

Innovative Seiltrommelkonstruktionen für die Mehrlagenwicklung mit Faserseilen

Schulze, M.; Wächter, M.; Stahr, K.¹



Hochfeste Faserseile kommen in der Praxis verstärkt zum Einsatz. Dies liegt in deren Vorteilen gegenüber Drahtseilderivaten begründet. Dem gegenüber steht der Nachteil, dass es keine adäquaten Einsatzrichtlinien und Dimensionierungsgrundlagen für Seiltriebe mit hochfesten Faserseilen gibt. Dies ist deswegen problematisch, da die aus hochfesten Polymerfasern hergestellten Seile nur bedingt vergleichbare Eigenschaften wie Drahtseile aufweisen. Bei der Dimensionierung geht es darum, die Trommel an das veränderte Belastungsszenario anzupassen. Der nachfolgende Artikel zeigt auf, wie durch die Anpassung des Systems Faserseil-Seiltrommel die Potentiale der Hochfestfaserseile für ein breiteres Anwendungsspektrum und insbesondere in gegenwärtig technisch herausfordernden Bereichen sicher nutzbar gemacht werden können.

High-strength fibre ropes have seen increased use. This is due to the advantages of high-strength braided ropes compared with other forms of wire rope. A disadvantage, on the other hand, is that there are no adequate guidelines for its use or basic sizing principles for rope drives with high-strength fibre rope. This also includes influences to be considered. Dimensioning involves adapting the drum to the new load scenario. By fitting the fibre-rope / rope-drum system, the high-strength fibre rope's potential for a wide range of uses can be exploited, particularly in presently challenging technical areas.

Einleitung

Der Einsatz moderner hochfester Faserseile liegt in den gestiegenen Anforderungen an laufende Seile begründet. Es besteht die Forderung nach größeren Seillängen und steigenden Traglasten. Dies kann durch die Verwendung hochfester Faserseile aufgrund ihres reduzierten Längengewichts und der daraus resultierenden besseren Handhabbarkeit realisiert werden.

Um den Einsatz der Faserseile an sich und die zusätzlichen Forderungen nach kompakten Konstruktionen, Leichtbau und einer Erhöhung der Lebensdauer der

¹ Gustav Wolf Seil- und Drahtwerke GmbH

Komponenten zu gewährleisten, muss das System Seil/Seiltrommel an die Eigenschaften von Faserseilen angepasst werden, da diese sich von den Eigenschaften von Drahtseilen unterscheiden. Dazu zählen beispielsweise die Durchmesserminimierung unter Last, die Verformung unter Querbelastung oder die Reibungseinflüsse in Abhängigkeit von der Gegenkörpergeometrie.

Das Fehlen wissenschaftlich abgesicherter Erkenntnisse über mit Faserseilen mehrlagig bewickelte Trommeln erschwert eine beanspruchungsgerechte Seil- und Seiltrommeldimensionierung.

Faserseile für potentielle Einsatzgebiete in der Mehrlagenwicklung sicher nutzbar zu machen ist ein Ziel neuerer Forschung /1/, /2/, /3/.

Veränderte Eigenschaften von Faser- gegenüber Drahtseilen

Um die Auswirkungen von Faserseilen in Mehrlagenwicklung auf die Trommel zu beurteilen, ist es wichtig, das Seil und die Trommel als Gesamtsystem zu betrachten, um ihre Wechselwirkungen zu berücksichtigen.

Beim Teilsystem Seil sind dabei gängige Eigenschaften wie Durchmesser, Füllfaktor, Materialeigenschaften und die Längselastizität zu beachten. Zudem ist jedoch auch der in der Regel von den Herstellern nicht ermittelte Wert der Querelastizität sehr wichtig /2/, /3/.

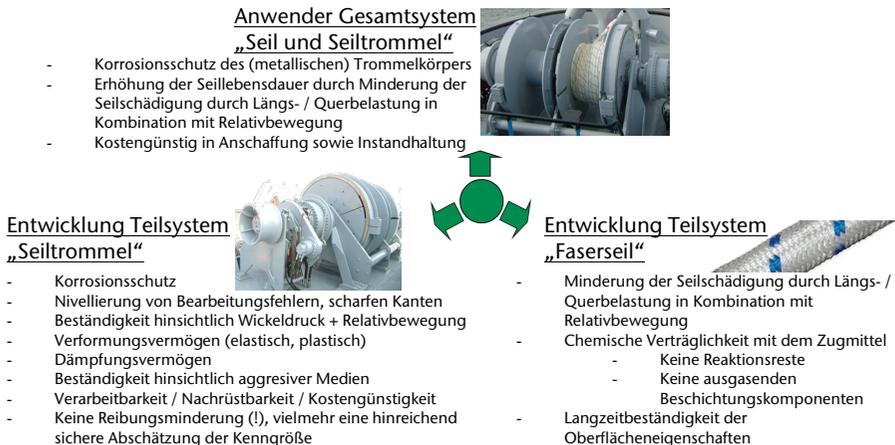


Abbildung 1: Darstellung wechselseitiger und teilweise gegenläufigen Anforderungen zwischen den Teilsystemen Faserseil und Seiltrommel sowie Kundenanforderungen /1/

