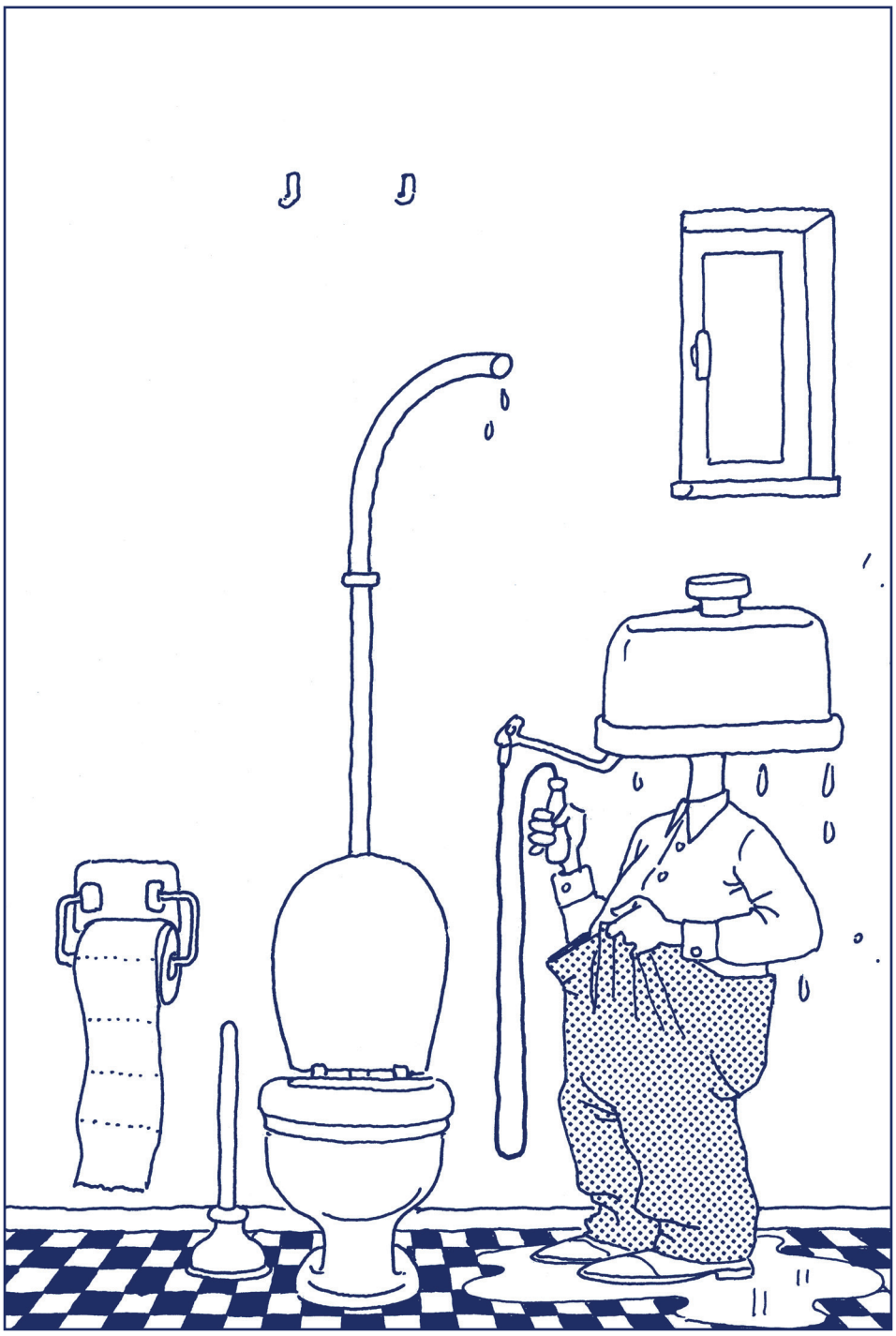
WIRE ROPE
TECHNOLOGY AACHEN



Nachträgliche Veränderungen des Seiltriebes

Nachträgliche Veränderungen des Seiltriebes

von Dipl.-Ing. Roland Verreet

Inhalt

1. Nachträgliche Veränderungen am Seiltrieb 4

2. Fallstudie: Der Schürfkübelbagger 4

3. Fallstudie: Die Hakenverlängerung 5

4. Fallstudie: Die Veränderung der Seillänge am Hüttenwerkskran 7

5. Fallstudie: Das vorgespannte Katzfahrseil 10

6. Fallstudie: Das zu kurze Drahtseil 14

© 2009, 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. Nachträgliche Veränderungen am Seiltrieb

Häufig steht der Betreiber eines Kranes vor dem Problem, daß sich die Arbeitsbedingungen seiner Anlage verändern und deshalb auch Änderungen am Gerät selbst vorgenommen werden müssen. Beispiele hierfür sind eine Tragkrafterhöhung des Kranes oder eine Änderung der Hubhöhe. Schon die Erhöhung der wöchentlichen Betriebsstundenzahl des Gerätes kann trotz gleicher Arbeit Veränderung am Kran erforderlich machen, da sich die Triebwerksgruppe des Kranes verändert.

