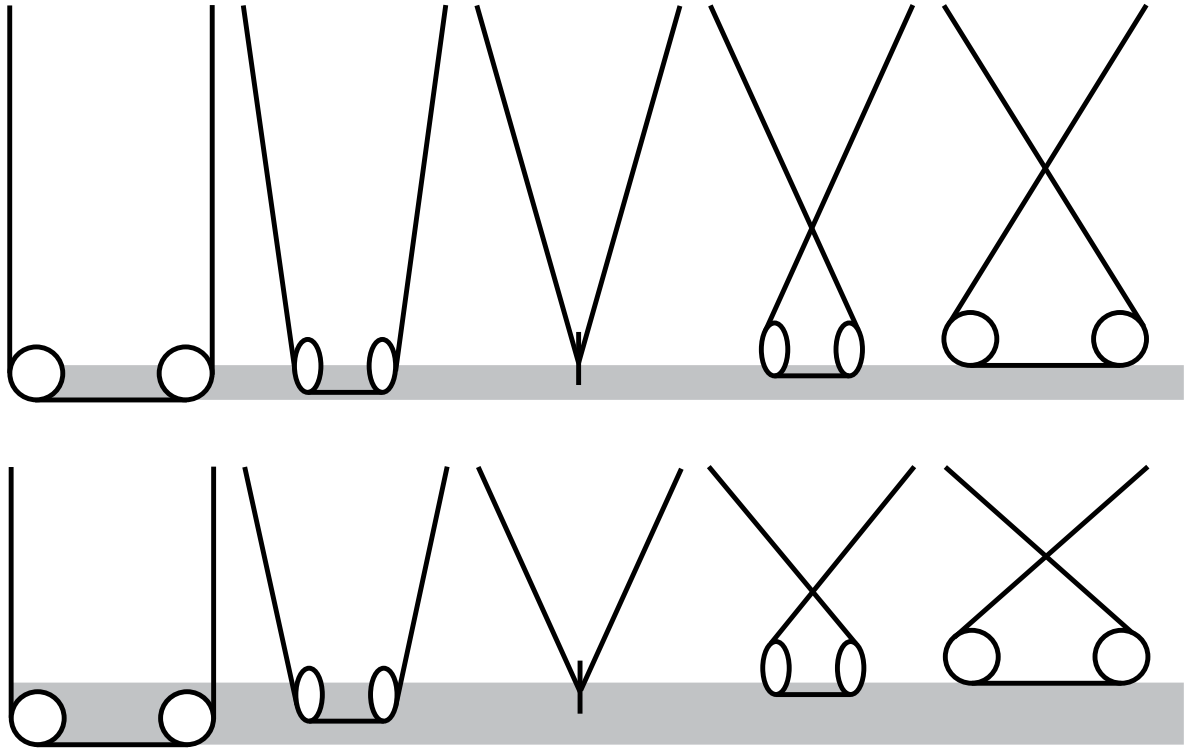


Abb. 20: Einfluß der Hubhöhe auf die Stabilität der Hakenflasche. Bei kleiner freier Seillänge muß das System beim Verdrehen eine große Hubarbeit leisten.

Wenn keine zusätzlichen Einflußfaktoren wie Momente durch Windlasten oder durch ein Schwenken des Kranes vorliegen, kann mit Hilfe einer einfachen Formel die Stabilität der Seileinscherung gegen Verdrehen überprüft werden. Hierbei wird vorausgesetzt, daß die Hubhöhe sehr viel größer ist als die Basisbreite.

Der maximal zulässige Wert für den Drehmomentfaktor des Drahtseiles k, für den noch kein Zusammenschlagen der Hakenflasche eintritt, kann nach folgender Formel errechnet werden (Abb. 21):

$$k \leq \frac{U \cdot O}{4.8 \cdot h \cdot d}$$

In dieser Formel sind

- k der Drehmomentfaktor des Drahtseiles,
- U die Basisbreite an der Hakenflasche (unten),
- O die Basisbreite am Kranausleger (oben),
- d der Nenndurchmesser des Drahtseiles und
- h die Hubhöhe.

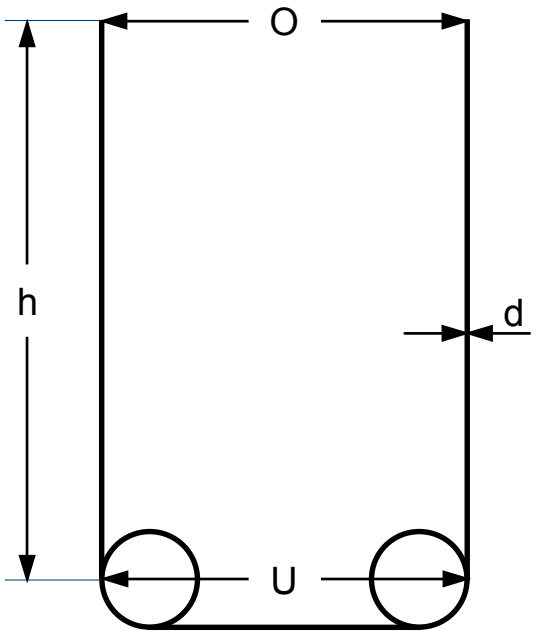



Abb. 21: Bemaßung der Hakenflasche

Die Drehmomentfaktoren k einiger Spezialdrahtseile zeigt Abb. 9.

Liegt k deutlich unter dem errechneten Wert, ist kein Zusammenschlagen der Seilstränge zu befürchten. Liegt k zwar niedriger, aber nahe bei dem zulässigen Wert, so könnten die Seilstränge unter Störeinflüssen wie Windlasten oder den beim Schwenken des Kranes auftretenden Zusatzmomenten, zusammenschlagen.

Aus der Formel ist ersichtlich, daß die Stabilität der Hakenflasche um so größer ist

- je kleiner der Drehmomentfaktor des Seiles ist,
- je größer die Basisbreite oben ist,
- je größer die Basisbreite unten ist,
- je kleiner die Hubhöhe ist und
- je kleiner der Seilnenndurchmesser ist.

Letzteres ist dadurch bedingt, daß bei sonst gleichen Bedingungen das Drehmoment eines Drahtseiles linear mit dem Seildurchmesser ansteigt. Für den Konstrukteur ist diese Tatsache ein weiteres Argument dafür, einen möglichst kleinen Seildurchmesser zu wählen.

Es ist beachtenswert, daß in der Formel die Stranglast des Drahtseiles nicht auftaucht. Dies bedeutet, daß die Stabilität der Hakenflasche unter einer Stranglast von beispielsweise 1t genauso groß ist wie unter einer Stranglast von 2t.

Dies klingt zunächst unlogisch, weil doch durch eine doppelt so hohe Belastung ein doppelt so hohes Drehmoment im Drahtseil geweckt wird, welches versuchen wird, die Hakenflasche zu verdrehen. Bei dieser Verdrehung muß dann aber auch die doppelte Last angehoben und somit die doppelte Hubarbeit geleistet werden.

Natürlich kann man die obige Formel auch umformen, um die maximal mögliche Hubhöhe berechnen, für die noch kein Zusammenschlagen der Seilstränge zu befürchten ist:

$$h \leq \frac{U \cdot O}{4.8 \cdot k \cdot d}$$

Oder um z. B. die Mindestbreite der Basis (Basis oben = Basis unten) zu berechnen, für die ein System stabil ist:

$$U \geq \sqrt{k \cdot 4.8 \cdot h \cdot d}$$

Das hier für den Fall einer zweisträngigen Seileinscherung erläuterte gilt analog natürlich auch bei drei- und mehrsträngiger Seileinscherung. Hier erfolgt die Berechnung entsprechend den Formeln in Abb. 22.

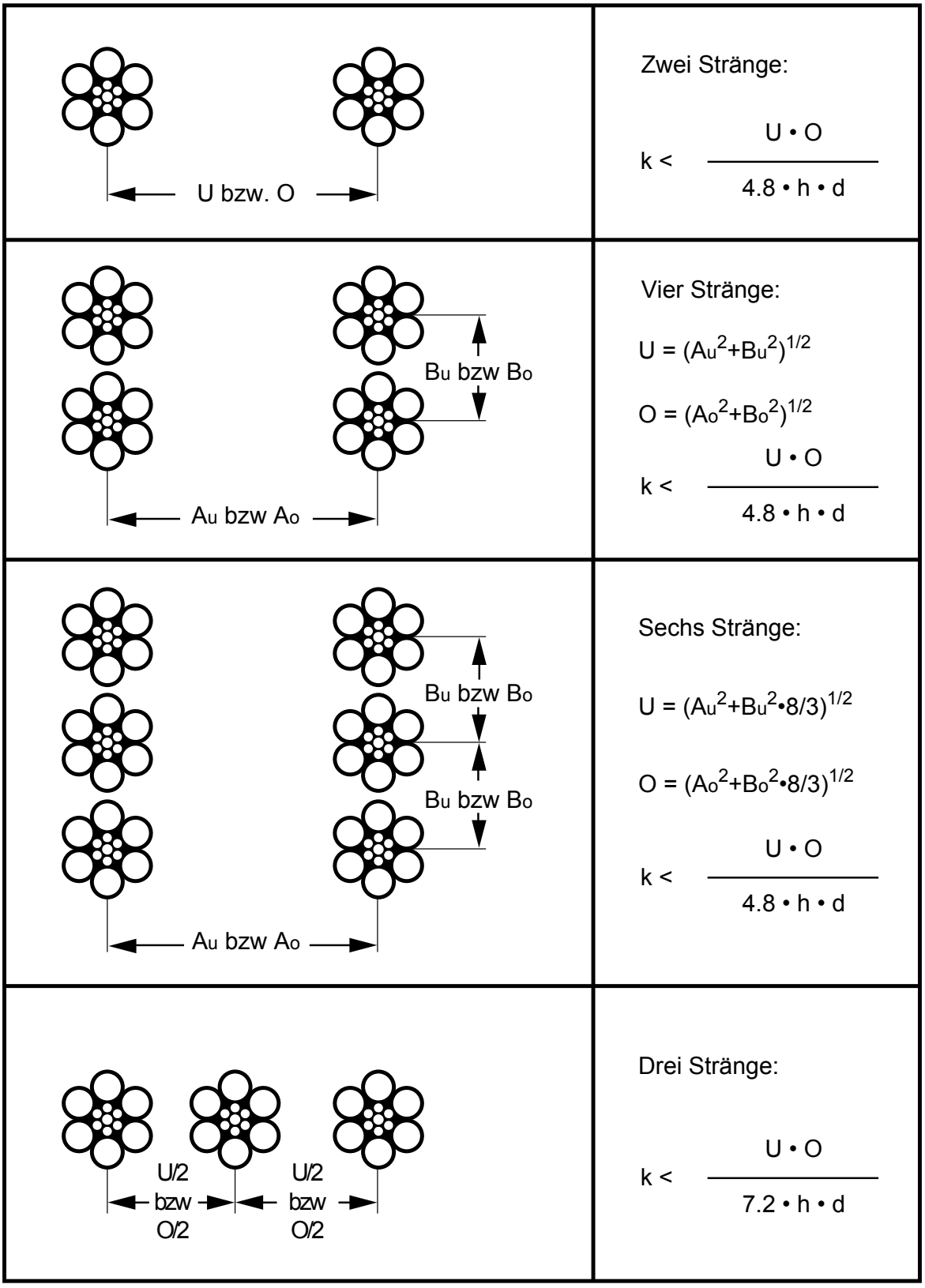



Abb. 22: Berechnung der Stabilität einer Unterflasche für eine 2-, 4-, 6- und 3- strängige Einscherung. Der Index „o“ bedeutet „oben“, der Index „u“ bedeutet „unten“.