Das Teilsystem Trommel setzt sich aus der Geometrie und den Materialeigenschaften, insbesondere den Elastizitäten zusammen. Dabei ist es wichtig zu

beachten, dass die einzelnen Bestandteile der Trommel wie Bordscheiben und Mantel sowie die Verbindungen dazwischen unsymmetrischen Belastungen ausgesetzt sind. Die Belastungen unterscheiden sich auch für die Fälle, ob es sich um eine unberillte, eine schraubenförmig berillte oder eine Trommel mit Systemrillung handelt. Beim Einsatz von Faserseilen ist von Interesse, das die Trommel Einfluss auf die Reibverhältnisse zwischen Seil und Seiltrommel und die Ovalisierung des Seils hat. Außerdem kann durch Veränderungen an der Trommel das Faserseil unterstützt werden. Im Nachfolgenden wird auf die Veränderungen beim Einsatz eines Faserseiles auf die Seilquerelastizität, die Reibungsverhältnisse, die Seilovalisierung sowie die Trommelbeanspruchung eingegangen.

Die Querelastizität von Seilen

Die Querelastizitätsmessung von Seilen kann, wie in Abbildung 2 links im Querschnitt gezeigt, vorgenommen werden. Auf die entsprechend der gewünschten Trommelgeometrie gewählte Prüfgeometrie und damit auf das vorgespannte Seil wird eine Querkraft aufgebracht. Der Querelastizitätsmodul ist generell vom Seil und vom Seilaufbau abhängig. Zudem variiert er mit folgenden Kräften am Seil: erstens der aufgebrachten Längskraft im Verhältnis zur Mindestbruchkraft des Seils und zweitens von der aufgebrachten Querkraft im Verhältnis zur Längskraft [2].

Die Längskraftverhältnisse werden dazu von 5 bis 50% der Seilnennspannung verändert:

$$k_{\text{longitudinal}} = \frac{\sigma_{\text{longitudinal}}}{\sigma_{\text{longitudinal-nominal}}} = 0,05 \dots 0,5. \quad 1$$

Das Querkraftverhältnis wird in Abhängigkeit der gewählten Längskraft wie folgt gewählt:

$$k_{\text{lateral}} = \frac{\sigma_{\text{lateral}}}{\sigma_{\text{longitudinal}}} = 0,04 \dots 0,06. \quad 2$$

Zur Auswertung wird die im Versuch gemessene Kraftänderung zur gemessenen Wegänderung ins Verhältnis gesetzt (Abbildung 2, rechts).

Nach dem skizzierten Verfahren untersuchte Faserseile zeigten geringere Quersteifigkeiten als vergleichbare Drahtseile /5/. Die dargestellten Elastizitäten wurden dazu entsprechend Gleichung 1 bei 5 bis 50% der maximalen Längskraft und entsprechend Gleichung 2 für ein $k_{\text{lateral}} = 0,06$, welches unter Annahme geometrischer und anderer Vereinfachungen einem D/d Verhältnis (Trommeldurchmesser D zu Seilnenn Durchmesser d) von 25 entspricht, ermittelt (siehe Abbildung 3).

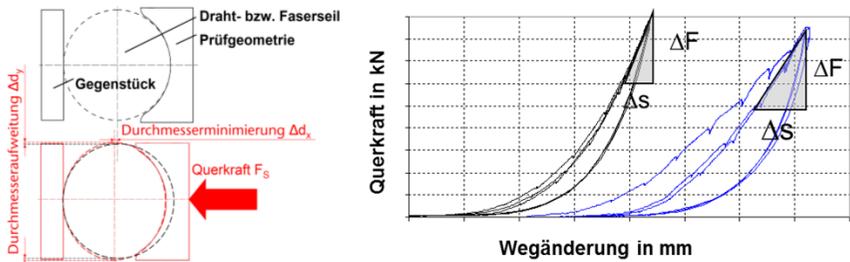


Abbildung 2: Querelastizitätsmessung von Seilen im Querschnitt (links) Ergebnis exemplarischer Messungen (rechts)

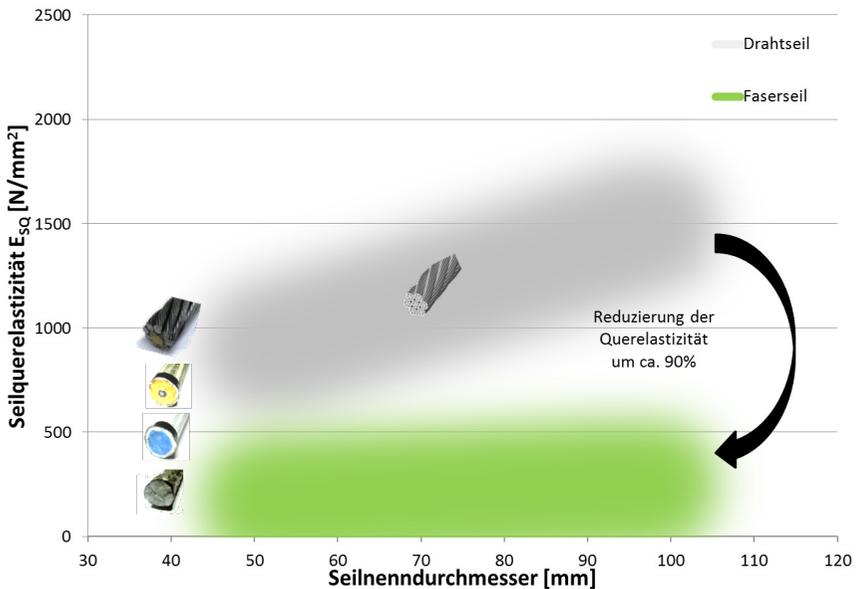


Abbildung 3: Reduzierung der Querelastizität im Vergleich Draht- zu Faserseil um ca. 90%

Im Zuge der Untersuchungen stellte sich heraus, dass hinsichtlich des Seilquerelastizitätsmoduls mit deutlich reduzierten Querelastizitäten im Vergleich Draht- zu Faserseilen um durchschnittlich ca. 90% zu rechnen ist.