Selbst auf den ersten Blick unbedeutende Veränderungen am Seiltrieb, wie zum Beispiel eine Änderung der Seillänge um einige Meter, können aber die Seillebensdauer entscheidend beeinflussen oder im Einzelfall sogar katastrophale Folgen haben. Jede Änderung am Seiltrieb sollte daher mit dem Konstrukteur des Kranes oder einem Fachmann abgesprochen werden.

2. Fallstudie: Der Schürfkübelbagger

Selbst ist der Mann! Ein Betreiber hatte in Eigenleistung den Ausleger seines alten Schürfkübelbaggers verlängert. Nicht berücksichtigt hatte er allerdings, daß bei gleicher Seilzugkraft nun ein deutlich höheres Kippmoment entsteht. Die Folge war, daß der Bagger beim ersten Einsatz vornüber in den See fiel.

Abb. 1: Bagger mit Gegengewichten

Für einen Selfmademan ist das natürlich kein Problem. Der Bagger wurde geborgen und mit modernen Gegengewichten versehen (Abb. 1). Das Probebaggern verlief dann auch ohne Zwischenfälle. Die Überraschung kam erst, als der Betreiber den Ausleger absetzte: der Bagger kippte wieder um, diesmal nach hinten.
Aber auch das wirft natürlich einen echten Bastler nicht aus der Bahn. Kurzerhand erhielt der Bagger eine zeitgemäße Kippsicherung (Abb. 2).

Abb. 2: Bagger mit Kippsicherung

3. Fallstudie: Die Hakenverlängerung

Ein Schiffsentladekran in einem Hafen wurde für die Entladung von Papier mit einer Vorrichtung zum Drehen der Last versehen. Gleichzeitig wurde zwischen Hakenflasche und Haken eine vier Meter lange Stange eingesetzt (Abb. 3). Die Folge war, daß das Hubseil nach relativ kurzer Zeit Strukturveränderungen zeigte.

Hierfür waren zwei Mechanismen verantwortlich. Zum einen ist es eine Besonderheit der Vorrichtungen zum Verdrehen der Last, daß sie bei Betätigung zunächst nicht die träge Last, sondern die freihängende Hakenflasche verdrehen. Wenn dies während des Hubvorganges geschieht, durchläuft das Hubseil die Hakenflasche unter einem Ablenkwinkel und wird hierdurch gewaltsam verdreht, was in der Folge zu Strukturveränderungen des Drahtseiles führt.

Abb. 3: Drehwerk mit Hakenverlängerung

Zum anderen hatte das Einsetzen der Stange die Folge, daß sich nun in jeder Stellung des Hakens 8m und somit etwa drei Windungen Seil mehr auf der Trommel befanden als zuvor. Dies wiederum bewirkte, daß das Seil permanent in Bereichen größerer Ablenkwinkel auf der Seiltrommel arbeitete, was ebenfalls zu einer größeren Seilverdrehung beitrug.

In diesem Fall wurde das Problem dadurch gelöst, daß die Seillänge nach Rücksprache mit dem Krankonstrukteur um 8m gekürzt und der Kranfahrer angewiesen wurde, nur mit unverdrehter Hakenflasche zu heben oder zu senken.

4. Fallstudie: Die Veränderung der Seillänge am Hüttenwerkskran

Auf einem Hüttenwerkskran in einem Stahlwerk wurden über viele Jahre hinweg Standzeiten der Drahtseile von etwa 15 bis 18 Monaten erreicht.

Die Seillängen waren so ausgelegt, daß der Kran die angehängte Pfanne unter Flur absetzen konnte. Nachdem eines Tages die Mulde im Boden zugeschüttet worden war, kamen die Betreiber der Anlage zu dem Schluß, die aufliegenden Drahtseile seien nun zu lang, da man ja den Punkt unter Flur nicht mehr anfahren würde. Sie bestellten daher den folgenden Seilsatz in einer entsprechend kürzeren Länge.

Die Betreiber hatten am Kran keinerlei sonstige Veränderungen vorgenommen, sie hatten lediglich die Kosten für die Drahtseile durch den Einkauf kürzerer Seile gesenkt. Man war allgemein mit der Entscheidung zufrieden, und niemand ahnte die sich anbahnende Katastrophe.

Die neu aufgelegten kürzeren Drahtseile wurden wie üblich regelmäßig überwacht, und auch nach einer Standzeit von etwa 11 Monaten zeigten die Seile noch keinerlei Drahtbrüche. Vergleiche mit Aufzeichnungen der früheren Seile zeigten, daß eigentlich auch noch keine Drahtbrüche zu erwarten seien, und deshalb war niemand beunruhigt.