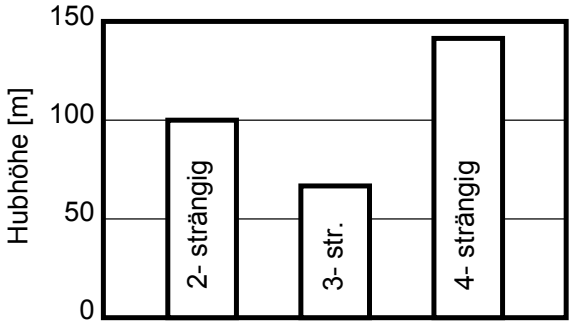



Abb. 23: Einfluß der Strangzahl auf die maximal mögliche Hubhöhe

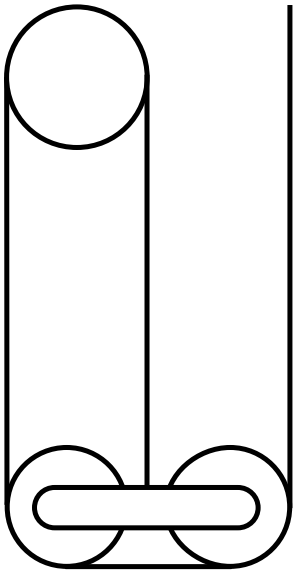


Abb. 24: 3-strängige, relativ instabile Seileinscherung

In der Regel nimmt die Stabilität einer Seileinscherung gegen Verdrehen mit zunehmender Strangzahl zu. So ist in einem Zahlenbeispiel die zulässige Hubhöhe für die viersträngige Hakenflasche mit quadratischer Basis mit 141m deutlich größer als die zulässige Hubhöhe von 100m für die zweisträngige Hakenflasche (Abb. 23).

Wenn wir einen dritten Seilstrang an der Hakenflasche des zweisträngigen Systems befestigen, erhalten wir eine dreisträngige Anordnung nach Abb. 24. Die zulässige Hubhöhe dieser Einscherung ist mit nur 67m deutlich kleiner als die der zweisträngigen Ausführung (Abb. 23).

Dies liegt darin begründet, daß hier der dritte Seilstrang im Vergleich zur zweisträngigen Einscherung keine Vergrößerung der Basis bewirkt, aber daß nun drei statt bisher zwei Stränge versuchen, die Hakenflasche zu verdrehen.

## 10. Die Stabilität von Systemen mit zwei Hubwerken.

Hubsysteme mit zwei Trommeln weisen gegenüber Systemen mit nur einer Trommel einige Vorteile auf. So arbeiten sie bei gleicher Strangzahl mit der doppelten Hubgeschwindigkeit. In vielen Fällen kann nur durch die Verwendung zweier Trommeln ein einlagiges Spulen gewährleistet werden. Im Falle einer rechtsgängig und einer linksgängig geschnittenen Trommel mit einem linksgängigen und rechtsgängigen Seil heben sich die Drehmomente der Seileinscherung gegenseitig auf. Ein derartiges Hubsystem ist also, selbst bei Verwendung von nicht- drehungsfreien Seilen, sehr drehstabil (Abb. 25).

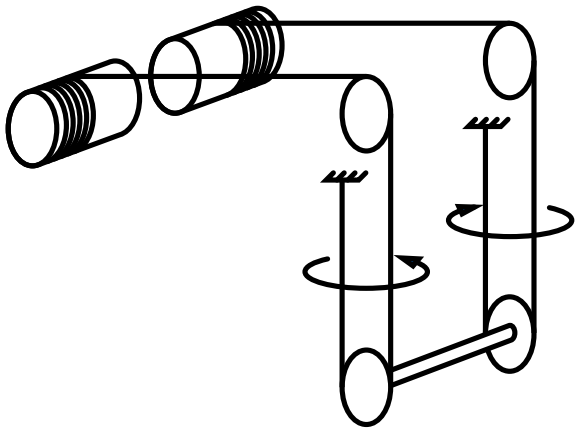


Abb. 25: Kran mit linksgängigem und rechtsgängigem Drahtseil

Häufig müssen aus konstruktiven Gründen durchgehende Seile eingesetzt werden, deren beide Enden auf einer Trommel befestigt sind. Hier ist es für das Drahtseil von Vorteil, wenn die Steigungen beider Trommeln der Seilschlagrichtung entgegengesetzt sind. Abb. 26 zeigt eine hinsichtlich der Trommelsteigungen korrekte Anordnung mit einer linksgeschnittenen Doppeltrommel und einem rechtsgängigen Seil.

Der Nachteil dieser Anordnung liegt in einem leichten Wandern der Last in Spulrichtung während des Hubvorganges.

Abb. 27 zeigt eine Doppeltrommel, deren eine Hälfte links- und deren andere Hälfte rechtsgeschnitten ist. Hier tritt beim Hubvorgang keine Lastwanderung auf, jedoch wird das Seil auf der „falsch“ geschnittenen Trommel stark auf Verdrehen beansprucht.

Egal welche Schlagrichtung man für das Seil wählen würde, für eine der beiden Trommeln wäre sie nicht passend. Eine der beiden Trommeln würde also immer das Seil stark verdrehen. Auf Anlagen, wo diese Probleme beobachtet werden, sollte, sofern dies möglich ist, die Ausgleichsrolle durch eine Wippe ersetzt werden. Dann besteht die Möglichkeit, je ein linksgängiges und ein rechtsgängiges Seil aufzulegen, und man erhält einen Seiltrieb wie in Abb. 25.

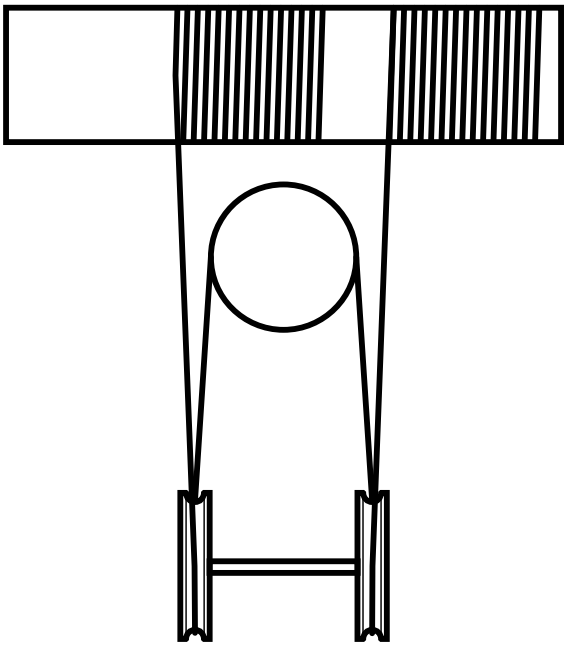


Abb. 26: Kran mit zwei linksgängigen Seiltrommeln

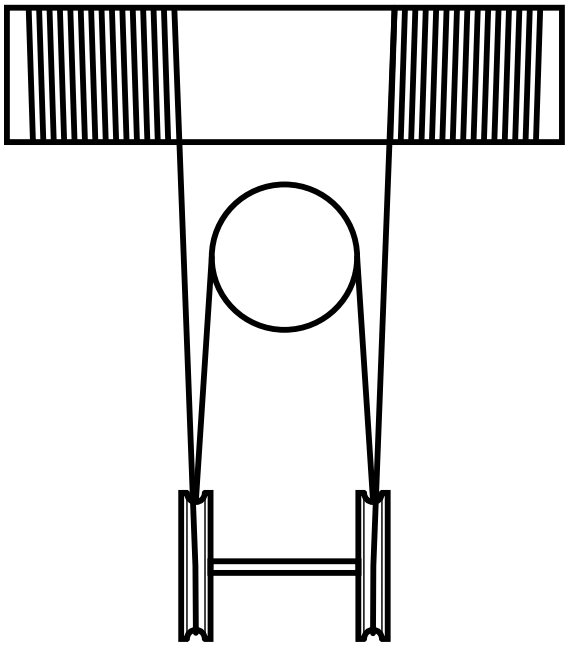


Abb. 27: Kran mit einer linksgängigen und einer rechtsgängigen Seiltrommel

In Fällen, wo konstruktiv keine Änderung möglich ist, kann der Einsatz einer vierlitzigen Seilkonstruktion sinnvoll sein. Diese Seilmachart ist auf der einen Seite relativ drehstabil, im Gegensatz zu drehungsfreien Macharten aber sehr unempfindlich gegen gewaltsame Verdrehungen.

Der Vollständigkeit halber sei hier noch erwähnt, daß bezüglich der Ablenkwinkel zwischen der Trommel und der ersten Rolle der Hakenflasche die Anordnung nach Abb. 26 erheblich günstiger gestaltet werden kann als die Anordnung nach Abb. 27, weshalb ihr in der Praxis doch gelegentlich der Vorzug gegeben wird.

## 11. Zwillingshubwerk: ein linkes und ein rechtes Seil oder zwei drehungsfreie Seile?

Hinsichtlich der Stabilität der Hakenflasche gegen Verdrehen scheinen Hubwerke mit je einem rechten und einem linken nicht-drehungsfreien Seil und Hubwerke mit zwei drehungsfreien Seilen gleichwertig zu sein.

Im Hubwerk mit linken und rechten nicht-drehungsfreien Seilen werden beim Anheben der Last in beiden Seilen starke Drehmomente geweckt, die jedoch entgegengesetzt gleich groß sind und sich daher kompensieren. Die Hakenflasche wird sich also nicht verdrehen.

Im Hubwerk mit zwei drehungsfreien Seilen (diese sind vorzugsweise auch linksgängig und rechtsgängig) kompensieren sich innerhalb jedes der beiden Seile die Drehmomente von Kernseil und Außenlage, auch hier wird sich die Hakenflasche nicht verdrehen.

Betrachten wir nun jedoch den Fall einer gewaltsamen Veränderung dieser Gleichgewichtszustände durch einen Schwenk des Kranes um seine eigene Achse, durch eine Windlast oder durch andere Störmomente. Wie stark sind nun die durch die äußere Verdrehung im Seil geweckten rückstellenden Momente, die das System stabilisieren? Abb. 28 zeigt die Veränderung der Drehmomente einer nicht-drehungsfreien 8-litzigen Seilkonstruktion im Vergleich mit den Werten eines Seiles der Machart 40xK7. Wie wir sehen, bewirkt die Störgröße in der Seilkonstruktion 40xK7 eine deutlich höhere Veränderung des Drehmomentes, die Rückstellmomente sind etwa 4 bis 5 mal so hoch wie bei dem nicht-drehungsfreien Seil.

Hieraus folgt, daß beim einfachen Anheben und parallelen Verfahren von Lasten ohne den Einfluß von Störmomenten die verglichenen Systeme gleichwertig sind. Beim Auftreten von Störmomenten, zum Beispiel durch einen Schwenk des Kranes, ist jedoch das Hubwerk mit zwei drehungsfreien Seilen dem Hubwerk mit einem linken und einem rechten Seil deutlich überlegen.

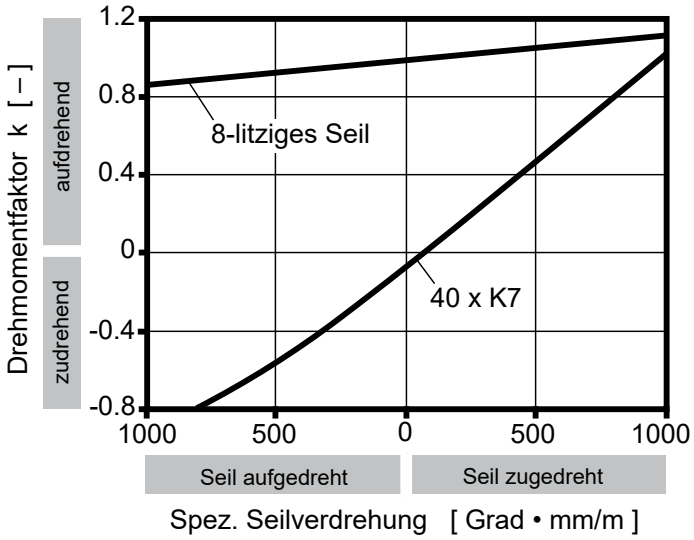



Abb. 28: Bei gewaltsamer Verdrehung, zum Beispiel beim Schwenken des Kranes, entwickeln drehungsfreie Drahtseile erheblich größere Rück-stellmomente als nicht-drehungsfreie Drahtseile.

## 12. Die Veränderung des Drehmomentes eines Drahtseiles durch eine gewaltsame Verdrehung.

Bisher haben wir das Drehbestreben von Seilen und Seilsystemen unter Belastung behandelt. Sehr häufig beobachtet man aber auch ein Drehbestreben der Seilsysteme im unbelasteten Zustand. Diesem Phänomen wollen wir uns nun zuwenden.

Wird ein Seil, welches an beiden Enden gegen Verdrehen gesichert eingespannt ist, gewaltsam verdreht, so entsteht auf der einen Seite der Verdrehung eine Schlagverlängerung, auf der anderen Seite eine Verkürzung. Dies soll an einem kleinen Zahlenbeispiel erläutert werden:

Ein Seil der Länge 200 Schlaglängen ist an beiden Seiten verdrehsicher eingespannt (Abb. 29). Wir fassen das Seil genau in der Mitte, so daß sich links und rechts jeweils 100 Schlaglängen befinden.