Der Vergleich verschiedener Faserseile untereinander zeigt auch, dass es eine Abhängigkeit der Querelastizität vom Material gibt. Aus Polyester hergestellte Seile weisen eine geringere Seilquerelastizität auf im Vergleich zu Seilen aus ultra-

hoch-molekularem Polyethylen (UHMWPE). Außerdem gibt es Veränderungen der Quersteifigkeit wenn ein nicht lasttragender Mantel zur Verbesserung der Schnitt-, Abrasions- und UV-Beständigkeit eingesetzt wird. Bei gleichem Nenndurchmesser wird der lasttragende Querschnitt verringert. Die Quersteifigkeit wird in diesem Fall ebenfalls verringert /3/, /7/.

Die Reibungsverhältnisse

Bei der Substitution von Draht- durch Faserseile muss von einer Veränderung der Reibungsverhältnisse ausgegangen werden. Dabei sind die Reibungsverhältnisse sowohl zwischen den einzelnen Umschlingungen als auch dem Kontaktbereich zwischen Seil und Seiltrommel von Interesse (Abbildung 4, links). Deswegen werden Untersuchungen dieser Reibverhältnisse in einem ebenen Versuch nachgebildet (Abbildung 4, Mitte und rechts).

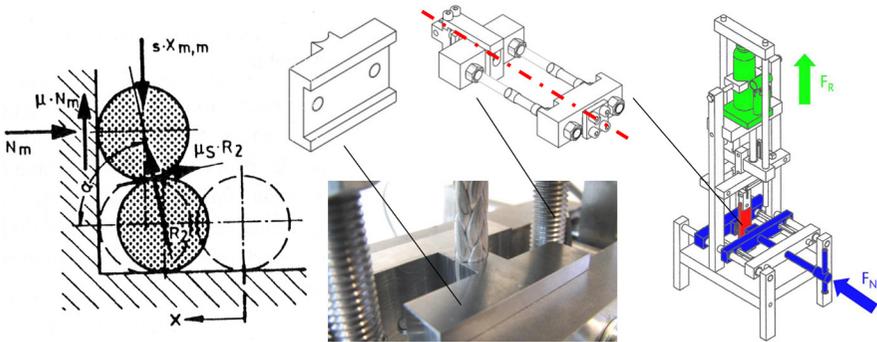


Abbildung 4: Kontaktbereiche nach /4/ (links), ebener Versuch zur Reibwertermittlung (Mitte und rechts)

Die Ergebnisse zeigen, dass der Reibwert nicht nur vom Material des Faserseils, der Oberflächenbeschaffenheit der Trommel (Oberflächengüte und etwaige Beschichtungen) und Umgebungsbedingungen wie von einem trockenen oder feuchten Seil abhängig ist, sondern auch von der Längskraft, mit der das Seil belastet wird und dem Querkraftverhältnis $k_{lateral}$. So ist bei einer Zunahme der Längskraft eine Abnahme des Reibkoeffizienten zu sehen. Bei der Erhöhung des Querkraftverhältnisses (was einer Verkleinerung des D/d Verhältnisses gleicht) wird der Reibkoeffizient ebenfalls in den meisten Fällen kleiner (Abbildung 5). Kleinere Werte sind auch im Kontaktfall Seil – Seil im Vergleich zum Kontaktfall Seil – Rille, bei sonst gleichen Bedingungen, zu erkennen.

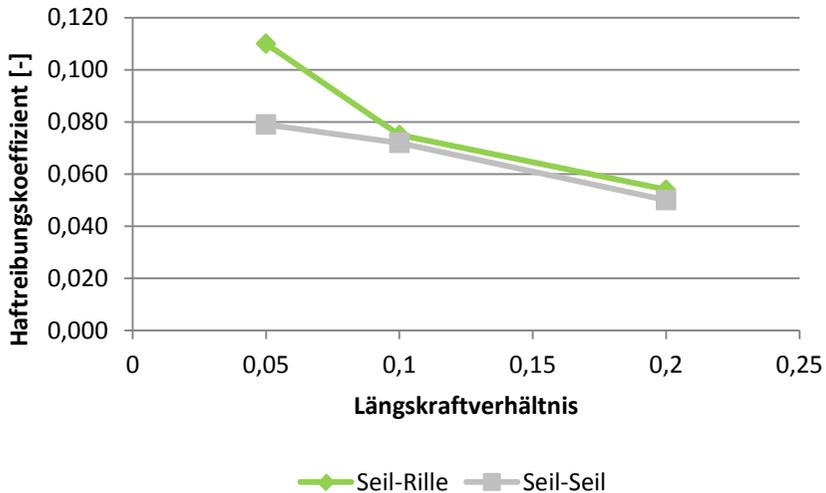


Abbildung 5: *Haftreibungskoeffizienten Seil - Rille und Seil - Seil, Querkraftverhältnis 0,06, Rundgeflechtseil, Dyneema SK 75, Seildurchmesser 6 mm*