Drei Tage nach der Inspektion rissen die aufliegenden Drahtseile und verursachten einen Sachschaden in Höhe von fast einer Million €. Personen kamen glücklicherweise bei dem Unfall nicht zu Schaden.

Eine Untersuchung des Schadenfalles brachte Folgendes zutage: Die Konstrukteure hatten den Kran so ausgelegt, daß die Ablenkwinkel auf der Seiltrommel und auf der ersten Scheibe der Einscherung genau dann Null waren, wenn sich die Traverse in höchster Hakenstellung befand.
In tiefster Hakenstellung erreichten die Ablenkwinkel den nach DIN 15020 zulässigen Wert von genau 4,0° (Abb. 4).
Nach dem Kürzen der Drahtseile um einen Betrag, der etwas mehr als zwei Trommelwindungen entsprach, liefen nun in jeder beliebigen Position der Traverse die Seilstränge um etwas mehr als zwei Windungen nach außen versetzt auf der Seiltrommel auf. Für jede beliebige Hakenhöhe bedeutete dies aber einen größeren Ablenkwinkel auf der Seiltrommel und auf der ersten Scheibe als dies bisher bei der gleichen Hakenhöhe der Fall gewesen war.

In tiefster Hakenstellung wurden nun die zulässigen 4° Ablenkwinkel überschritten (Abb. 5). Allein durch diesen Umstand waren die Regeln der DIN 15020 verletzt, und der Kran hätte gar nicht mehr betrieben werden dürfen.

Viel gravierender war allerdings die Tatsache, daß bei höchster Hakenstellung, bei der sich nur eine äußerst kurze Seillänge zwischen der Seiltrommel und der ersten Seilscheibe befindet, der Winkel nicht mehr wie bisher 0° war, sondern einen Wert von sage und schreibe 2,56° annahm.