Wir verdrehen nun das Seil in der Mitte gewaltsam um 5 Umdrehungen. Nach diesem Vorgang befinden sich auf der linken Seite 100 Schlaglängen plus 5 Seilschläge, die wir zusätzlich hineingedreht haben, also 105 (verkürzte) Schlaglängen.

Auf der rechten Seite befinden sich nun 100 Schlaglängen minus 5 Seilschläge, die wir herausgedreht haben, also 95 (verlängerte) Schlaglängen (Abb. 30). Die Summe der Schlaglängen bleibt, wenn beide Enden des Seiles gegen Verdrehen gesichert sind, konstant.

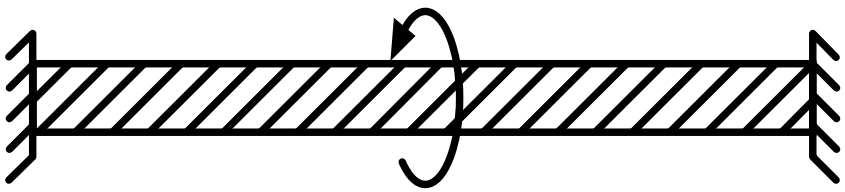


Abb. 29: Die gewaltsame Verdrehung eines Drahtseiles...

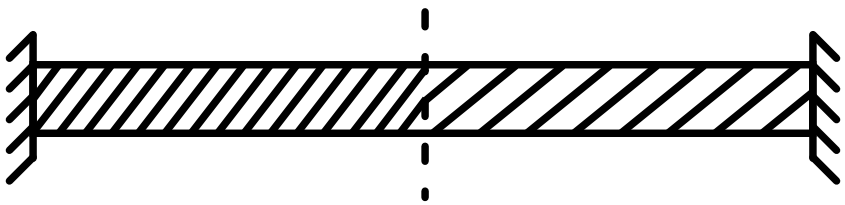


Abb. 30: ... bewirkt auf der einen Seite eine Schlagverkürzung (links) und auf der anderen Seite eine Schlagverlängerung (rechts).

Die stark zugedrehte linke Seite des Seiles hat nun ein extrem im aufdrehenden Sinne wirkendes Drehmoment aufgebaut, die stark aufgedrehte rechte Seite ein stark im zudrehenden Sinne wirkendes Moment.

Wie groß sind nun die durch eine von außen eingebrachte Verdrehung erzeugten Drehmomente? Wir werden feststellen, daß sich nicht- drehungsfreie und drehungsfreie Drahtseile bei einer gewaltsamen Verdrehung sehr unterschiedlich verhalten.

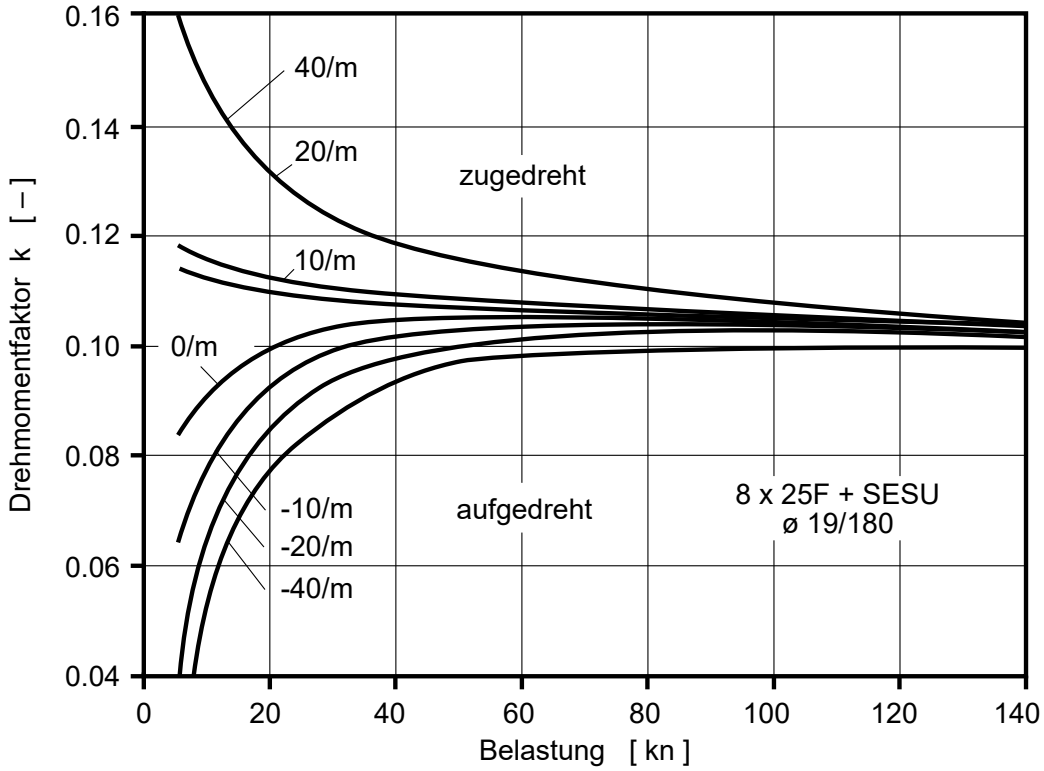



Abb. 31: Veränderung des Drehmomentfaktors durch gewaltsame Verdrehung bei einem nicht-drehungsfreien Drahtseil. Der Faktor k ändert sich kaum.

Abb. 31 zeigt den Einfluß einer äusseren Verdrehung auf das Drehmoment eines nicht-drehungsfreien 8-litzigen Seiles mit kunststoffummantelter Stahleinlage (SESU). Wie man sehr deutlich sieht, ist die Veränderung des Drehmomentes durch die gewaltsame Verdrehung nicht übermäßig groß und nimmt mit zunehmender Last prozentual stark ab.

Hieraus können wir folgende Regel ableiten:

***Eine gewaltsame äußere Verdrehung verändert das Drehmoment eines <u>nicht-drehungsfreien</u> Seiles nur unwesentlich.***

Abb. 32 zeigt die Veränderung des Drehmomentes durch eine gewaltsame äußere Verdrehung für ein drehungsfreies Seil der Machart 35x7.

Während das Drehmoment des unverdrehten Seiles nahezu Null ist, steigt es bei Verdrehung im aufdrehenden wie im zudrehenden Sinn ganz extrem an.

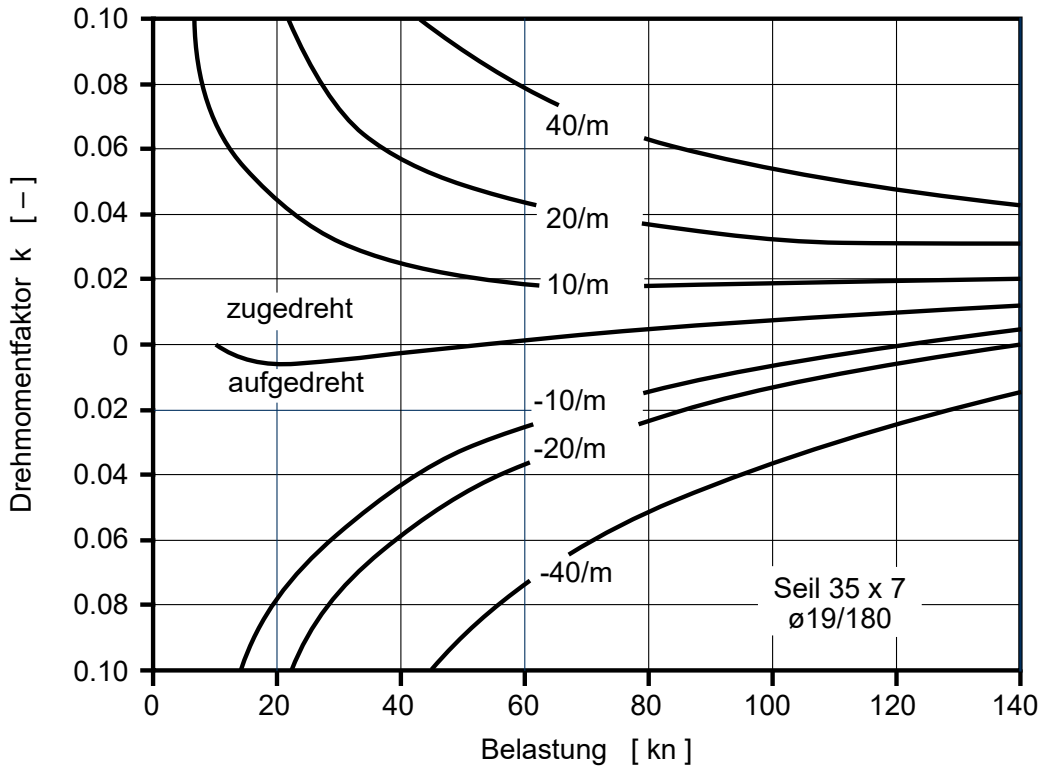



Abb. 32: Veränderung des Drehmomentfaktors durch gewaltsame Verdrehung bei einem drehungsfreien Drahtseil. Der Faktor k ändert sich sehr stark.

Dies erklärt sich durch den unterschiedlichen Einfluß der Verdrehung auf das Kernseil und die Außenlitzen:

Beim Aufdrehen des Seiles wird die Schlaglänge der Außenlage verlängert und die des Kernseiles verkürzt, beim Zudrehen des Seiles wird die Schlaglänge der Außenlage verkürzt und die des Kernseiles verlängert. In beiden Fällen aber verhält sich das Kernseil genau entgegengesetzt zu den Außenlitzen.

Hieraus können wir folgende Regel ableiten:

***Eine gewaltsame äußere Verdrehung verändert das Drehmoment eines drehungsfreien Seiles extrem.***

Aus dem hier hergeleiteten Sachverhalt ergibt sich als Konsequenz für die Praxis, daß bei der Verwendung von drehungsfreien Drahtseilen sichergestellt werden muß, daß die Seile im Betrieb nicht gewaltsam verdreht werden. Im verdrehten Zustand kann ein sonst völlig drehungsfreies Seil höhere Drehmomente aufweisen als ein nicht-drehungsfreies Seil.

Im Folgenden soll besprochen werden, welche Mechanismen ein Seil verdrehen und Drall erzeugen, und wie dies vermieden werden kann.

## 13. Die Verdrehung eines Drahtseiles durch die Seilscheiben.

Um einen ordnungsgemäßen Seilbetrieb zu gewährleisten, ist in der Seilführung darauf zu achten, daß die Seilstränge möglichst in den Scheibenebenen auf die Seilscheiben auflaufen. In der Praxis lassen sich jedoch oft geringe Ablenkwinkel zwischen Seil und Scheibenebene nicht vermeiden. Insbesondere in einer mehrsträngigen Seileinscherung läuft das Seil jeweils von Scheibe zu Scheibe unter einem gewissen Ablenkwinkel auf.

Die Seilablenkung bewirkt, daß das Seil nicht im tiefsten Punkt der Rille auf die Scheibe aufläuft, sondern die Scheibe zunächst an einer Flanke berührt und dann in den Rillengrund hineinrollt (Abb. 33).

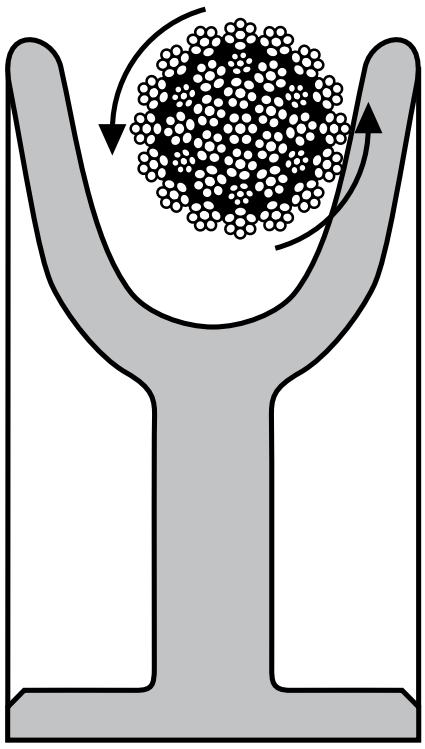


Abb. 33: Hineinrollen des Drahtseiles in den Rillengrund.