Die Ovalisierung des Seils

Die Ovalisierung von Seilen kann beispielsweise durch das Verhältnis der Einzeldurchmesser des ovalen Seils beschrieben werden:

$$O_{rel} = \frac{|d_x - d_y|}{\max(d_x; d_y)}. \quad 3$$

Diese Ovalisierung entsteht bei der Bewicklung der Trommel insbesondere in der Mehrlagenwicklung. Durch den Druck der oberen Lagen auf die darunterliegenden aber auch durch die Belastung des Zugmittels in der letzten Lage stellt sich eine bleibende Verformung ein. Diese ist durch die Abhängigkeit von den folgenden Lagen in den jeweiligen Lagen unterschiedlich stark ausgeprägt. Bei dem Vergleich von Draht- und Faserseilen bei der Bewicklung einer berillten Trommel ist eine wesentlich stärkere Ovalisierung des Faserseils festzustellen (Abbildung 6).

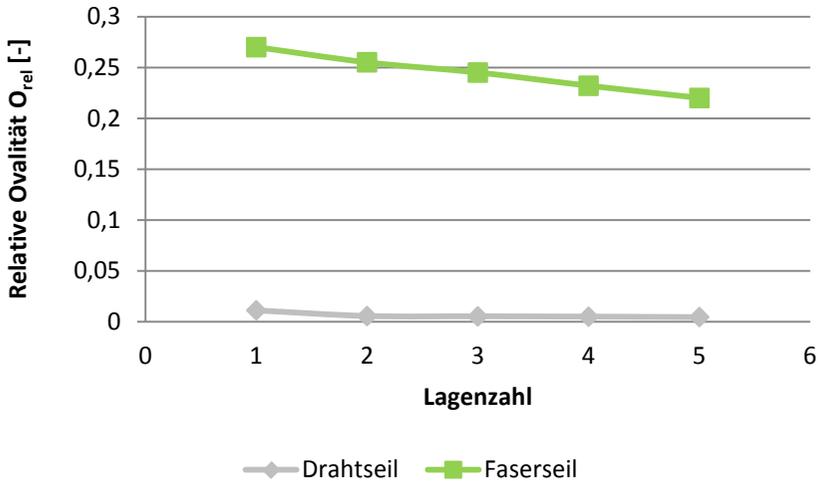


Abbildung 6: Relative Ovalität von Draht- und Faserseil in Abhängigkeit der Lage

Die Folge für das Wickelpaket ist eine Wickelradienminimierung Δr von ca. 50% bis 70% im Vergleich zu gängigen Drahtseilen. Dadurch verschieben sich die Kraftangriffspunkte des Wickelpaketes an der Bordscheibe (Abbildung 7).

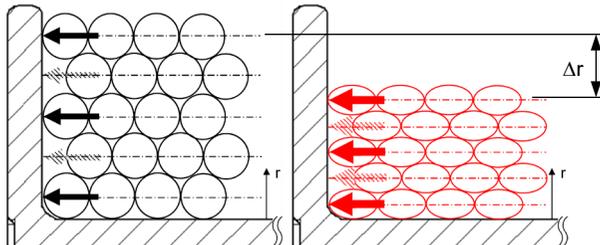


Abbildung 7: Seilpaket Drahtseil (links) und Faserseil (rechts) /2, 3/

Dieser Effekt der Radienminimierung ist bei ersten Versuchen auch bei dem Einsatz eines noch ungebrauchten Faserseils zu beobachten. Bei der ersten Bewicklung stellt sich noch ein verhältnismäßig großer Radius in jeder Lage des Wickelpaketes auf der Trommel ein. Dieser nimmt jedoch bei weiteren Wickelzyklen ab.

Einflüsse der Faserseilbewicklung auf die Trommel

Die oben beschriebenen Eigenschaften der Faserseile haben verschiedene Auswirkungen auf die Trommelbelastung im Vergleich zu einer Bewicklung mit Drahtseilen.

Die andersartige Querschnittsstabilität von Faserseilen führt zu mangelnder Formstabilität und damit zu einem schlechten Wickelergbnis. Weiterhin kommt es sowohl zu hohem Seilverschleiß als auch zu unkontrollierten Belastungszuständen an der Trommel.

Die verminderten Querelastizitätseigenschaften führen – singular betrachtet – an der Trommel zu einer Entlastung des Trommelmantels und zu einer höheren Belastung der Bordscheiben (Abbildung 8).

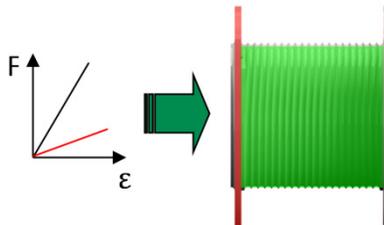


Abbildung 8: Auswirkungen einer andersartigen Seilsteifigkeit auf Trommel und Bordscheiben

Der geringere Haftreibungswert aufgrund des Einsatzes von Faserseilen führt zu einer höheren Belastung der Bordscheiben (Abbildung 9). Dies bewirkt eine höhere Dehnung des Trommelmantels in axialer Richtung. Eine unter Umständen zu erwartende Zunahme der Bordscheibenbelastung kann mit 10-20% quantifiziert werden.

