

Ursachen und Auswirkungen

# Laufende Seile unter Verdrehung

In der Praxis können verschiedene Ursachen zu einer Verdrehung der im Betrieb befindlichen Seile führen. Die Auswirkungen von diskreten Verdrehwinkeln auf die Lebensdauer laufender Drahtseile sind bisher jedoch unbekannt. Mithilfe der Ergebnisse aus einem an der Universität Stuttgart durchgeführten Forschungsprojekt lässt sich erstmals dieser Einfluss in Abhängigkeit vom Verdrehwinkel quantitativ bestimmen.

■ Tobias Weber  
■ Karl-Heinz Wehking

**Einfluss der Verdrehung – ein Forschungsprojekt**

Drahtseile sind in der fördertechnischen Anwendung häufig verwendete Elemente, deren Einsatz meist von zentraler Bedeutung ist. Aufbauend auf den Ergebnissen kontinuierlicher Forschung lässt sich die Seillebensdauer sowohl für stehende als auch für laufende Seile bei Berücksichtigung verschiedenster Einflussgrößen mit guter Genauigkeit berechnen [1].

Laufende Seile erfahren im Vergleich zu den statisch eingebauten stehenden Seilen eine zusätzliche Biegebelastung beim Lauf über Seilscheiben oder beim Aufwickeln auf eine Winde. Sie

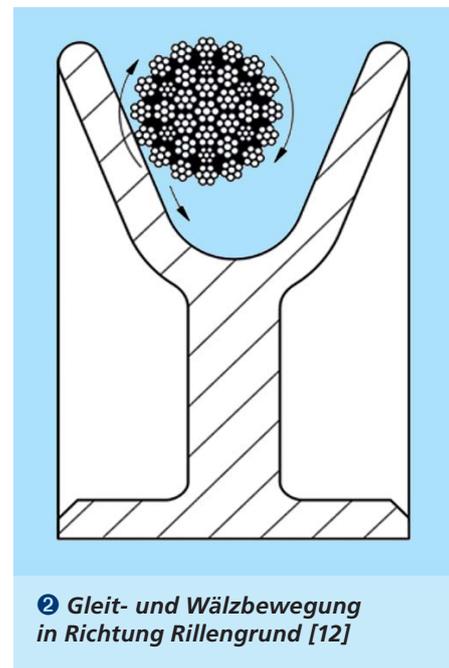
werden z. B. in Aufzügen sowie in Kran- und Schachtförderanlagen angewendet. Die Berechnungsgrundlage zur Bestimmung der Lebensdauer laufender Drahtseile wurde von Feyrer [2] aufgestellt:

$$\lg N = a_0 + \left( a_1 + a_3 \cdot \lg \frac{D}{d} \right) \cdot \left( \lg \frac{S}{d^2} - 0,4 \cdot \lg \frac{R_0}{1770} \right) + a_2 \cdot \lg \frac{D}{d} + \lg f_d + \lg f_i$$

- S Seilzugkraft
- d Seilnenn Durchmesser
- R<sub>0</sub> Drahtnennfestigkeit
- a<sub>i</sub> Seiltypkonstanten
- D Scheibendurchmesser
- f<sub>d</sub> Biegewechselsfaktor Seildurchmesser
- f<sub>i</sub> Biegewechselsfaktor Seilbiegelänge.

In umfangreichen Versuchsreihen konnten weitere Einflüsse auf die Seillebensdauer untersucht werden, die zum einen vom Seilaufbau abhängig sind (z. B. Litzenzahl und Einlage), zum anderen aus der Anwendung kommen (z. B. Rillenformen, Scheibenmaterial, Schrägzug). Die ermittelten Einflüsse werden u. a. durch sog. Biegewechselsfaktoren abgebildet [3].

Bei laufenden Drahtseilen kann es aus verschiedenen Gründen dazu kommen, dass sich die im Betrieb eingesetzten Seile in einem verdrehten Zustand befinden. Deshalb wurden am Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) der Universität Stuttgart eigenfinanzierte Versuche durchgeführt, die den Einfluss diskreter Verdrehungen auf die



② Gleit- und Wälzbewegung in Richtung Rillengrund [12]