Abb. 34 zeigt die Berührung an der Scheibenflanke und die verdrehte Lage im Rillengrund für eine Seilablenkung von 1°. Wir erkennen, daß bei kleinen Ablenkwinkeln nur kleine Seilverdrehungen erzeugt werden.

Abb. 35 zeigt die Berührung an der Scheibenflanke und die verdrehte Lage im Rillengrund für eine Seilablenkung von 5°. Wir erkennen, daß bei großen Ablenkwinkeln sehr grosse Seilverdrehungen erzeugt werden.

Wegen der größeren Wandreibung am Kontaktpunkt ist dieser Effekt bei Kunststoffscheiben stärker zu beobachten als bei Stahlscheiben, bei denen noch eher ein Hinabrutschen in den Rillengrund möglich ist.

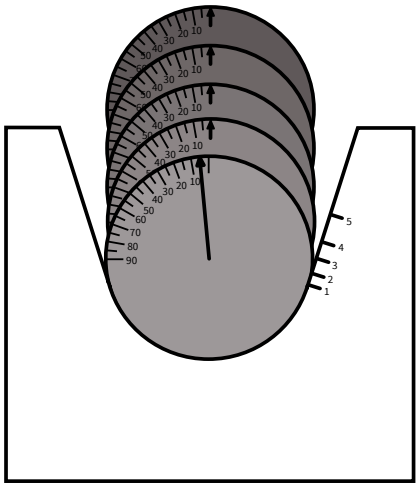


Abb. 34: Geringe Seilverdrehung bei einem Ablenkwinkel von 1°

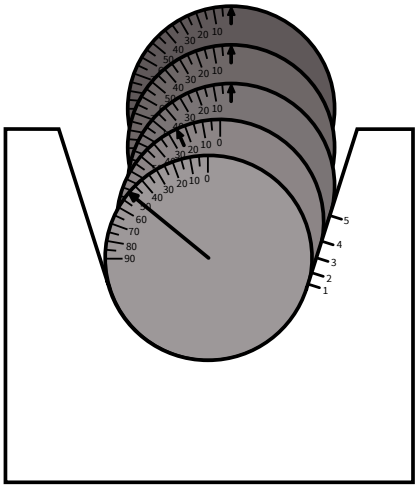


Abb. 35: Große Seilverdrehung bei einem Ablenkwinkel von 5°

Bei Mehrfacheinscherung addieren sich die Wirkungen hintereinander angeordneter Scheiben mit Ablenkwinkeln, so daß Flaschenzüge mit vielen Seilsträngen, vor allem bei sehr kurzen Abständen zwischen Oberflasche und Hakenflasche, die Seile sehr stark verdrehen.

Wie bereits erwähnt, kann es daher bei großen Seillängen und vielfacher Einscherung richtig sein, die Schlagrichtung des Seiles nicht nach der Steigung der Trommel auszuwählen, sondern nach der Richtung der Einscherung. Dies gilt um so mehr bei Mehrlagenspulung, wo der Einfluß der Trommel ohnehin nicht so entscheidend ist.

Eine unsachgemäß eingebaute und nicht fluchtende Scheibe kann insbesondere beim Einsatz von drehungsfreien Drahtseilen bewirken, daß die Seile ein starkes Drehmoment aufbauen und letztlich durch die hierdurch erzeugten starken zusätzlichen Beanspruchungen zerstört werden. Wenn die Schadensursache nicht genau lokalisiert werden kann, ist es oft hilfreich, das abgelegte Drahtseil hinsichtlich eventueller Schlaglängenveränderungen zu untersuchen.

Hierzu fertigt man in gleichmäßigen Abständen auf der Seiloberfläche Abdrücke an, um die Schlaglängen auf dem Papier auszumessen, oder man mißt die Schlaglängen in regelmäßigen Abständen direkt auf dem Seil. Eine Darstellung der Schlaglänge über der Seillänge unterscheidet im Diagramm dann meist sehr deutlich aufgedrehte und zugedrehte Seilzonen.

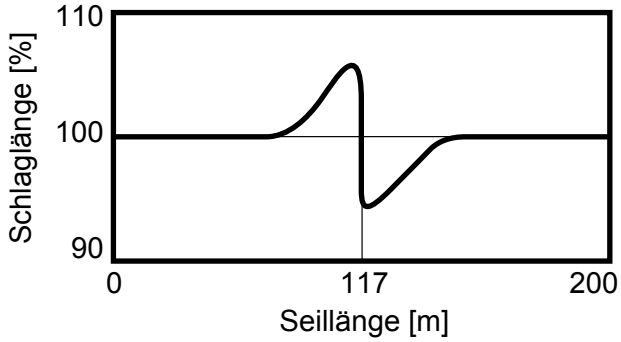



Abb. 36: Veränderung der Seilschlaglänge durch eine Seilscheibe.

Abb. 36 zeigt die Schlaglänge eines abgelegten Drahtseiles über der Seillänge. Während die Schlaglänge über große Bereiche dem Sollwert von 100% entspricht, ist im Bereich von 117m eine deutliche Abweichung vom Sollwert erkennbar. Links von diesem Punkt sind etwa 20m Seillänge aufgedreht worden, die Schlaglänge wurde verlängert. Rechts von diesem Punkt sind etwa 20m Seillänge zugedreht worden, die Schlaglänge wurde verkürzt. Hieraus kann abgeleitet werden, daß die Seilzone 117m ± 20m unter einem großen Ablenkwinkel über eine Seilscheibe läuft. Anhand der Seilführungsskizze des Kranes kann die verursachende Seilscheibe in der Regel relativ einfach lokalisiert werden.

Wie wir gesehen haben, besteht bei einer Seilverdrehung durch übermäßig große Ablenkwinkel die Gefahr der Strukturveränderungen von Drahtseilen. Auch können durch eine derartige Seilverdrehung die Außenlitzen eines Drahtseiles aufgedreht und völlig entlastet werden, so daß die gesamte Last vom Kernseil aufgenommen werden muß. Dieses nun völlig überbeanspruchte Kernseil wird eventuell vorzeitig versagen, während die Außenlitzen dem Seilinspekteur einen guten Seilzustand suggerieren. Dies ist ein äußerst gefährlicher Zustand. Daher wird der maximal zulässige Ablenkwinkel in Seiltrieben allgemein auf 4° limitiert.

Drehungsarme und drehungsfreie Drahtseile mit gegenläufig geschlagener Stahleinlage reagieren wegen des unterschiedlichen Verhaltens von Kernseil und Außenlitzen sehr viel empfindlicher auf eine gewaltsame Verdrehung als konventionelle Drahtseile. Für diese Seile wird daher der zulässige Ablenkwinkel in der DIN 15020 auf 1,5° limitiert, in der Neufassung der ISO 4308 auf 2°.

Konstrukteure und auch Betreiber von Seiltrieben sind gut beraten, wenn sie sich an diese Beschränkungen halten.

## 14. Die Verdrehung eines Seiles durch die Trommel.

Auf einer helicoidalen Seiltrommel liegen die Seilrillen unter einem Winkel α, dem Steigungswinkel der Trommel, zum Trommelflansch (Abb. 37). Auf die erste Umlenkscheibe läuft das Seil unter einem veränderlichen Winkel β auf. In Abb. 37 wäre der Winkel beispielsweise bei halbvoller Trommel exakt 0°. Bei voller Trommel hätte der Winkel β sein Maximum.

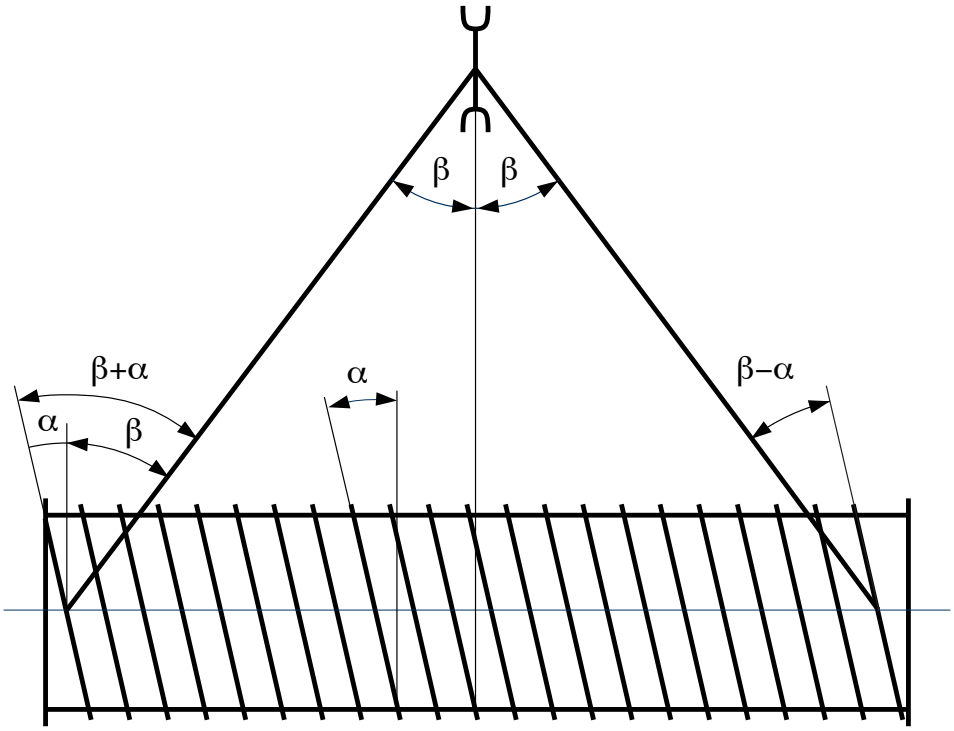



Abb. 37: Winkel auf der Seiltrommel und an der Umlenkscheibe.

Das Seil wird an den beiden Flanschen auf der Trommel um einen Winkel β+α bzw. β-α aus der Rille abgelenkt. Der maximal zulässige Ablenkwinkel auf Seiltrommeln β+α wird allgemein auf 4° limitiert, für drehungsarme und drehungsfreie Drahtseile sogar auf 1,5° (DIN 15020) oder 2° (Neufassung der ISO 4308). Konstrukteure und auch Betreiber von Seiltrieben sind gut beraten, wenn sie sich an diese Beschränkungen halten.

Die Seilablenkung auf der Trommel führt, wie dies auch oben für die Ablenkung auf Seilscheiben erläutert wurde, zu einem Hineinrollen des Seiles in den Rillengrund und damit zu einer kontinuierlichen Verdrehung des Seiles. Um diese Verdrehung so klein wie möglich zu halten, und um nicht etwa noch das Aufdrehbestreben des Seiles zu unterstützen, gilt die Regel:

***Eine linksgeschnittene Trommel muß mit einem rechtsgängigen Seil arbeiten, eine rechtsgeschnittene Trommel mit einem linksgängigen Seil.***

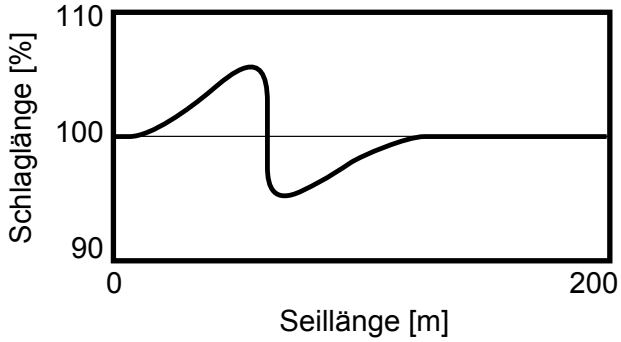



Abb. 38: Veränderung der Seilschlag-länge durch eine „falsch“ geschnittene Seiltrommel.

Eine Verletzung dieser Regel führt zu einer starken Verdrehung des aufgetrommelten Seiles im seilaufdrehenden Sinn (Schlagverlängerung) und zu einer starken Verdrehung des übrigen Seiles im zudrehenden Sinn (Schlagverkürzung) (Abb. 38).

Bei weiterer Zunahme der Verdrehung bilden sich bleibende Seilschäden, so zum Beispiel Korbbildungen in der aufgedrehten Seilzone oder herausgetretene Kernlitzen oder Kernseile im zugedrehten Bereich. Häufig findet man sogar beide Schäden im gleichen Seil: Abb. 39 zeigt den Schaden in der aufgedrehten, Abb. 40 den Schaden in der zugedrehten Seilzone des gleichen Drahtseiles.