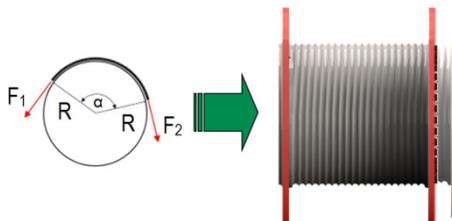


Abbildung 9: Auswirkung des veränderten Reibwertes auf Bordscheiben und Trommel

Die Ovalisierung des Seils hat ebenfalls Einfluss auf den Trommelmantel und die Bordscheiben. Im Gegensatz zu den zuvor genannten Effekten ergibt sich hier

jedoch eine höhere Belastung des Trommelmantels und eine Entlastung der Bordscheiben (Abbildung 10).

Die höhere Belastung des Trommelmantels resultiert aus den kleineren Wickelradien (vgl. Abbildung 7), da ein umgekehrt proportionaler Zusammenhang zwischen dem Wickelradius und dem Trommelmanteldruck besteht /4/.

Die kleineren Wickelradien sind ebenfalls für die geringeren Bordscheibenlasten verantwortlich, da die Veränderung des Kraftangriffspunkts eine Verkürzung des Hebels verursacht.

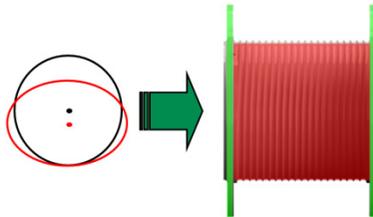


Abbildung 10: Veränderung der Belastungen aufgrund der Ovalisierung des Seils

Die genannten Effekte Haftreibungsminimierung sowie Wickelradienminimierung sind hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Beanspruchungsszenario des Übergangsbereiches Trommelmantel–Bordscheibe gegenläufig. Im Rahmen durchgeführter Untersuchungen konnte im Durchschnitt eine Verringerung der Belastung nachgewiesen werden.

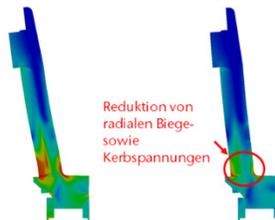


Abbildung 11: Biege- und Kerbspannung im Anschlussbereich Mantel – Bordscheibe

Zum Einfluss andersartiger Eigenschaften von (Hochfest-)Faserseilen auf den Entlastungseffekt im Zuge der mehrlagigen Bewicklung von Seiltrommeln

Ernst /9/ berücksichtigte im Zuge der rechnerischen Auslegung bewickelter Seiltrommeln auf Basis eines analytischen Ersatzmodells erstmals die Entlastungs-

effekte der singulären Seilwindung infolge der Nachgiebigkeit des Trommelkörpers und stellte die Auswirkungen auf das Beanspruchungsszenario des Trommelmantels dar.

Dietz /4/ greift die Erkenntnisse von Ernst auf und erweitert die Betrachtungen auf eine mehrlagige Trommelbewicklung unter erstmaliger Berücksichtigung der Steifigkeitseigenschaften des Zugmittels anhand transversal isotroper Seileigenschaften in Form von Längs- bzw. Querelastizitätsmodul sowie einer Verformung des Seilquerschnittes in Radialrichtung infolge des Wickeldruckes.

Die so genannten Entlastungseffekte im Zuge der mehrlagigen Bewicklung bewirken, dass die tatsächliche Trommelmantelbeanspruchung geringer ausfällt als durch eine analytische Superposition der singulären Beanspruchung in jeder Wickellage. Der in /4/ pauschal angenommene Entlastungsfaktor von circa 0,8 liefert zum Teil jedoch zu geringe Spannungen als Prognose. Dietz /4/ benennt in Ergänzung zur Verformung des Trommelmantels durch die auflaufende Seilwindung unter Zugkraft und der damit einher gehenden Absenkung des Trommelmantels unter radialem Druck ebenfalls die Verformung des Seilquerschnittes unter radialem Wickeldruck und eine damit einher gehende Zugspannungsverringering als wesentliche Einflussgröße auf die Druckentlastung des Trommelmantels (Abbildung 12). Diese beiden Phänomene stehen bekanntlich in Wechselwirkung, beeinflussen sich also gegenseitig.

Bis dato erfolgte eine Abschätzung des Entlastungseffektes im Zuge der Mehrlagenwicklung von Hybrid- und Faserseilen beruhend auf den Annahmen für Vollstahlseile. Im Zuge dessen konnten wiederholt signifikante Differenzen im Vergleich der experimentellen Beanspruchungsanalyse sowie der kombiniert analytisch-numerischen Prognose festgestellt werden, vgl. /8/ sowie /5/, /7/.

Thesen zu möglichen Ursachen bestehen unter anderem in einer zu hohen Abschätzung des so genannten Entlastungseffektes im Zuge der Mehrlagenwicklung in Abhängigkeit des verminderten Querelastizitätsmodules sowie des Ovalisierungsverhaltens der untersuchten Hybridseil- und Faserseilkonstruktionen.

Die Einflussnahme der in den vorherigen Kapiteln beschriebenen, andersartigen Eigenschaften (hochfester) Faserseile wie beispielsweise verminderter Seilquersteifigkeit sowie Ovalisierungsverhalten auf diese Zugkraftentlastung in einzelnen Wickellagen soll Gegenstand der folgenden Betrachtungen zum singulären Verhalten der Zugkraftentlastung in unteren Wickellagen aufgrund radialem Wickeldruck sein.