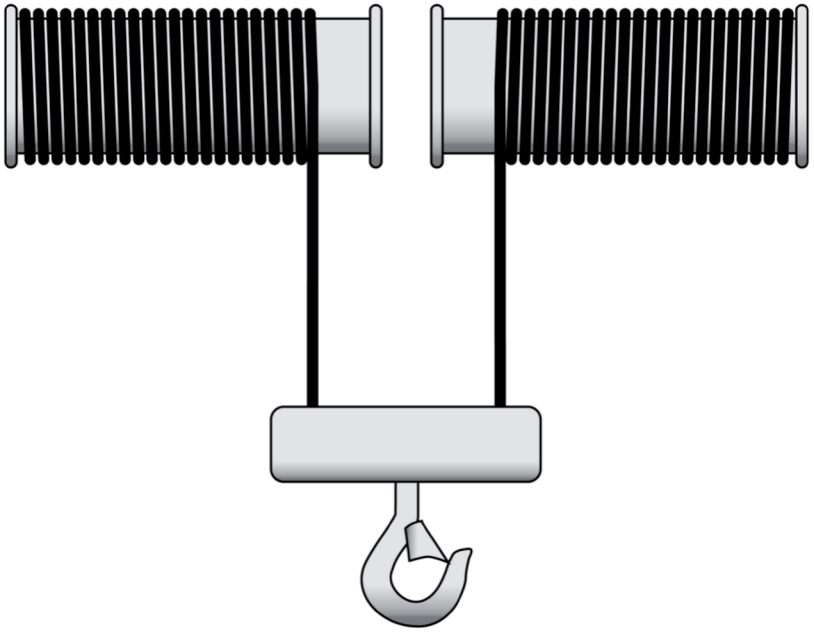


Abb. 4: Ablenkwinkel 0° vor der Veränderung

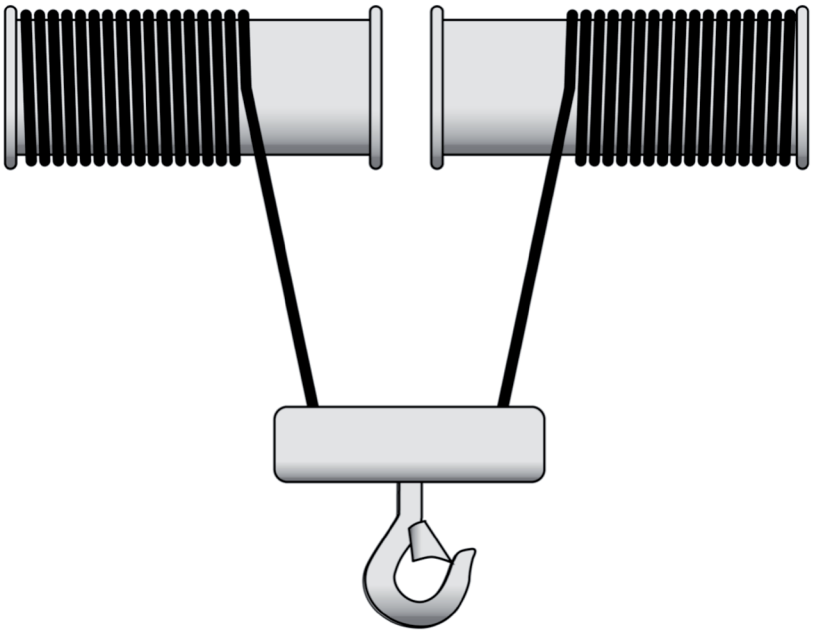


Abb. 5: Ablenkwinkel 2,6° nach der Veränderung

Wie wir bereits gehört haben, bewirken Ablenkwinkel durch ein Hinabscheiben des Drahtseils an der Rillenflanke der Trommel oder der Seilscheibe eine Verdrehung des Drahtseils. Diese Verdrehung je Meter gespulten Drahtseils war natürlich in tiefster Hakenstellung besonders groß, da hier mehr als 4° Ablenkwinkel vorlagen. Auf der anderen Seite war aber auch die freie Seillänge zwischen Seiltrommel und Seilscheibe in dieser Position relativ groß, so daß diese Verdrehung von einer relativ großen Seillänge aufgenommen werden konnte.

Viel kritischer war daher der Umstand, daß bei einem Abstand zwischen diesen beiden Auflaufpunkten von weniger als drei Meter noch ein Ablenkwinkel von über 2 1/2° vorgelegen hat. Dies bedeutete nämlich, daß eine gewaltige Verdrehung in ein extrem kurzes Seilstück eingebracht wurde.

Im ursprünglichen Zustand hatten die Ablenkwinkel zwischen 0° und 4° gelegen, im Mittel also bei 2°. In den kritischen Phasen kurzer freier Seillänge waren die Winkel nahezu null gewesen.

Im veränderten Zustand lagen die Ablenkwinkel nun zwischen 2,56° und über 4°, im Mittel also bei über 3,30°. In den kritischen Phasen kurzer freier Seillänge waren die Winkel nun größer als 2,50°.

Die hier geschilderten Mechanismen haben zu einer enormen Verdrehung der aufliegenden Drahtseile geführt. Diese Verdrehung wiederum bewirkte eine starke Überlastung der inneren Seilelemente, die hierdurch relativ schnell zerstört wurden. Die Außendrähte der Drahtseile aber wurden nahezu völlig entlastet, so daß natürlich aussen keine sichtbaren Drahtbrüche mehr auftraten. Die inneren Seilschäden konnten durch die optischen Kontrollen nicht entdeckt werden, so daß der Unfall praktisch unvermeidlich war.

Die Ursache des Unfalls ist natürlich unzweifelhaft in der unzulässigen Veränderung des Kranes durch das Kürzen der Drahtseile zu suchen. Ein Kranbetreiber muß sich darüber im klaren sein, daß er durch eine Veränderung der Seillänge dramatische Veränderungen an seinem Kran vornimmt. Ein Laie kann die möglichen Konsequenzen auch kleinerer Veränderungen unmöglich überschauen und sollte bei einer derartigen Maßnahme immer den Krankonstrukteur zu Rate ziehen. Der erfahrene Konstrukteur hätte natürlich im vorliegenden Fall den Trommelfestpunkt versetzt und hierdurch den Schaden vermieden.

5. Fallstudie: Das vorgespannte Katzfahrseil

Auf einem Containerkran wird eine Laufkatze mit Hilfe von Drahtseilen horizontal über den Ausleger bewegt. Normalerweise sind zwei seeseitige und zwei landseitige Katzfahrseile jeweils mit einem Ende an der Katze und mit dem anderen Ende an der Seiltrommel befestigt (Abb. 6). Wir wollen hier vereinfachend annehmen, daß zur Bewegung der Katze eine Zugkraft von 2t erforderlich ist und mit gerundeten Zahlenwerten rechnen.

Betrachten wir nun den Fall, daß die Laufkatze von einer Position über dem Schiff in Richtung Land bewegt werden soll:

Die Seiltrommel wird in eine Drehung versetzt, die in unserer Abb. 6 einer Drehung im Gegenuhrzeigersinn entspricht. Hierbei werden zunächst die landseitigen Seile gedehnt und auf die erforderlichen Zugkräfte gebracht, ohne daß sich die Katze bewegt. Während dieses Vorgangs wird aber bereits seeseitig genau soviel Seil abgetrommelt, wie auf der anderen Seite infolge Seildehnung aufgetrommelt wird, so daß seeseitig Schlappseil entsteht. Wenn nun landseitig die erforderlichen 2t Zugkraft erreicht werden, setzt sich die Katze in Bewegung. Hierdurch wird nun auch eine Zugkraft auf die inzwischen weit durchhängenden seeseitigen Seile ausgeübt, die nun peitschenartig nach oben schnellen und in der Folge stark schwingen.