Abb. 39: Längenüberschuß der Außenlitzen, verursacht durch Aufdrehen des Drahtseiles.

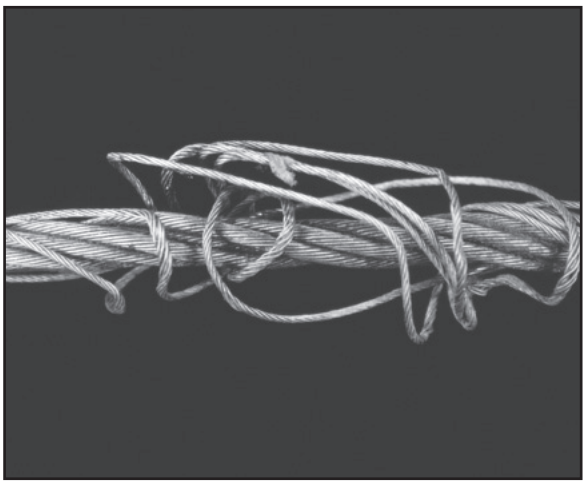


Abb. 40: Längenüberschuß der Innenlitzen, verursacht durch Zudrehen des gleichen Drahtseiles.

Neben der Wahl der Schlagrichtung des Seiles können jedoch auch konstruktiv die Verhältnisse der Anlage verbessert werden. Es ist einleuchtend, daß der Winkel β um so kleiner wird, je weiter der Auflaufpunkt der Scheibe von der Trommel entfernt ist (Abb. 37).

Der größte auftretende Winkel β+α kann dadurch verringert werden, daß die Seilscheibe oder die Trommel seitlich versetzt werden. Dies hat natürlich nur Sinn bei Trommeln mit einlagiger Bewicklung. Zudem ist hierbei zu beachten, daß diese Maßnahme gleichzeitig den Ablenkwinkel auf der Seilscheibe vergrößert.

Bei gleicher Seillänge wird eine Trommel sehr viel schmaler, wenn man ihren Durchmesser erhöht. Diese wegen der höheren Antriebsmomente natürlich teurere Lösung bewirkt nicht nur eine Verkleinerung des Winkels β, sondern auch eine deutliche Verkleinerung des Winkels α, da sich der seitliche Versatz auf der Trommel nun auf einen sehr viel größeren Umfang verteilt. Der maximal auftretende Winkel β+α wird durch diese Maßnahme also deutlich verkleinert (Abb. 41).

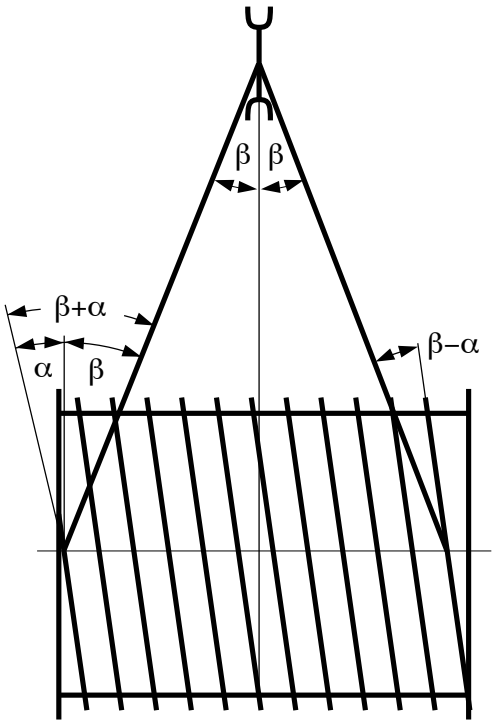



Abb. 41: Verkleinerung der Winkel durch Vergrößerung des Trommeldurchmessers.

Weitere Vorteile bieten konstruktiv besonders ausgestaltete Trommelsysteme (beispielsweise Lebus), bei denen über große Bereiche des Umfangs der Winkel α 0° beträgt und der Versatz in die Nachbarwindungen dann auf kurzen Zonen stattfindet.

Im Falle einer Mehrlagenspulung liegt das Seil von Lage zu Lage abwechselnd in einer Links- und einer Rechtsschraube auf der Trommel. Entsprechend der Regel von der entgegengesetzten Schlagrichtung des Seiles müßte diese von Lage zu Lage wechseln. Da dies nicht möglich ist, sollte die Schlagrichtung des Seiles nach der am meisten beanspruchten Seillage ausgewählt werden oder sogar, da der Einfluß der Schlagrichtung mit zunehmender Lagenzahl immer unbedeutender wird, nach der Richtung der Einscherung.

## 15. Die Verdrehung eines Drahtseiles bei der Montage.

Eine der häufigsten Ursachen für das Verdrehen von Seilen in Seiltrieben bleibt nach wie vor der Montagefehler. Bei der Montage von Drahtseilen, insbesondere von drehungsarmen und drehungsfreien Seilmacharten, ist peinlichst genau darauf zu achten, daß die Seile ohne äußere Verdrehung montiert werden. Besonders ist darauf zu achten, daß die Seile bei der Montage nicht seitlich vom Haspel oder Ring abgezogen werden, da dann auf der Länge jeweils eines Haspel- oder Ringumfangs je eine Torsion in das Drahtseil eingebracht wird.

Wie oben geschildert, reagieren drehungsfreie Seile wegen der Verspannung der inneren und äußeren Lagen besonders empfindlich auf derartige Montagefehler. Bei Seiltrieben mit drehungsfreien Seilen, die einen Wirbel als Endbefestigung besitzen, kann sich eventuell eine bei der Montage eingebrachte Seilverdrehung am Wirbel ausdrehen.

Häufig werden, insbesondere bei großen Anlagen, neue Seile so montiert, daß sie zunächst einmal an den alten Seilen befestigt werden und dann mit diesen in die Einscherung eingezogen werden. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Verbindung der Seilenden nicht starr ist, da sonst eventuell das mit Drall behaftete alte Seil während des Einzugsvorgangs beginnt, sich auszudrehen und seinen Drall an das neue Seil weiterzugeben. In diesem Fall würde das neue Seil bereits bei der Montage so weit vorgeschädigt, daß es in kürzester Zeit versagen könnte.

Die Verbindung kann mit Hilfe eines beidseitig eingeschweißten Wirbels oder beispielsweise durch zwei Litzen als Verbindungselemente zwischen den Seilenden erfolgen. Letztere Möglichkeit hat den Vorteil, daß anhand der Verdrehung der beiden Litzen nach dem Montagevorgang abgezählt werden kann, um wieviele Umdrehungen sich das abgelegte Seil entdrallt hat (Abb. 42).

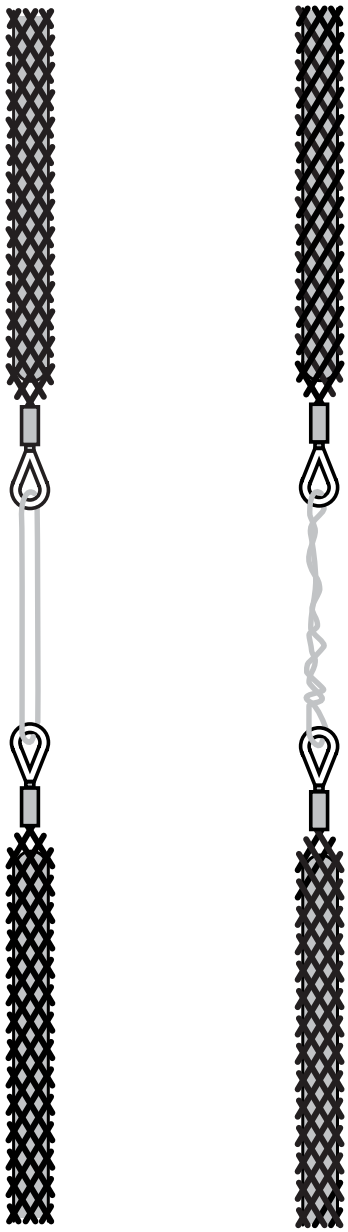


Abb. 42: Montageverbindung mit Seilstrümpfen vor (links) und nach der Montage (rechts).

***Bei der Montage von Gleichschlagseilen ist darauf zu achten, dass die Seilenden nicht drehen können.***

Bereits kleinste Verdrehungen von Drahtseilen führen zu großen Längendifferenzen zwischen äußeren und inneren Seilelementen, die dann später von den Trommeln und Scheiben an einen Punkt massiert werden und dort als Korbbildung in Erscheinung treten können.

In vielen Fällen empfiehlt sich bereits bei der Fertigung das Aufbringen einer Mantellinie auf das Seil, so daß im Anschluß an die Montage leicht festgestellt werden kann, ob sich das Seil eventuell verdreht hat. Diese Verdrehung kann dann durch Verdrehen des Seiles am Festpunkt rückgängig gemacht werden. Derartige Operationen sollten allerdings nur von einem Fachmann durchgeführt werden.

Die Gleichschlagausführungen von Spezialdrahtseilen mit einer Kunststoffzwischenlage sind bezüglich ihrer Montage sicherer als konventionelle Gleichschlagseile. Die Verzahnung des Kunststoffmantels im Kernseil und zwischen den Außenlitzen erlaubt keinerlei Verdrehung des unbelasteten Seiles, so daß sich eine Montage hier problemlos gestaltet.

In Fällen, wo eine einwandfreie Sicherung der Seilenden gegen Verdrehen bei der Montage nicht gewährleistet werden kann, stellt der Einsatz derartiger Seile die optimale Lösung dar.

## 16. Warum dürfen nicht-drehungsfreie Drahtseile nicht mit einem Wirbel arbeiten?

Wird ein nicht-drehungsfreies Seil an einem Wirbel befestigt, so dreht es unter Einwirkung einer äußeren Last auf. Die Seilverdrehung führt zu einer starken Umverteilung der Kräfte innerhalb des Seiles. Die Außenlitzen entlasten sich, während die innenliegenden Elemente überlastet werden. Die Bruchkraft und damit der Sicherheitsbeiwert eines nicht-drehungsfreien Seiles wird also durch eine freie Drehmöglichkeit deutlich herabgesetzt.

Bei Entlastung des Drahtseiles kann sich der zum Wirbel laufende Strang wieder in den unverdrehten Zustand zurückdrehen. Mit zunehmender Zahl der Be- und Entlastungen führt dieses permanente Auf- und Zudrehen am Wirbel zu einem starken inneren Verschleiß und zu einer Ermüdung innen liegender, bei einer Sichtkontrolle nicht inspizierbarer Drähte. Dies stellt ein weiteres Sicherheitsrisiko dar.

Nicht-drehungsfreie Drahtseile, also zum Beispiel 6- und 8- litzige Drahtseile, müssen daher so befestigt werden, daß sie gegen Verdrehen gesichert sind. Sie dürfen nicht mit einem Wirbel arbeiten.

## 17. Warum dürfen Seile der Machart 17x7 und 18x7 nicht mit einem Wirbel arbeiten?

Wie bereits oben erläutert, zeigen Seile der Macharten 17x7 und 18x7 im Zerreißversuch auf einem Wirbel eine Herabsetzung ihrer Bruchkraft um über 30 %. Allein diese Verminderung des Sicherheitsbeiwertes verbietet bereits den Einsatz eines Wirbels. Hinzu kommt jedoch, daß diese Seilmacharten auch bei kleinsten Belastungen bereits merkliche Verdrehungen zeigen. Eine Befestigung an einem Wirbel würde daher, wie auch bei 6- und 8- litzigen Seilen, ein permanentes Auf- und Zudrehen bewirken. Dieser Mechanismus würde zu einem gefährlichen Verschleiß im Seilinneren und zu einer frühzeitigen Ermüdung innen liegender, einer Sichtkontrolle nicht zugänglicher Drähte führen.

## 18. Drallaufbau im Seiltrieb durch einen offenen Wirbel

Die bisherigen Argumente verbieten den Einsatz eines Wirbels bei nicht-drehungsfreien Drahtseilen und Seilen der Macharten 17x7 und 18x7 schon aus Sicherheitsgründen. In vielen Fällen ist jedoch der Einsatz eines Wirbels bei diesen Seilen auch insofern problematisch, als sich schon in kürzester Zeit ein starker Drall im Seiltrieb aufbauen würde. Dies sei an einem Beispiel erläutert:

Auf einen einfachen Kran mit einer Seilscheibe und einer Seiltrommel (Abb. 43) haben wir ein neues nicht- drehungsfreies Drahtseil aufgelegt. Wir haben darauf geachtet, daß das Seil bei der Montage nicht verdreht wurde. Das Drahtseil ist am Haken mit Hilfe eines Wirbels befestigt.