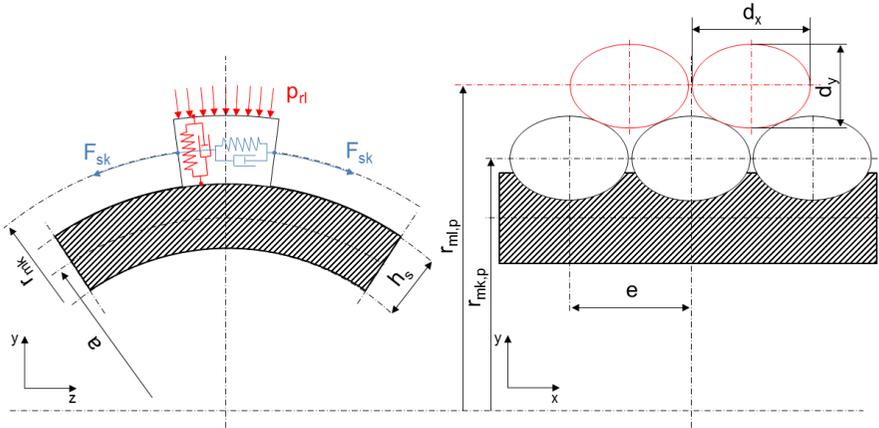


Abbildung 12: Mechanisches Ersatzsystem Faserseilwicklung unter Querlast (links); theoretische Annahme des Seilpaketes als sich berührende elliptische Flächen bzw. Zylinder (rechts)/3/

Das mechanische Ersatzsystem einer singulären Windung der Wickellege \$k\$ kann näherungsweise anhand eines Feder- oder Feder-Dämpfer-System in Längs- sowie Querrichtung des Zugmittels dargestellt werden. Durch eine Bewicklung in der Lage I erfährt einerseits die Wickellege \$k\$ als auch der Trommelkörper eine Druckbelastung. Klassisch wird der daraufhin eintretende Entlastungseffekt differenziert hinsichtlich einer radialen Verformung des Trommelmantels sowie weiterhin einer Verkürzung des mittleren Seildurchmessers durch Querverformung, welcher eine Verminderung der Seilzugspannung um den Betrag \$\Delta F_s\$ in der jeweiligen Wickellege mit sich bringt. Eine Zugkraftentlastung der Seillagen wirkt sich wiederum auf den entstehenden Trommelmanteldruck aus und beeinflusst diese Belastungsgröße maßgeblich.

Für stationäre Systeme bzw. Systeme mit geringer Dämpfung kann die Zugkraftentlastung eines Seiles in der Wickellege \$k\$ aufgrund Querverformung unter Einwirkung eines radialen Wickeldruckes \$p_r\$ der Wickellege I vereinfacht wie folgt beschrieben werden:

$$\Delta F_{sk} = p_r \cdot \frac{\sqrt{\frac{\pi}{4} \cdot d_x \cdot d_y \cdot f_{tex}}}{2r_m} \cdot \frac{E_{SL}}{E_{SQ}} \cdot A_{tex} \quad 4$$

Entgegen der klassischen Theorie des Zylinderstapels nach /10/, /4/ et al. sollte eine Beschreibung des verformten Seilquerschnittes beispielsweise durch die Berücksichtigung der charakteristischen Kenngrößen einer elliptischen Zylinderfläche erfolgen.

Durch eine Betrachtung des Seilquerschnittes als Ellipse in der 1. Hauptlage, ergibt sich der in der Gleichung genannte Wickelradius \$r_m\$ der Wickellege \$n\$

anhand der geometrischen Querschnittsgrößen für den Parallelbereich einer Systemrillung zu:

$$r_{mn,p} = a + \frac{h_s + d_y}{2} + \frac{n-1}{2} \cdot \sqrt{d_y^2 \cdot \left(4 - \frac{e^2}{d_x^2}\right)}, \quad 5$$

sowie analog für den Kreuzungsbereich zu:

$$r_{mn,k} = a + \frac{h_s + d_y}{2} + \left(n - \frac{1}{2}\right) \cdot d_x. \quad 6$$

Zur singulären Bewertung des anteiligen Entlastungseffektes aufgrund Querschnittsverformung in Abhängigkeit der Kenngrößen Seillängs- bzw. Quersteifigkeit sowie Querschnittsovalisierung ist zunächst die folgende Fallunterscheidung sinnvoll:

Erfährt das Seil keinerlei Querschnittsverformung ($O_{rel} = 0$; $d_x = d_y$), so ist das Verhältnis der Seilsteifigkeiten von Längs- zu Querrichtung im jeweiligen Lastpunkt eine wesentliche Einflussgröße auf den Entlastungseffekt. Moderne Spezialdrahtseile für die Mehrlagenwicklung weisen hierbei Verhältnisse bis hin zu $E_{Sl}/E_{SQ} = 30$ auf, wobei sich dieser Kennwert für moderne Fasergeflechte auf bis zu $E_{Sl}/E_{SQ} = 300$ erhöhen kann. Folglich kann der Entlastungseffekt anhand Zugkraftentlastung für moderne Fasergeflechte unter singulärer Betrachtung des Verhältnisses Ihrer Steifigkeiten in Längs- und Querrichtung als deutlich gesteigert prognostiziert werden (vgl. Abbildung 13). In Theorie wie auch Praxis sind Betrachtungen und Fallunterscheidungen für gänzlich zugkraftentlastete Wickellagen empfehlenswert.