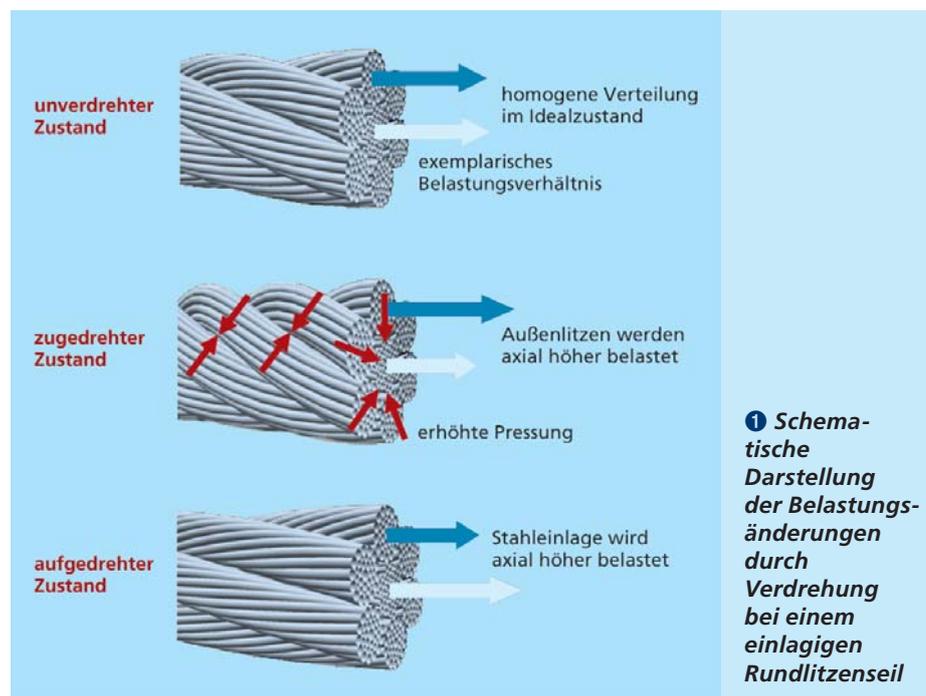
Lebensdauer laufender Drahtseile abbilden [4]. Auf Basis dieser ersten Untersuchungen wurde ein Forschungsprojekt mit dem Titel „Einfluss kombinierter Zug-, Biege- und Torsionsbeanspruchung auf die Lebensdauer und Abergereife laufender Drahtseile“ generiert, das durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wurde (Projektlaufzeit: 01.06.2010 bis 31.05.2012). Nachfolgend werden die Ursachen, die zu einer Seilverdrehung führen können, betrachtet und erste Ergebnisse des Forschungsprojekts dargestellt.

**Ursachen für die Seilverdrehung**

Sowohl bei der theoretischen Betrachtung als auch in der praktischen Anwendung ist das Auftreten von verdrehten Seilen hinreichend bekannt. In der Literatur [5 bis 9] werden u. a. folgende Ursachen genannt:

- ▶ Höhenspannung
- ▶ Schrägzug
- ▶ torsionale Wechselwirkungen
- ▶ Montage.

Stahlseile erfahren bei der Überwindung größerer Höhendifferenzen unterschiedliche Lastniveaus. Am unteren Ende des Seilstranges liegt lediglich die Nutzlast S<sub>0</sub> an, während am oberen Ende die Nutzlast S<sub>0</sub> und das Gewicht des Seils wirken. Haben das obere und das untere Ende des Seils keinen rotatorischen Freiheitsgrad, bildet sich ein über die Seillänge homogenes Drehmoment aus. Durch die unterschiedli-



① Schematische Darstellung der Belastungsänderungen durch Verdrehung bei einem einlagigen Rundlitzenseil

chen Lastniveaus verdreht sich das Seil unter Höhenspannung pro Längeninkrement unterschiedlich. Das Seil dreht sich am oberen Ende auf, während es sich am unteren Ende zudreht (vgl. [3] und [10]).

Der Drehwinkel  $\varphi$  des Seils nimmt nahe der Längsmittle ein Maximum ein, während  $\varphi$  an den verdrehsteifen Enden zu Null wird. Die Ableitung des Winkels  $\varphi$  über dem Längeninkrement  $dx$  ergibt den Verlauf des Verdrehwinkels  $\omega$ , der an beiden Seilenden seinen im Betrag maximalen Wert annimmt. Der Verdrehwinkel  $\omega$  ist am oberen Ende negativ und am unteren Ende positiv. Nach der Vorzeichendefinition von Feyrer [3] beschreibt dies ein Aufdrehen im oberen und ein Zudrehen im unteren Bereich des Seils. Wird ein Seil aufgedreht, verlängert sich dementsprechend seine Schlaglänge. Wird es dagegen zudedreht, verkürzt sich die Seilschlaglänge analog.