Beim Anheben einer Last wird der Wirbel so lange verdreht werden, bis die gesamte Seillänge zwischen dem Wirbel und der ersten Seilscheibe aufgedreht ist. In unserem Beispiel hat der Wirbel acht volle Umdrehungen vollführt, dargestellt durch acht Punkte auf dem Seil (Abb. 44).

Beim weiteren Anheben der Last läuft ein Teil, in unserem Beispiel die Hälfte, der verdrehten Seillänge über die Seilscheibe. Nach dem Anheben wird sich also die Hälfte der durch den Wirbel eingebrachten Verdrehungen, hier dargestellt durch vier Punkte, zwischen Seilscheibe und Seiltrommel befinden (Abb. 45). Hier kommt eine relativ stark verdrehte Seilzone mit noch völlig unverdrehtem Seil zusammen.

Die verdrehten Zonen werden einen Teil ihrer Verdrehung an die noch unverdrehten Zonen abgeben, die vier Verdrehungen werden sich also gleichmäßig über die gesamte Seillänge zwischen Scheibe und Trommel verteilen (Abb. 46).

Nun verfährt oder schwenkt unser Kran und setzt die Last wieder ab. Beim Ablassen des Hakens läuft ein Teil der verdrehten Seillänge (in unserem Fall wieder die Hälfte) aus der Strecke zwischen Scheibe und Seiltrommel über die Seilscheibe in den Strang zum Wirbel.

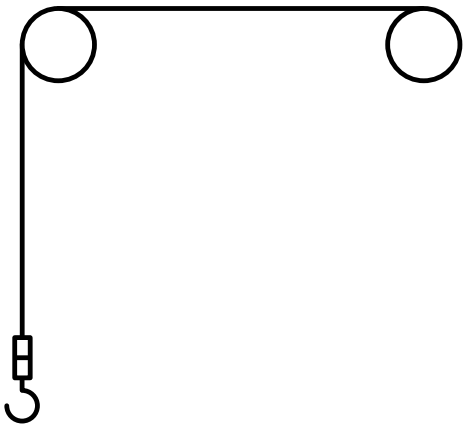


Abb. 43: Vor dem Hubvorgang ist das Drahtseil unverdreht.

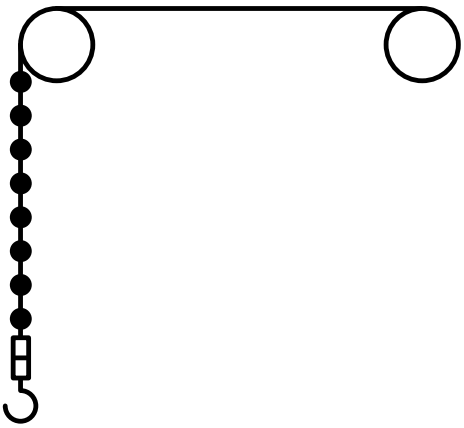


Abb. 44: Beim Anheben der Last macht der Wirbel 8 volle Umdrehungen.

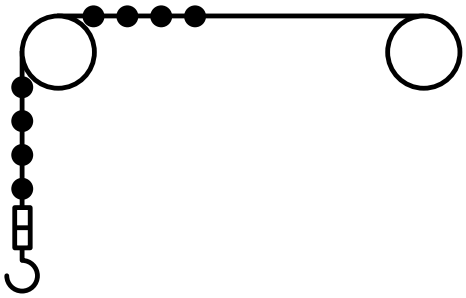


Abb. 45: Beim Heben läuft die Hälfte der verdrehten Seillänge über die Scheibe.

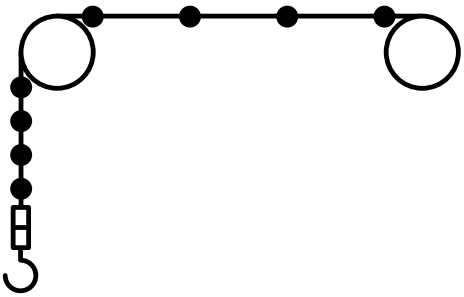


Abb. 46: Die Verdrehung verteilt sich über der Seillänge.

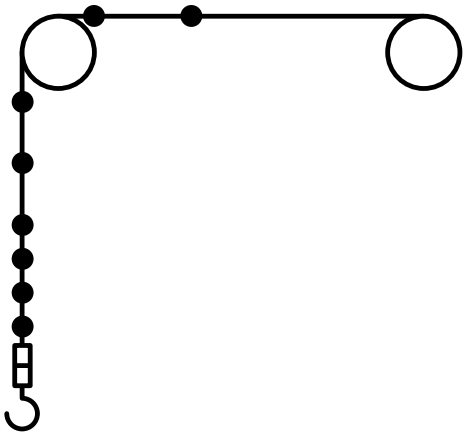


Abb. 47: Ein Teil der verdrehten Seillänge läuft zurück über die Seilscheibe.

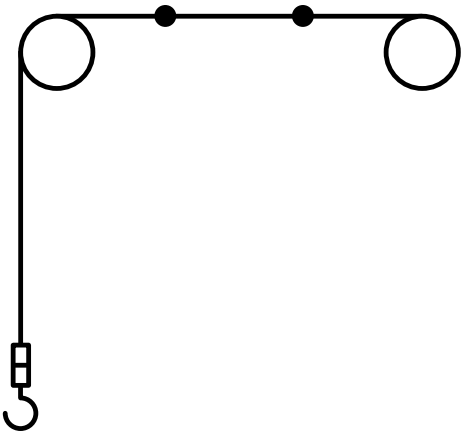


Abb. 48: Nach dem Hubvorgang verbleiben zwei Verdrehungen im Seiltrieb.

In unserem Beispiel verlassen somit zwei Verdrehungen die Strecke zwischen Seilscheibe und Seiltrommel (Abb. 47). Gleichzeitig bringt die Trommel noch unverdrehtes Seil in diese Strecke.

Die zwei Verdrehungen verteilen sich nun gleichmäßig zwischen Seilscheibe und Seiltrommel, während sich der am Wirbel befestigte Strang bei Entlastung wieder in den unverdrehten Zustand zurückdreht (Abb. 48).

Wir befinden uns nun wieder in der Ausgangsstellung, und der oben geschilderte Vorgang könnte von neuem beginnen.

Wir hatten mit einem unverdrehten Seil begonnen, haben aber bereits nach einem Hubvorgang zwei volle Drehungen in das Drahtseil eingebracht. Die verdrehten Zonen sind zwischen Seilscheibe und Seiltrommel gefangen und können sich nicht am Wirbel in den unverdrehten Zustand zurückdrehen. Im Gegenteil: mit jedem weiteren Hub wird die Verdrehung des Drahtseiles zunehmen.

Es ist also ein Trugschluß zu glauben, die bei Belastung in das Drahtseil eingebrachte Verdrehung würde bei Entlastung das Drahtseil wieder verlassen. Infolge der Entmischungserscheinungen wird immer ein Teil der Verdrehungen im System verbleiben. Wenn wir ein Faß Wein mit einem Glas voll Säure vergiften und anschließend wieder ein Glas Flüssigkeit aus dem Faß entfernen, können wir auch nicht hoffen, daß der Wein wieder genießbar ist.

Für das Drahtseil kann die Zunahme der Verdrehung im System mit zunehmender Hubarbeit verschiedene Konsequenzen haben:

Durch die Verdrehung können einzelne Elemente des Seiles überbeansprucht werden und vorzeitig versagen. Häufiger aber wird die Verdrehung zu Längendifferenzen zwischen den Litzen unterschiedlicher Lagen und somit z. B. zu Korbbildungen oder Korkenzieherbildungen führen. Abb. 49 zeigt ein Beispiel von Korbbildungen auf der Seiltrommel.

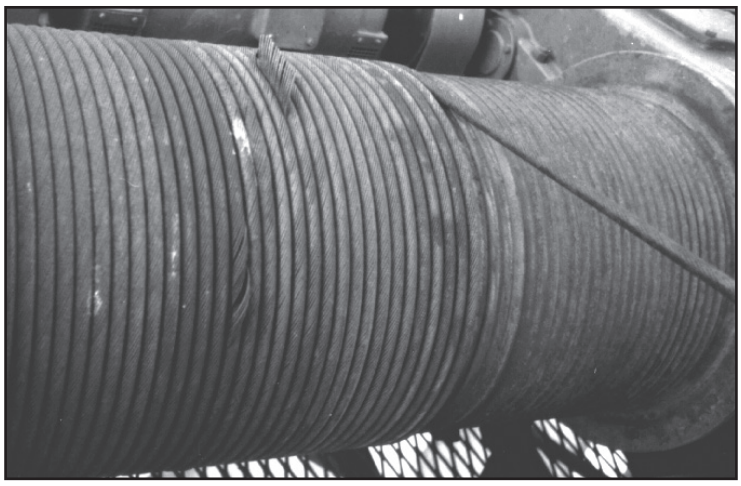


Abb. 49: Korbbildung auf der Seiltrommel

Besonders gefährlich aber wird die plötzliche Entlastung des verdrehten Drahtseiles, die sog. Schlappseilbildung: Wenn ein stark verdrehtes Seil entlastet wird, hat es die Gelegenheit, einen Teil seiner Verdrehung dadurch abzugeben, daß es eine Schlaufe bildet (Abb. 50). Bei einer anschließenden Belastung kann sich diese Schlaufe zuziehen und eine sogenannte Klanke bilden.

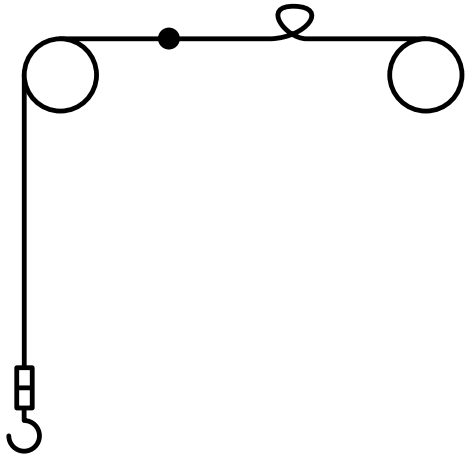


Abb. 50: Bildung einer Schlaufe bei Schlappseil

Dieser Vorgang kann in Bruchteilen von Sekunden ablaufen und wird oft vom Kranführer nicht rechtzeitig erkannt. Ein Seilriß kann die Folge sein.

**19. Warum dürfen drehungsfreie Seile mit einem Wirbel arbeiten?**

Mit drehungsfreien Seilen, zum Beispiel der Macharten 35xK7 oder 40xK7 bestehen die oben aufgeführten Probleme nicht. Weder reduziert sich bei Einsatz auf einem Wirbel ihre Bruchkraft, noch drehen die Seile bei Lastwechseln auf und zu. Diese Seile sind sehr drehstabil, so daß der Wirbel bei der Lastaufnahme in der Regel keinerlei Bewegung zeigt. Daher sind diese Seile auch nicht den oben geschilderten inneren Verschleißerscheinungen ausgesetzt.

***Drehungsfreie Seile der Macharten 35xK7 oder 40xK7 dürfen mit einem Wirbel eingesetzt werden***.

## 20. Warum sollten drehungsfreie Seile mit einem Wirbel arbeiten?

Drehungsfreie Drahtseile werden nicht unter einer äußeren Last aufdrehen. Wir haben jedoch Mechanismen kennengelernt, die von außen durch tangential am Drahtseil angreifende Kräfte versuchen, dieses zu verdrehen.

So rollt beispielsweise ein unter einem Ablenkwinkel auf die Seilrolle oder Seiltrommel auflaufendes Drahtseil in den Rillengrund hinein und wird hierbei gewaltsam verdreht.

Diese Verdrehung weckt in einem drehungsfreien Drahtseil ein hohes Drehmoment. Bei Befestigung eines solchen Seiles an einem Wirbel kann sich nun diese gewaltsam in das Seil eingebrachte Verdrehung ausdrehen und damit das aufgebaute Drehmoment abbauen.

Der Einsatz eines Wirbels mit drehungsfreien Drahtseilen wie z. B. 35xK7 oder 40xK7 zeigt somit keinerlei Nachteile. Bei ordnungsgemäßem Betrieb wird der Wirbel sich überhaupt nicht bewegen und hat daher eigentlich gar keine Funktion.