Erfährt das Seil im Zuge der Mehrlagenwicklung eine Verformung des Seilquerschnittes hin zu einer elliptischen Querschnittsform ($O_{rel} > 0$; $d_x \neq d_y$), reduziert sich wie beschrieben der Wickelradius. Auf entsprechende, grundsätzliche Auswirkungen wurde bereits eingegangen. Auf den anteiligen Entlastungseffekt aufgrund Querschnittsverformung wirkt sich eine (ovale oder elliptische) Verformung grundsätzlich reduzierend aus (vgl. Abbildung 13). Diese Reduktion zieht eine Belastungs- und somit Beanspruchungserhöhung des Trommelmantels nach sich.

Ebenfalls ist somit der Entlastungseffekt in unteren Seillagen grundsätzlich höher zu bewerten. Das Verhalten des anteiligen Entlastungseffektes aufgrund Querschnittsverformung in Abhängigkeit der Lagenzahl bzw. des Wickelradius' sowie des Ovalisierungsgrades ist exemplarisch in Abbildung 14 dargestellt. Ergänzend ist fest zu halten, dass der Entlastungseffekt in Abhängigkeit der betrachteten Wickellage unterschiedlich stark in Abhängigkeit des Ovalisierungsgrades abnimmt.

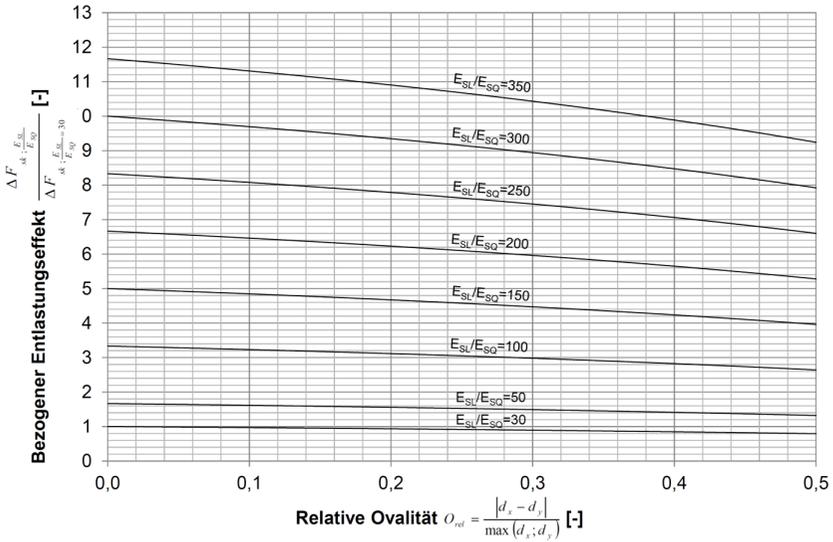


Abbildung 13: Bezogener Entlastungseffekt in Abhängigkeit des Seilsteifigkeitsverhältnisses E_{SL}/E_{SQ} sowie der relativen Ovalität $O_{rel}/3/$

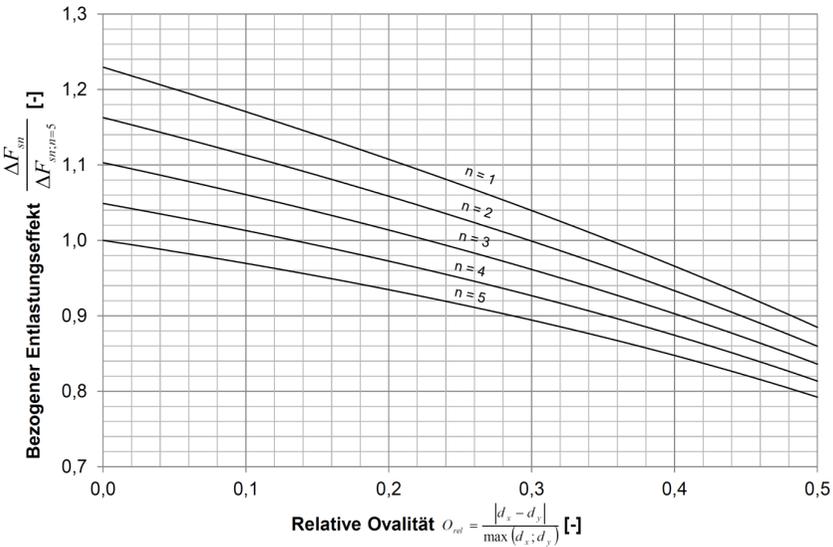


Abbildung 14: Exemplarische Darstellung des bezogenen Entlastungseffektes in Abhängigkeit der Lagenzahl n sowie der relativen Ovalität $O_{rel}/3/$

In den vorhergehenden Betrachtungen wurde singular die Seilentlastung aufgrund Verkürzung des mittleren Seildurchmessers durch Querverformung betrachtet.

Unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen des Gesamtsystems Seil/Seiltrommel lassen sich die Auswirkungen der behandelten Kenngrößen Steifigkeitsverhältnis sowie relativer Ovalität auf den resultierenden Trommelmanteldruck und einer somit im Trommelmantel hervor gerufenen Belastung und Verschiebung entlang der Trommellänge wie folgt anhand Abbildung 15 darstellen.