In Abhängigkeit von der Seilkonstruktion kann die Verdrehung unterschiedliche Auswirkungen auf die geometrischen Zusammenhänge im Seil haben. Durch die Änderungen der Kontaktverhältnisse können sich die Pressungsverhältnisse zwischen den einzelnen Drähten ändern. Des Weiteren entsteht durch die geometrische Längenänderung, die durch die Verdrehung hervorgerufen wird, eine Lastumverteilung je nach Seilaufbau und Verdrehrichtung. Bild 1 stellt dies exemplarisch für ein einlagiges Rundlitzenseil mit Stahleinlage dar.

In Seiltrieben (z. B. bei Kranen) kann es konstruktiv notwendig sein, die Seilscheiben so anzuordnen, dass ein Schrägzug des Seils die Folge ist. Durch das schräge Auflaufen eines Seils auf die Scheibe trifft das Seil auf die Scheibenflanke und bewegt sich anschließend in einer Mischform aus Gleiten und Wälzen (Bild 2) in den Rillengrund [11]. Das Auftreten dieses Vorgangs wurde bereits normativ erfasst, und die Schrägzugwinkel wurden je nach Seilklasse beschränkt [12, 13].

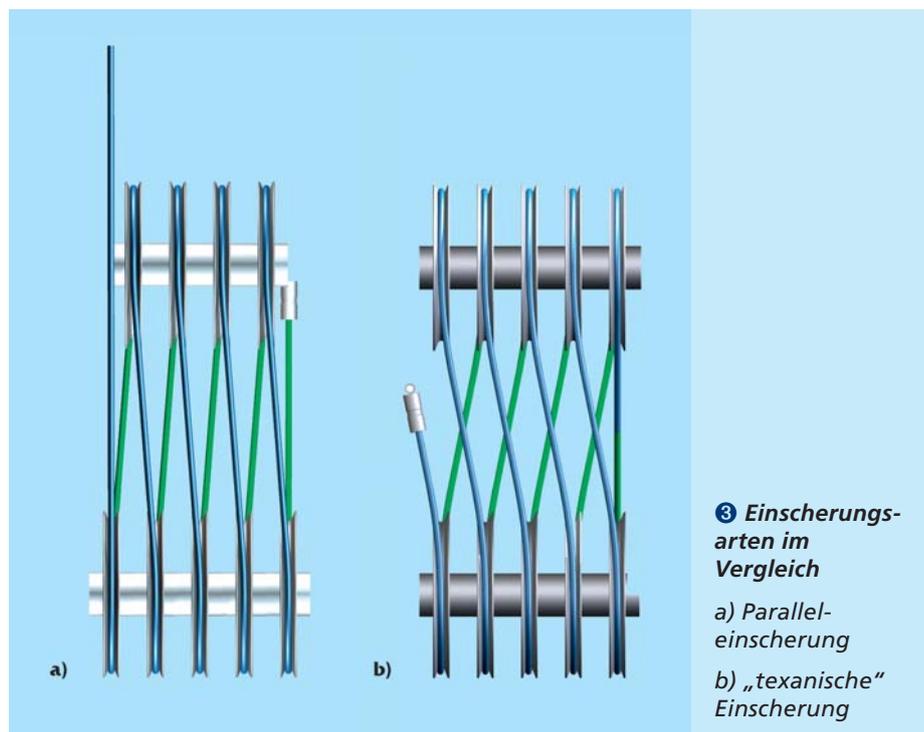
Die Wälzbewegung hat eine Seilverdrehung zur Folge, die im Wesentlichen vom Reibwert zwischen Seilscheibe und Seil, der längenbezogenen Auflagenkraft, der Auflagenlänge sowie der Verdrehsteifigkeit abhängig ist. Die Auflagenkraft und die Auflagenlänge sind u. a. wiederum vom vorliegenden Schrägzugwinkel abhängig.

Mit zunehmendem Reibwert zwischen Seil und Scheibe vergrößert sich der Verdrehwinkel  $\omega$  entsprechend. Bei

der Materialpaarung Stahlseil-Kunststoffscheibe liegt ein höherer Reibwert vor als bei der Materialpaarung Stahlseil-Stahl- oder Gussstoffscheibe. Dies führt somit bei Kunststoffscheiben zu einer höheren Verdrehung des schräg auflaufenden Seils, als dies bei Stahlscheiben der Fall ist.

In der Praxis können schräg gezogene Seile relativ häufig vorkommen, da es oftmals keine konstruktiven Alternativen gibt. Bei der mehrfachen Einsche-

auf, das die untere Hakenflasche neigt. Die Neigung der unteren Hakenflasche hat zur Folge, dass die Schrägzugwinkel andere Werte annehmen können, als konstruktiv festgelegt wurde. Die Winkelgrenzen für Schrägzug können teilweise überschritten werden. Im Vergleich dazu ist die Seilführung der „texanischen“ Einscherung durch das Zurückführen des Seils stabiler hinsichtlich einer Neigung der unteren Hakenflasche.