Wenn aber durch äußere Kräfte Verdrehung in das Seil eingebracht wird, erfüllt der Wirbel die Funktion eines Ventils, an dem die Verdrehung entweichen kann.

Drehungsfreie Seile der Machart 35xK7 oder 40xK7 sollten mit einem Wirbel eingesetzt werden.

Eine häufig praktizierte Möglichkeit ist der Einsatz eines arretierten Wirbels, der lediglich von Zeit zu Zeit für eine geringe Lastspielzahl geöffnet wird, um ein Entdrallen des Seiles zu ermöglichen.

***Für absolut drehungsfreie Seile hat der Wirbel keinerlei Nachteile, aber den Vorteil, daß sich Verdrehungen, die durch äußere Einflüsse entstanden sind, ausdrehen können.***

***Für nicht-drehungsfreie Seile hat der Wirbel nur Nachteile: Er setzt die Bruchkraft herab, fördert die Ermüdung und läßt Verdrehungen in den Seiltrieb hinein.***

## 21. Was ist zu tun, wenn sich trotz Verwendung eines Wirbels Drall im Seiltrieb aufbaut?

Wie wir oben erläutert haben, versucht jede Seiltrommel, das auflaufende Seil zu verdrehen. Dieser Mechanismus führt immer zu einer Bildung von Drall im Seiltrieb. Beim Einsatz von drehungsfreien Seilen ermöglicht ein Wirbel als Endbefestigung einen Abbau des durch die Trommel oder durch andere Mechanismen erzeugten Dralls. Zu diesem Zweck muß sich jedoch der Drall zunächst einmal über alle zwischen dem Entstehungsort und dem Wirbel liegenden Rollen zum Wirbel hin fortpflanzen.

Dies kann im wesentlichen nur dadurch geschehen, daß sich verdrehtes und somit drallbehaftetes Seil über die jeweilige Rolle hinüberbewegt. Bei besonderen Arbeitsverhältnissen von Kranen kann es jedoch vorkommen, daß einzelne Rollen im Seiltrieb sich überhaupt nicht bewegen, so daß der Drall sich nicht über diese Rolle hinweg bis zum Wirbel hin fortpflanzen kann. Dies sei am Beispiel der Seileinscherung des Turmdrehkrans aus Abb. 51 erläutert.

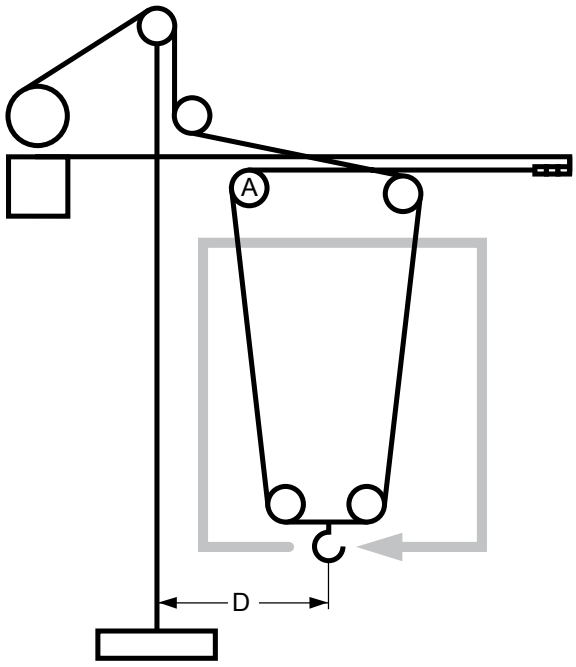



Abb. 51: Beim Heben und Senken dreht Rolle A nicht. Rolle A dreht nur, wenn der Abstand D verändert wird.

Finden bei einem derartigen Turmdrehkran über einen längeren Zeitraum hinweg nur Hubbewegungen statt, ohne daß sich der Abstand der Katze D vom Turm verändert, d. h. ohne daß die Katze während des Einsatzes verfahren wird, so wirkt die letzte Rolle vor dem Wirbel (Rolle A) wie ein Festpunkt, da sie sich bei den Hub- und Absenkbewegungen nicht bewegt.

Ein durch die Trommel oder andere Mechanismen in den Seiltrieb eingebrachter Drall kann somit nicht über diese Rolle hinwegwandern und sich am Wirbel ausdrehen.

Nach einer gewissen Zeit würde der Drallaufbau sich in einer Verdrehung der Hakenflasche, insbesondere im unbelasteten Zustand, äußern. Die Tatsache, daß die Verdrehung im unbelasteten Zustand auftritt, ist dann ein Indiz dafür, daß nicht eine mangelnde Drehungsfreiheit des Seiles für die Verdrehung verantwortlich ist, sondern ein Drallaufbau, der nicht zum Wirbel weiterwandern kann.

In einem derartigen Fall kann eine Abhilfe dadurch geschaffen werden, daß drallbehaftetes Seil über die Rolle A hinwegbewegt wird. Dies bedeutet, daß mehrfach die Katze über die gesamte Auslegerlänge hin und her verfahren werden müßte, eventuell gepaart mit gleichzeitigen Hubbewegungen. Die Hakenflasche könnte beispielsweise den in Abb. 51 gezeigten Weg zurücklegen. In der Regel wird man dann drallabbauende Verdrehungen des Wirbels beobachten können.

Nach einer größeren Zahl von Bewegungen sollte sich der Drall am Wirbel ausgedreht haben. Bleibt der Wirbel dennoch unbeweglich, ist er auf seine Gängigkeit hin zu überprüfen. Der Wirbel sollte von Hand leicht drehbar sein. Ferner ist darauf zu achten, daß der Wirbel gelenkig an der Konstruktion befestigt ist, damit auch ein durchhängendes Seil in der Lage ist, den Wirbel zu verdrehen.

Abb. 52 zeigt einen fest an der Konstruktion angebrachten Wirbel. Dieser Wirbel kann von einem durchhängenden Seil nicht gedreht werden. Abb. 53 zeigt die korrekte Lösung eines gelenkig angebrachten Wirbels.

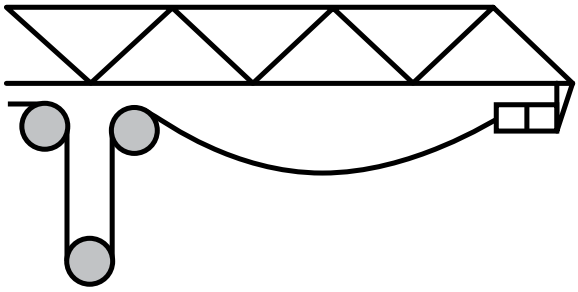


Abb. 52: Fest angebrachter, nur bedingt funktionsfähiger Wirbel.

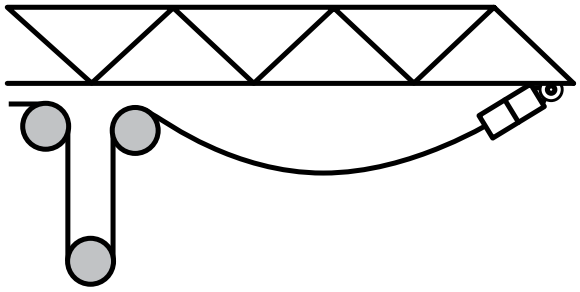


Abb. 53: Gelenkig angebrachter Wirbel. Hier kann der Wirbel dem Durchhang des Seiles folgen.

Der Wirbel sollte gelenkig eingebaut werden, damit er sich mit dem Seil bewegen kann. Der Wirbel ist Teil des Seiltriebes, nicht Teil der Konstruktion.

Eine besonders von den Einbaumaßen her interessante Lösung stellen die Seilendverbindungen mit eingebautem Wirbel dar. Hier liegt der Wirbel immer in Richtung der Seilachse. Abb. 54 zeigt als Beispiel eine Keilendklemme mit eingebautem Wirbel.

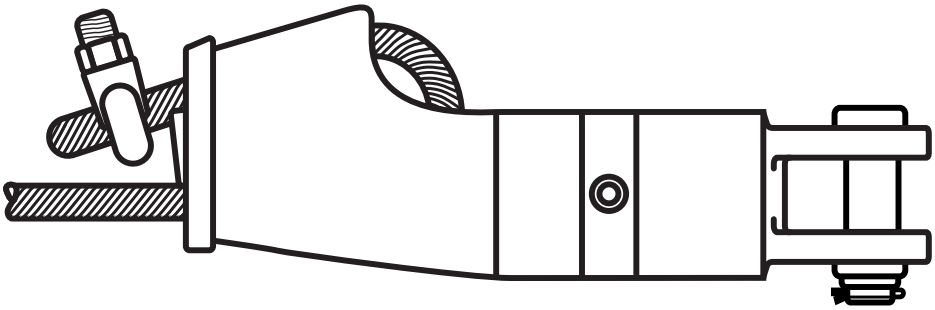


Abb. 54: Keilendklemme mit eingebautem Wirbel.

## 22. Sonderthema: Die Kopplung von Greiferseilen.

Stückgutentladekrane mit Vierseilgreifern arbeiten mit zwei Halte- und zwei Schließseilen (Abb. 55). Um ein Verdrehen des Greifers unter Last zu vermeiden, sind sowohl die Halteseile als auch die Schließseile jeweils in rechtsgängiger und in linksgängiger Machart ausgeführt.

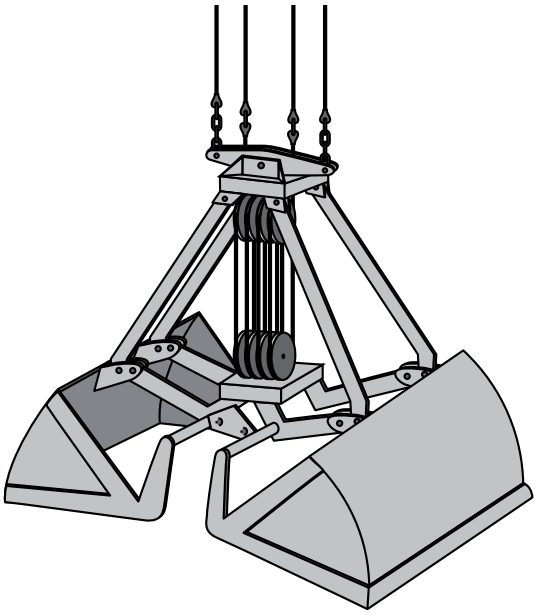


Abb. 55: Vierseilgreifer mit 2 Halte- und 2 Schließseilen.

Bei der Kopplung der Schließseile an die Greiferseile ist darauf zu achten, daß jeweils das linksgängige Schließseil mit dem linksgängigen Greiferseil und das rechtsgängige Schließseil mit dem rechtsgängigen Greiferseil verbunden werden (Abb. 56).

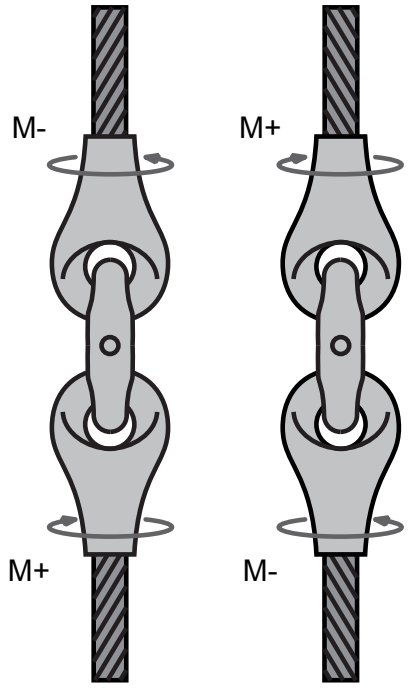



Abb. 56: Korrekte Verbindung der Greiferseile.

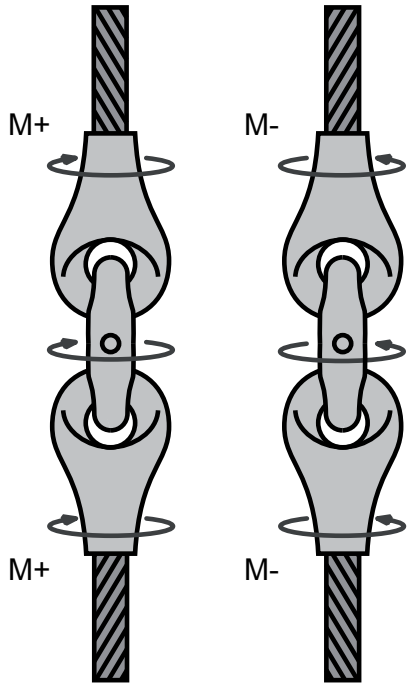



Abb. 57: Falsche Verbindung der Greiferseile. Die Seile drehen einander auf.