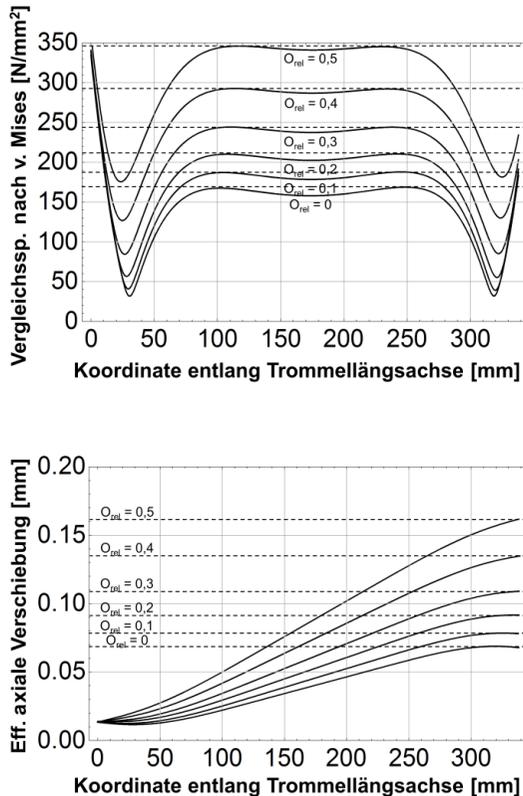


Abbildung 15: Vergleichsspannung nach v. Mises im Trommelmantel (oben) und die effektive axiale Verschiebung im Trommelmantel (unten) über der Trommelmantellänge in Abhängigkeit von der relativen Ovalisierung O_{rel} 0 - 0,5 bei konstantem E_S/E_{SQ} Verhältnis von 250 /3/

Zusammenfassung

Durch die Substitution von Draht- durch Faserseile muss das System Seil/Seiltrommel an die veränderten Bedingungen angepasst werden.

Andere Eigenschaften zeigt das Faserseil insbesondere in der geringeren Quersteifigkeit und dem verringerten Haftreibwert im Vergleich zu Drahtseilen. Der Haftreibwert ist zudem auch abhängig von den Einsatzbedingungen des Seils. So zeigen sich Abhängigkeiten von der Seillängskraft und dem Querkraft- und somit D/d Verhältnis. Weiterhin ist beim Faserseil eine deutliche höhere Ovalisierung festzustellen.

Bei der Berechnung des Belastungsszenarios können die andersartigen Eigenschaften von Faserseilen gegenüber konventionellen Drahtseilen berücksichtigt werden. Dies konnte anhand der Auswirkungen des veränderten Verhältnisses von Seillängselastizität zu Seilquerelastizität und der Ovalisierung des Seils auf den Entlastungseffekt gezeigt werden.

Faserseile können somit durchaus in der Mehrlagenwicklung zum Einsatz kommen um ihre Potentiale gerade hinsichtlich großer Seillängen zu nutzen. Die Anwendung für ein breites Anwendungsfeld bietet jedoch noch weiteres Forschungspotential.

Literatur

- /1/ Innovatives Wickelsystem für Seile aus Synthesefasern, Abschlussbericht zum durch die AiF geförderten Verbundprojekt, 2015, Förderkennzeichen VP2515317US1.
- /2/ Schulze, M.; Wächter M.; Innovatives Wickelsystem für Faserseile; Mitteilungen aus dem Institut für Maschinenwesen der Technischen Universität Clausthal 40 (2015), 17-28.
- /3/ Lohrengel, A.; Stahr, K.; Schulze, M.; Wächter, M.: Innovative drum construction for multilayer winding with fibre ropes; Challenging rope applications; Proceedings of the OIPEEC Conference 2015, Dr. I.M.L. Ridge, Stuttgart, Germany, ISBN: 978-0-9552500-5-7.
- /4/ Dietz, P.: Ein Verfahren zur Berechnung ein- und mehrlagig bewickelter Seiltrommeln; Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt, 1971.
- /5/ Lohrengel, A.; Stahr, K.; Wächter, M.: Safe use of hoisting drums wound with multiple layers of wire, hybrid, fibre and/or large diameter ropes; Proceedings OIPEEC 2011 / 4th International Ropedays, College Station, Texas, 2011.

- /6/ Lohrengel, A.; Stahr, K.; Wächter, M.: Potentiale sowie Auswirkungen von Hochfestfaserseilen auf mehrlagig bewickelte Seiltrommeln im Bergbau-, Offshore als auch Kranbereich; Technical Report Fakultät für Mathematik/Informatik und Maschinenbau der TU Clausthal; Februar 2013, ISSN 1869-8018.
- /7/ Lohrengel, A.; Stahr, K.; Wächter, M.: Simulation of fibre ropes and their effects on the strain scenario of multilayer wound rope drums; Simulating rope applications; Proceedings of the OIPEEC Conference 2013, Dr. I.M.L. Ridge, Oxfordshire, UK, ISBN: 978-0-9552500-4-0.
- /8/ Schwarzer, T. Gestaltung und Dimensionierung von Windentrommeln bei mehrlagiger Bewicklung mit Kunststoff- und Hybridseilen, Dissertation, Technische Universität Clausthal, Clausthal-Zellerfeld, 2011.
- /9/ Ernst, H.: Die Hebezeuge - Bemessungsgrundlagen, Bauteile, Antriebe, Vieweg, Braunschweig, 1973.
- /10/ Waters, E.: Rational design of hoisting drums; The American Society of Mechanical Engineers (ASME) Transactions 1920, S. 463-472, New York City, 1920