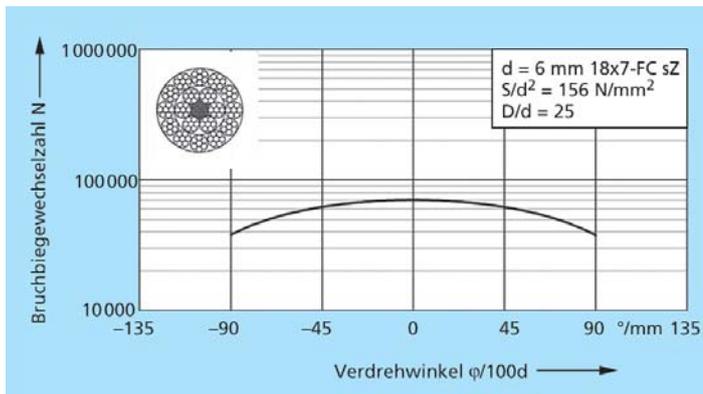


rung von Seilen im Kranbau können zwei grundlegende Arten von Einscherungen unterschieden werden, die jeweils Auswirkungen auf den Schrägzug von Seilen haben – die Standard- oder Paralleleinscherung und die „texanische“ Einscherung (Bild 3). Bei der Paralleleinscherung wird das Hubseil – von einer Seite beginnend – über die angeordneten Seilscheiben zur gegenüberliegenden Seite geführt, wo sich die Seilaufhängung befindet. Die Seilführung bei der „texanischen“ Einscherung geschieht zunächst von einer Seite zur anderen und durch eine Umlenkung wieder zurück zur Ausgangsseite, auf der sich die Seilbefestigung befindet. Bei der „texanischen“ Einscherung ergibt sich durch die Seilführung ein entsprechend höherer Schrägzugwinkel. Durch die einzelnen Wirkungsgrade und den damit entstehenden Kräfteunterschied tritt bei der Paralleleinscherung verstärkt ein Kippmoment

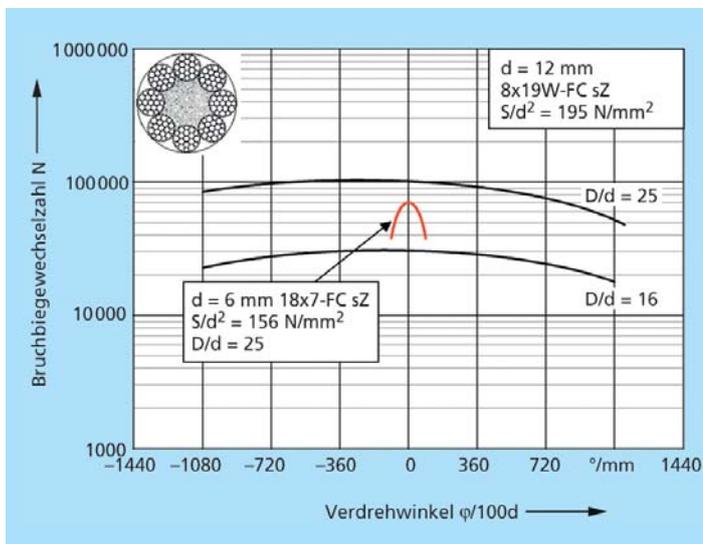
Seilverdrehungen können in den unterschiedlichsten Anwendungen vorkommen. Welchen Einfluss eine diskrete Verdrehung auf die Lebensdauer laufender Seile hat, war bisher nicht bestimmbar. Um diese Wissenslücke zu schließen, wurde in Stuttgart ein Forschungsprojekt durchgeführt, das den Einfluss von Verdrehungen auf laufende Seile grundlegend untersucht.

### Erste Forschungsergebnisse

Im Vorfeld des Forschungsprojekts wurde am IFT ein zweilagiges Spiral-Rundlitzenseil (18x7) untersucht, das einen signifikanten Einfluss von Verdrehungen auf die ertragbare Biegewechselzahl zeigte (Bild 4). Eine detaillierte Beschreibung der Vorversuche ist in [4] zu finden. Erste Vorergebnisse des Forschungsprojekts verdeutlichen den Einfluss von diskreter Verdrehung auf die ertragbare Biegewechselzahl bei einem