Wenn die Katze die gewünschte Position über Land erreicht hat, beendet der Kranführer die Drehbewegung der Trommel. Aufgrund ihrer Trägheit wird die Katze aber zunächst weiterfahren und die landseitigen Seile entlasten, gleichzeitig aber die seeseitigen Seile spannen. Diese werden die Katze unter starken Schwingungen zum Stillstand bringen.

Bei einer Bewegung in entgegengesetzter Richtung wird sich der Vorgang genau umgekehrt abspielen. Festzuhalten bleibt Folgendes:

1. Bei jeder Fahrt des nicht vorgespannten Seilsystems sind die ziehenden Seile mit 2t Stranglast beaufschlagt, die gegenüberliegenden Seile sind entlastet.

2. Das System schwingt sehr stark, die Positioniergenauigkeit ist aufgrund des „Nachlaufens“ der Katze sehr schlecht.

Um die Seilschwingungen zu reduzieren und die Positioniergenauigkeit der Anlage zu erhöhen, sind die Hersteller von Containerkranen bestrebt, die seeseitigen und landseitigen Drahtseile gegeneinander zu verspannen. Die Wirkung dieser Maßnahme wollen wir im Folgenden anhand der gleichen Katzfahrbewegung untersuchen:

Gehen wir beispielsweise davon aus, daß die Seile mit einer Stranglast von 1,2t vorgespannt, d.h. gegeneinander verspannt wurden. Diese Vorspannkraft wurde im vorliegenden Fall durch ein aus drei Scheiben bestehendes Spannsystem aufgebracht, deren Scheiben nach diesem Vorgang in ihrer Position arretiert wurden (Abb. 7).

Betrachten wir nun wieder die Situation, daß die Laufkatze von einer Position über dem Schiff in Richtung Land bewegt werden soll:

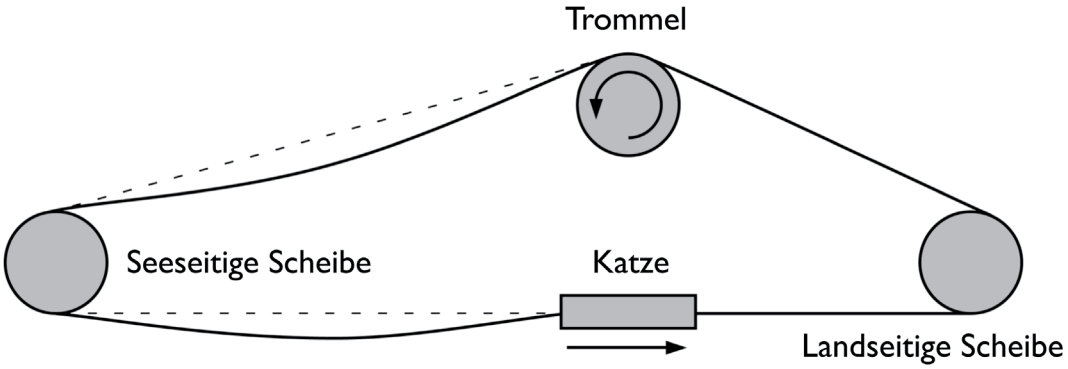


Abb. 6: Nicht vorgespanntes System

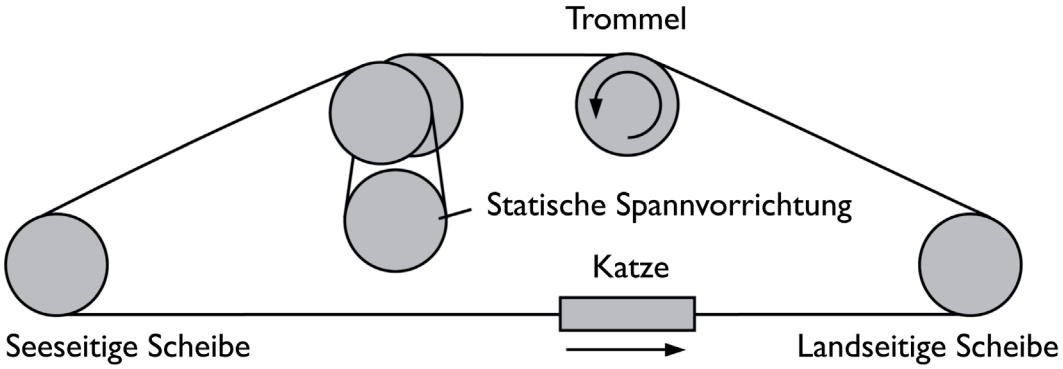


Abb. 7: Statisch vorgespanntes System

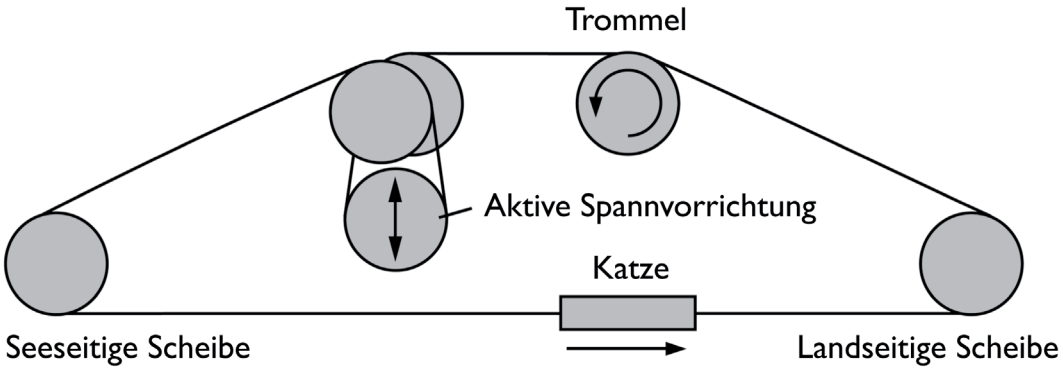


Abb. 8: Dynamisch vorgespanntes System

Die Seiltrommel wird in eine Drehung versetzt, die in unserer Abb. 7 einer Drehung im Gegenuhrzeigersinn entspricht. Hierbei werden zunächst die landseitigen Seile weiter gedehnt und auf höhere Zugkräfte gebracht, ohne daß sich die Katze bewegt. Während dieses Vorgangs wird wiederum seeseitig genau soviel Seil abgetrommelt, wie auf der anderen Seite infolge Seildehnung aufgetrommelt wird, so daß die seeseitigen Drahtseile entlastet werden. Wenn nun landseitig z.B. 2,2t Zugkraft erreicht werden, hat sich die Gegenkraft der seeseitigen Seile auf 0,2t abgebaut. Die resultierende Kraft auf die Katze beträgt nun genau die erforderlichen 2t, und so setzt sich die Katze in Bewegung. Infolge der verbleibenden 0,2t Stranglast in den seeseitigen Seilen werden diese weniger durchhängen und als Folge auch weniger schwingen.

Wenn die Katze die gewünschte Position über Land erreicht hat, beendet der Kranführer die Drehbewegung der Trommel. Aufgrund ihrer Trägheit wird die Katze wieder das Bestreben haben, weiterzufahren und die landseitigen Seile zu entlasten. Da die seeseitigen Seile aber bereits eine Vorspannung aufweisen, erfolgt der Bremsvorgang der Katze erheblich schneller. Festzuhalten bleibt Folgendes:

1. Bei jeder Fahrt des mit 1 ,2t vorgespannten Seilsystems sind die ziehenden Seile mit 2,2t Stranglast, die gegenüberliegenden Seile mit 0,2t Stranglast beaufschlagt (Abb. 9).

2. Das vorgespannte System schwingt erheblich weniger als ein nicht vorgespanntes System, seine Positioniergenauigkeit ist erheblich besser.

3. Aufgrund der etwa 10% höheren Stranglasten gegenüber dem nicht vorgespannten System wird die Seillebensdauer geringfügig sinken. Dieser Nachteil wird aber wegen der Verbesserungen in der Positioniergenauigkeit und der Reduzierung der Schwingungen gerne in Kauf genommen.

Nun haben aber Drahtseile die Eigenschaft, sich im Lauf des Betriebes zu dehnen und die in sie eingebrachte Vorspannung abzubauen. Nach einer gewissen Zeit wird sich daher das vorgespannte System genauso verhalten wie das oben geschilderte nicht vorgespannte System. Dies bedeutet, daß bei einem vorgespannten Katzfahrsystem die Drahtseile in regelmäßigen Zeitabständen nachgespannt werden müssen.

Im Falle des hier geschilderten Dreischeibensystems muß also von Zeit zu Zeit die Arretierung gelöst und der Spannweg der beweglichen Scheibe so vergrößert werden, daß sich die gewünschte Seilvorspannung wieder einstellt. Die Verschiebung der beweglichen Scheibe erfolgt meist hydraulisch, und die Druckanzeige der Hydraulik kann dazu verwendet werden, die Seilvorspannung zu messen.

Der Betreiber eines Containerkranes wollte sich die Arbeit des regelmäßigen Nachspannens dadurch vereinfachen, daß er die Spannscheibe nicht nur während des Nachspannvorgangs mit der Kraft des Hydraulikzylinders beaufschlagte, sondern während der gesamten Betriebszeit des Kranes. Das Vorspannsystem sollte über die gesamte Betriebsdauer automatisch jede Seilverlängerung kompensieren.

Durch das Öffnen des Ventils verwandelte der Betreiber sein statisches Vorspannsystem in ein dynamisches, aktives System (Abb. 8).

Der Erfolg schien ihm zunächst recht zu geben: die Katze bewegte sich ohne Schwingungen, die Positioniergenauigkeit war auch nach Wochen noch hervorragend. Nur die Seile machten Schwierigkeiten: während üblicherweise auf diesen Kranen Standzeiten der Katzfahrseile von einigen Jahren erreicht werden, hatte dieser Betreiber nach drei Monaten einen Seilriß zu verzeichnen. Ursache war, wie sich später herausstellen sollte, das „aktive“ Vorspannsystem.

Betrachten wir nun für das „aktive“ System die Situation, daß die Laufkatze von einer Position über dem Schiff in Richtung Land bewegt werden soll:

Die Seiltrommel wird in eine Drehung versetzt, die in unsere Abb. 8 einer Drehung im Gegenuhrzeigersinn entspricht. Hierbei werden zunächst die landseitigen Seile weiter gedehnt und auf höhere Zugkräfte gebracht, ohne daß sich die Katze bewegt. Während dieses Vorgangs wird seeseitig genau soviel Seil abgetrommelt, wie auf der anderen Seite infolge Seildehnung aufgetrommelt wird, so daß die seeseitigen Drahtseile entlastet werden.

	Vorspannung	**Seilkraft Zugstrang**	**Seilkraft Gegenseite**
Nicht vorgespanntes System	0,0 t	2,0 t	0,0 t
Statisch vorgespanntes System	1,2 t	2,2 t	0,2 t
„Aktiv“ vorgespanntes System	1,2 t	3,2 t	1,2 t

Abb. 9: Seilkräfte der drei Systeme

Wenn nun landseitig z.B. 2,2t Zugkraft erreicht werden, hätte sich die Gegenkraft der seeseitigen Seile normalerweise auf 0,2t abgebaut. Das aktive Vorspannsystem ist aber darauf programmiert, die Seilzugkraft auf konstantem Niveau von 1,2t zu halten und hat daher zwischenzeitlich bereits den Zugkraftabfall kompensiert. Die resultierende Kraft auf die Katze beträgt daher nun lediglich 1t, und diese Kraft ist nicht ausreichend, um die Katze in Bewegung zu setzen. Die Trommel wird daher die landseitigen Seile so lange weiter vorspannen, bis sich eine Kraft von 3,2t aufgebaut hat. Nun endlich ist die resultierende Kraft groß genug, um die Katze zu bewegen. Festzuhalten bleibt Folgendes:

1. Bei jeder Fahrt des dynamisch vorgespannten Seilsystems sind die ziehenden Seile mit 3,2t Stranglast, die gegenüberliegenden Seile mit 1,2t Stranglast beaufschlagt (Abb. 9).

2. Im dynamisch vorgespannten System ist die Zugkraft im landseitigen Strang 45% höher, im seeseitigen Strang 500% höher als im statisch vorgespannten System. Infolge der deutlich höheren Stranglasten sinkt die Seillebensdauer dramatisch.

Dies ist ein erschreckendes Beispiel dafür, wie durch eine einzige Handbewegung (das Öffnen des Ventils) ein Kran in Hinblick auf die auftretenden Seilkräfte völlig verändert werden kann.

Selbst bei kleinen, vermeintlich unwesentlichen Veränderungen sollte der Hersteller des Kranes konsultiert werden!

6. Fallstudie: Das zu kurze Drahtseil

Das Hubwerk eines Offshorekranes besteht aus zwei symmetrisch angeordneten Seiltrieben mit je einer sechslagig bewickelbaren Seiltrommel und einer viersträngigen Einscherung (2 x 4/1) mit einer Wippe für den Längenausgleich. Nach der Montage der Drahtseile vom Nenndurchmesser 30mm hing die Unterflasche schief, und die Wippe war bis zum Anschlag verdreht. Der Höhenunterschied zwischen der linken und der rechten Seite der Unterflasche betrug etwa 800mm. Offensichtlich war eines der Seile mehr als 3m länger als das andere. Die Seile wurden wieder demontiert und nebeneinander auf dem Boden ausgezogen, um sie auf die gleiche Länge zu kürzen. Zur Überraschung der Beteiligten waren die Drahtseile exakt gleich lang!

Ursache für die vermeintliche Längendifferenz waren Unterschiede in den Durchmessern der beiden Drahtseile. Dies soll im folgenden anhand eines Zahlenbeispieles mit gerundeten Zahlen erläutert werden.