Würde ein linksgängiges Greiferseil mit einem rechtsgängigen Schließseil verbunden, würden beide Seile das Kupplungsstück im gleichen Drehsinn zu verdrehen versuchen: Die Seile würden sich unter Belastung gegenseitig aufdrehen (Abb. 57).

Hierdurch würde zum einen die Bruchkraft der Drahtseile erheblich herabgesetzt, zum anderen könnten die gestörten geometrischen Verhältnisse zu Strukturveränderungen des Drahtseiles wie wellenartigen Verformungen und Korbbildungen führen. Das permanente Auf- und Zudrehen der Seile bei Be- und Entlastung würde zudem im Bereich der Endverbindungen zu einer Torsionsermüdung der Drahtseile führen.

Weiterhin besteht die Gefahr, daß sich im Greifer der Seilverband bei Entlastung der Seile lockert, so daß z. B. Kohlenstaub oder Erzstaub in das Seilinnere eindringen kann. Bei erneuter Belastung würde sich das Seil zwar wieder zuziehen, hätte dann aber einen deutlich vergrößerten Durchmesser, so daß es eventuell nicht mehr ordnungsgemäß durch die Rollen läuft. So besteht die Gefahr, daß sich der Greifer beim späteren Betrieb nicht mehr selbsttätig öffnet oder daß das Seil mit Gewalt durch die Rollen gezogen wird.

Eine ähnliche Gefahr besteht auch dann, wenn die gekoppelten Seile zwar die gleiche Schlagrichtung aufweisen, aber von unterschiedlicher Konstruktion oder unterschiedlichem Durchmesser sind (Abb. 58). Hier wirken zwar die Drehmomente, wie gewünscht, entgegengesetzt zueinander, sind aber dennoch unterschiedlich groß.

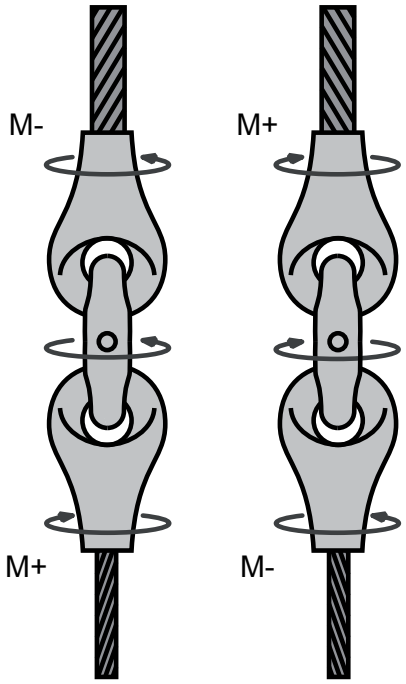



Abb. 58: Verbindung von Drahtseilen gleicher Schlagrichtung, aber unterschiedlicher Durchmesser.

Das Seil mit dem stärkeren Drehmoment (im Falle der unterschiedlich dicken Seile ist dies in der Regel das dickere Seil) wird dann unter Last aufdrehen und das dünnere Seil zudrehen. Die Gefahr der Kopplung von Seilen unterschiedlichen Durchmessers besteht insbesondere dann, wenn auf einem Kran Greifer in verschiedenen Größen eingesetzt werden, die dann leider oft auch unterschiedliche Seildurchmesser aufweisen.

Häufig arbeiten Vierseilstückgutkrane aber auch ohne Greifer. In diesem Fall sollten die vier Seile über eine Traverse miteinander verbunden werden.

Oft werden die linksgängigen und rechtsgängigen Halteseile sowie die linksgängigen und rechtsgängigen Schließseile jeweils miteinander durch ein Seilstück gekoppelt und mit einer Hakenflasche versehen (Abb. 59).

Die Schlagrichtung des Kopplungsseiles kann natürlich nur mit der Schlagrichtung eines der beiden mit ihm verbundenen Seile übereinstimmen. Die andere Kupplung ist zwangsläufig immer eine mit einer falschen Paarung der Schlagrichtungen, so daß hier ein gegenseitiges Aufdrehen der Seile stattfinden wird. Infolge der leichten Bewegungen der Hakenflasche wandert nun immer wieder ein verdrehtes Seilstück über die Rolle in den jeweils anderen Strang, so daß bei genügend großer Einsatzdauer eine derartige Kopplung zur gegenseitigen Zerstörung der drei Seile durch Aufdrehen führt.

Auch die Verwendung eines drehungsfreien Seiles als Kopplungsseil bringt hier nicht den gewünschten Erfolg.

Derartige Kopplungen dürfen lediglich durchgeführt werden, wenn mit Hilfe einer mechanischen Vorrichtung verhindert wird, daß sich die Kupplungen relativ zueinander verdrehen. Ein Ausführungsbeispiel zeigt Abb. 60. Hier sorgt ein Hebel dafür, daß sich die Kupplungen nicht gegeneinander verdrehen können. Da sich aber die Abstände der Kupplungen voneinander verändern können, darf die Verbindung nicht auf beiden Seiten befestigt werden. Vielmehr muß eine Führung auf einer Seite eine relative Verschiebung der Kupplungen zueinander zulassen.

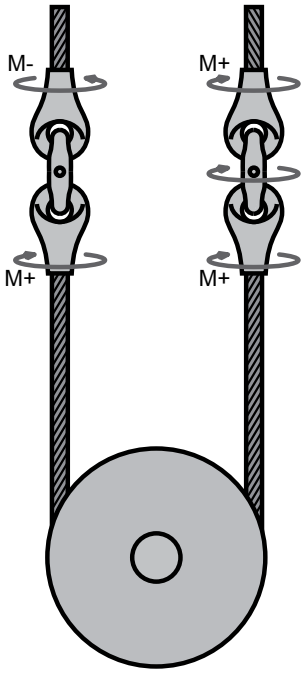



Abb. 59: Nicht verdrehsichere Verbindung zwischen zwei Seilen unterschiedlicher Schlagrichtung.

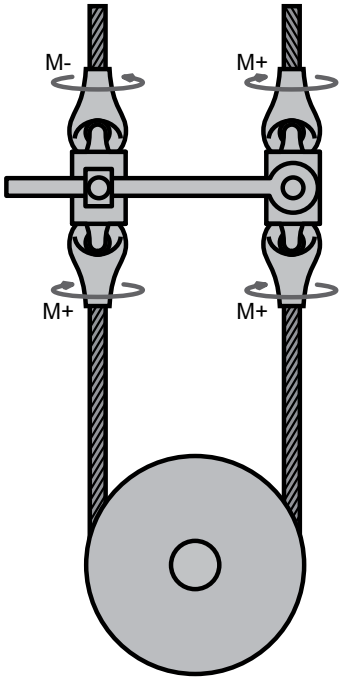



Abb. 60: Verdrehsichere Verbindung zwischen zwei Seilen unterschiedlicher Schlagrichtung.

## 23. Erste Hilfe.

Wenn eine Hakenflasche verdreht, sollte zunächst geprüft werden, ob die Verdrehung unter Last oder im Gegenteil sogar nur im unbelasteten Zustand auftritt (Abb. 61). In 90% aller Fälle gilt:

***Wenn die Hakenflasche unter Last verdreht, liegt ein Seilproblem vor.***

Das Drahtseil ist in diesem Fall nicht genügend drehstabil.
Weiterhin gilt in 90% aller Fälle:

***Wenn die Hakenflasche im unbelasteten Zustand verdreht, liegt ein Kranproblem vor.***

Das Drahtseil wurde durch den Kran verdreht und möchte lediglich in den unverdrehten Zustand zurückdrehen.

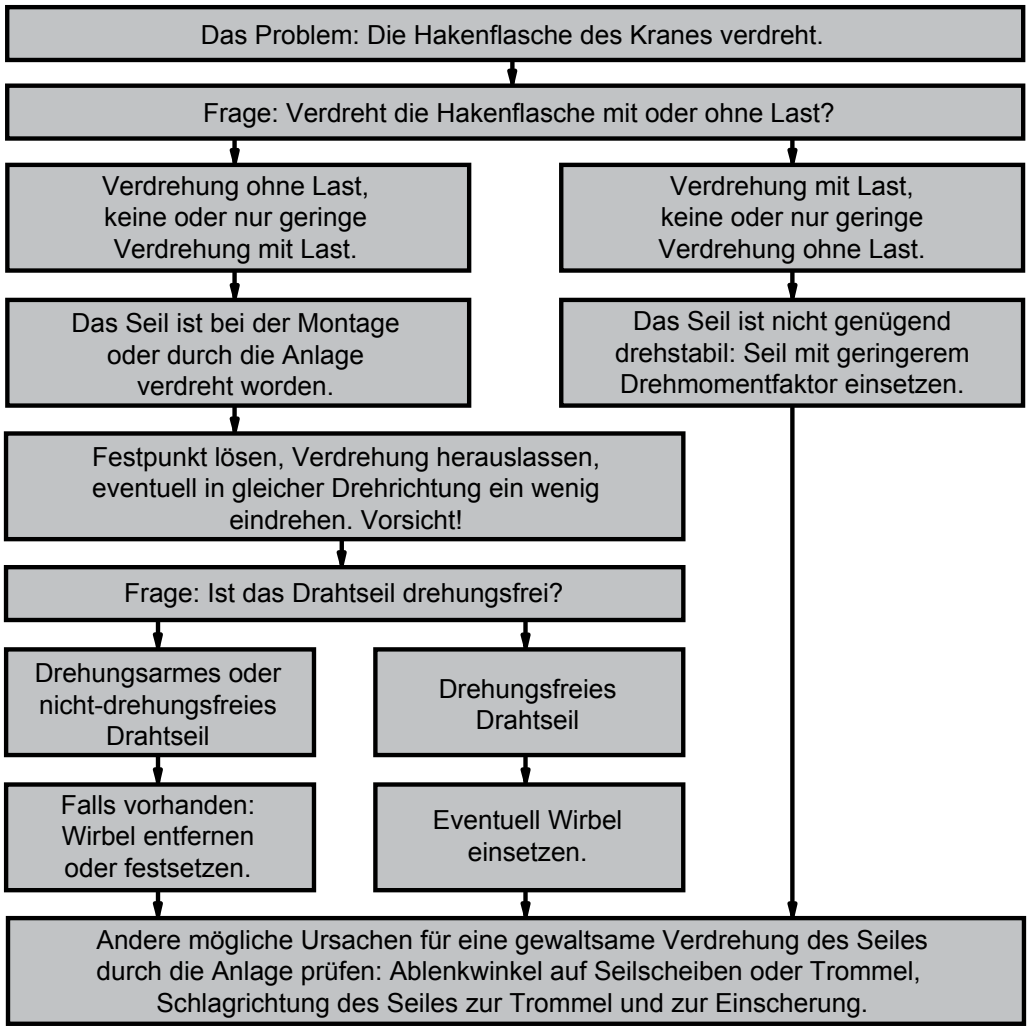



Abb. 61: Keilendklemme mit eingebautem Wirbel.

## 24. Schlußbemerkung.

Die Problematik des Drehverhaltens von Drahtseilen ist äußerst komplex. Die vorliegende Broschüre konnte nur die grundlegenden Fragen behandeln. Sollten Sie ein spezielles Drahtseilproblem haben, hilft Ihnen der Autor dieser Schrift gerne weiter:

Dipl.-Ing. Roland Verreet
Ingenieurbüro für Fördertechnik
Grünenthaler Str. 40a • 52072 Aachen
Tel. 0241- 173147 • Fax 0241- 12982
E-mail: R.Verreet@t-online.de

Wir werden uns bemühen, Ihr Problem zu lösen.

„Ab jetzt benutze ich nur noch drehungsfreie Seile.“

Der Autor dankt Herrn Dipl.-Ing. Stolzenburg, Fa. Vulkan Kocks GmbH, sehr herzlich für seine Verbesserungsvorschläge, die in Kapitel 9 berücksichtigt wurden.

**Ingenieurbüro für Fördertechnik**
Dipl.-Ing. Roland Verreet

Grünenthaler Str. 40a • 52072 Aachen
Tel.: 0241- 173147 • Fax: 0241- 12982
Mail: R.Verreet@t-online.de
www.seile.com