**4 Ertragbare Biegewechselzahl unter diskreter Verdrehung bei einem Spiral-Rundlitzenseil (18x7)**



**5 Ertragbare Biegewechselzahl im Vergleich von unterschiedlichen Seilkonstruktionen**

## Literatur

- [1] Feyrer, K.: Wire Ropes – Tension, Endurance, Reliability. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag 2007.
- [2] Feyrer, K.: Die Lebensdauer laufender Drahtseile unter dem Größeneinfluss. Lift-Report, Dortmund 37 (2011) 1, S. 12-18.
- [3] Feyrer, K.: Drahtseile – Bemessung, Betrieb, Sicherheit. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag 2000.
- [4] Weber, T.; Wehking, K.-H.: Einfluss auf die Lebensdauer untersucht. Laufende Drahtseile unter Torsionsbelastung. Hebezeuge Fördermittel, Berlin 50 (2010) 3, S. 132-133.
- [5] Chaplin, C. R.: Torsional failure of a wire rope mooring line during installation in deep water. Engineering Failure Analysis (1998) 6, S. 67-82.
- [6] Chaplin, C. R.: Interactive Fatigue in Wire Rope Applications. Symposium Mechanics of Slender Structures 2008, S. 1-12.
- [7] Verreet, R.: Let's twist again. Cranes & Access, Brackley (2000) 2, S. 28-29.
- [8] Rebel, G.; Borello, M., Chandler, H. D.: On the torsional behaviour of triangular-strand hoisting rope. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, November 1996, S. 279-287.
- [9] Oplatka, G.: Drall in Zug- und Förderseilen. Internationale Seilbahn-Rundschau, Wien (2004) 5, S. 8-10.
- [10] Ernst, B.: Zum Einfluss von Verdrehungen auf die Eigenschaften zugschwellbelasteter Drahtseile. Universität Stuttgart, Dissertation 2012.
- [11] Schönherr, S.: Einfluss der seitlichen Seilablenkung auf die Lebensdauer von Drahtseilen beim Lauf über Seilscheiben. Universität Stuttgart, Dissertation 2005.
- [12] DIN EN 12385-3: Drahtseile aus Stahldraht – Sicherheit – Teil 3: Informationen für Gebrauch und Instandhaltung; Deutsche Fassung EN 12385-3:2004. Berlin: Beuth-Verlag 2004.
- [13] DIN 15020: Grundsätze für Seiltriebe, Blatt 1: Berechnung und Ausführung, Feb. 1974; Blatt 2: Überwachung im Gebrauch, Apr. 1974. Berlin: Beuth-Verlag 1974.

untersuchten einlagigen Rundlitzenseil (8x19W-FC). Bild 5 stellt die bisherigen Erkenntnisse anhand von Graphen dar, die den gravierenden Unterschied zwischen den beiden Seilkonstruktionen hinsichtlich des Lebensdauereinflusses von Verdrehungen zeigen. Die Graphen der einlagigen Seilkonstruktion weisen einen deutlich flacheren Verlauf im angegebenen Verdrehwinkelbereich auf, als der Graph des zweilagigen Spiral-Rundlitzenseils. Während sich beim zweilagigen Spiral-Rundlitzenseil die ertragbare Biegewechselzahl unter einem Verdrehwinkel von  $\omega = +90^\circ/100d$  um rd. 47 % reduziert, ändert sich die Lebensdauer des untersuchten einlagigen Rundlitzenseils bei dem gleichen Verdrehwinkel deutlich geringer. Die Verläufe der dargestellten Graphen bestätigen die theoretischen Überlegungen bezüglich des

unterschiedlichen Verhaltens einlagiger und mehrlagiger Litzenseile unter Verdrehung, die jedoch keinen quantitativen Aufschluss geben. Die in der Praxis beobachtbare Tatsache, dass Drahtseile im Betrieb verdreht werden können, sowie die noch bestehende Unkenntnis über den tatsächlichen Einfluss von diskreten Verdrehungen auf die Lebensdauer laufender Seile machen die hier beschriebenen Grundlagenuntersuchungen erforderlich.

Mithilfe der dargestellten Versuchsergebnisse ist es erstmals möglich, den Einfluss von diskreten Verdrehwinkeln auf die Lebensdauer der beiden o. g. Seilkonstruktionen innerhalb einer Anwendung als laufende Seile quantitativ zu bewerten. Weiterführende Untersuchungen und Ergebnisse, die aus dem genannten Forschungsprojekt generiert wurden, bilden die Grundlage zur Berechnung der Lebensdauer laufender Seile unter Verdrehung. Die Grundlagenuntersuchungen werden zeitnah in einer Dissertation an der Universität Stuttgart veröffentlicht und so der Fachwelt zugänglich gemacht. □

**Dipl.-Ing. Tobias Weber**  
 ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart



**Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Wehking**  
 ist Leiter des Instituts für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart