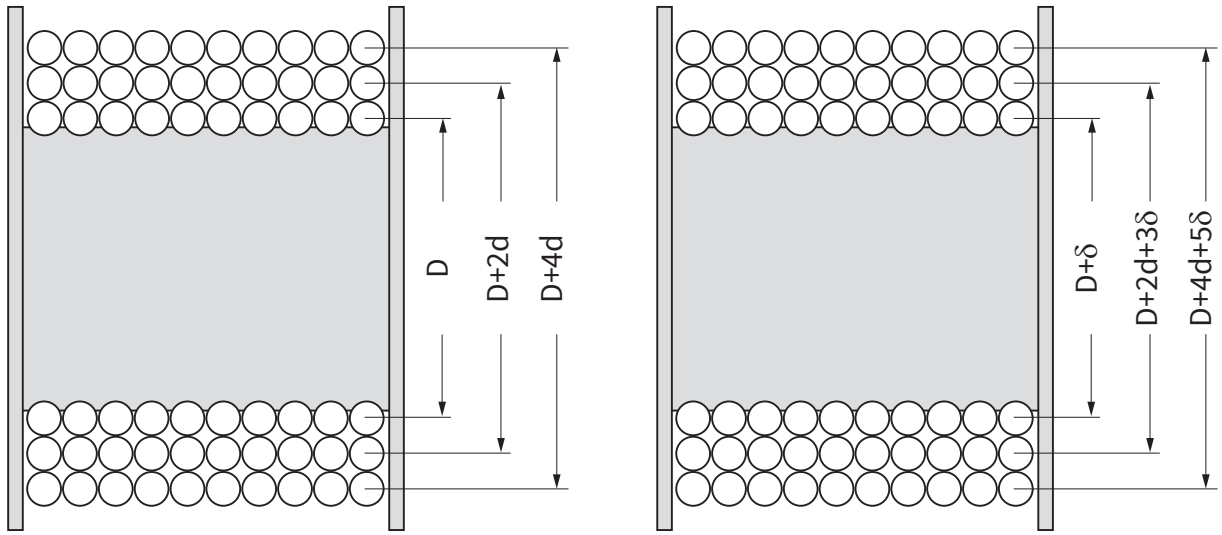


Abb. 10: Unterschiedliche Wickeldurchmesser verursacht durch unterschiedliche Seildurchmesser.

Gehen wir davon aus, daß die Effektivdurchmesser der Seile exakt 30,2mm und 31,2mm betrugen. Beide Werte liegen im zulässigen Toleranzfeld eines Drahtseiles mit einem Nenndurchmesser von 30mm. Betrachten wir nun die Auswirkungen der Durchmesserdifferenz von 1mm auf den Wickeldurchmesser der Trommeln und auf die pro Trommelumdrehung gespulte Seillänge.

In der ersten Lage auf der Trommel ist der Wickeldurchmesser gleich dem Durchmesser der Trommel im Rillengrund plus dem Effektivdurchmesser des Seiles (Abb. 10). Da die Seile sich im Effektivdurchmesser um 1mm unterscheiden, wickelt die eine Trommel pro Umdrehung etwa 3mm mehr auf als die andere. Bei 30 Trommelwindungen summiert sich die erzeugte Längendifferenz in der ersten Lage auf 90mm (Abb. 10).

Lage Nr.	Durchmessser-differenz der Lage [mm]	Längendifferenz jeder Windung der Lage [mm]	Summe der Längendifferenz der Lage [mm]
1	1	3	90
2	3	9	270
3	5	15	450
4	7	21	630
5	9	27	810
6	11	33	990
Gesamte Längendifferenz [mm]			3240
Höhendifferenz bei 4-strängigem Betrieb [mm]			810

Abb. 11: Differenzen der Wickellängen, verursacht durch unterschiedliche Seildurchmesser.

In der zweiten Lage auf der Trommel ist der Wickeldurchmesser (vereinfacht) gleich dem Durchmesser der Trommel im Rillengrund plus drei mal dem Effektivdurchmesser des Seiles (Abb. 11). Hier unterscheiden sich die Wickeldurchmesser bereits um 3mm und die Längendifferenzen pro Wicklung bereits um etwa 9mm. Die in der Lage erzeugte Längendifferenz beträgt 270mm.

Mit jeder weiteren Lage erhöht sich der Unterschied im Wickeldurchmesser um weitere 2mm, der Unterschied der pro Trommelumdrehung gespulten Länge um etwa 6mm und die erzeugte Längendifferenz um weitere 180mm. Für sechs genutzte Trommellagen summieren sich die so erzeugten Längendifferenzen auf 3240mm (Abb. 10). Verteilt auf die vier Stränge der Einscherung ergibt dies die beobachtete Höhendifferenz zwischen den beiden Seiten der Unterflasche von etwa 800mm.

Und die Moral von der Geschichte? Bei Zwillingshubwerken mit mehrlagiger Bewicklung sollten sich die beiden Drahtseile nicht zu sehr im Effektivdurchmesser unterscheiden.

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