

## Beeinflussung der Belastung des Mantels durch die Tragfähigkeit des Seilpakets bei mehrlagig bewickelter Seiltrommel

Mupende, I.

*Die Belastung auf die Trommelstruktur bildet sich bei mehrlagig bewickelten Seiltrommeln nach einem komplexen nicht linearen Mechanismus aus. Bis heute vernachlässigt man den Einfluss der Seilpakettragfähigkeit in der Bestimmung dieser Belastung. Dieser Aufsatz stellt kurz die Entlastung des Mantels durch die Tragfähigkeit des Seilpakets dar.*

*A portion of the developed loads during the winding process by multi-layers winches is carried out by the layers. The current article presents shortly how this consideration can be taking into account by the design of winches.*

### 1 Einleitung und Problematik

Die Genauigkeit des Ansatzes bei der Bestimmung des hervorgerufenen Drucks auf den Mantel ist entscheidend für die Höhe der Belastung und somit für die Gestaltung der Trommel. Verschiedene Autoren haben sich in der Vergangenheit mit dieser Problematik beschäftigt und Berechnungsmodelle entwickelt. Die Ansätze von Torrance /1/, Egawa-Taneda /2/ und Dietz /3/ gelten bei vielen Anwendern als Standardwerkzeug.

Das Seilpaket besitzt bei mehrlagiger Bewicklung eine gewisse Tragfähigkeit, welche bei der Bestimmung der Belastung auf dem Mantel in den meisten Fällen nicht berücksichtigt wird. Die Nutzung des hierin bestehenden Potentials kann grundsätzlich dazu beitragen, die Trommel kompakter bzw. leichter zu gestalten.

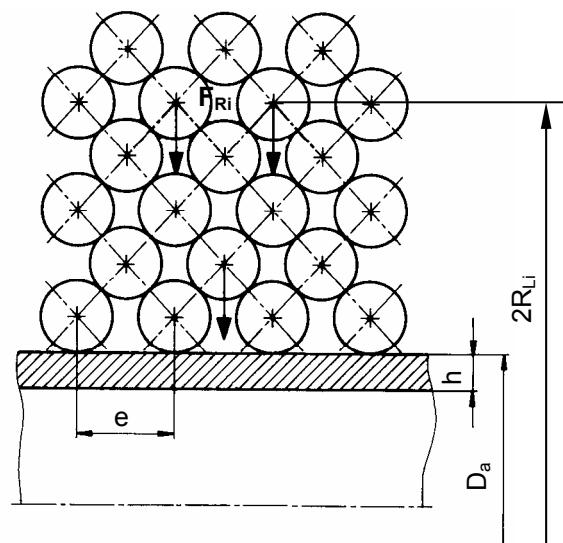
### 2 Grundlagen der Bestimmung der entstehenden Belastung auf den Mantel einer mehrlagig bewickelten Seiltrommel

Die Ermittlung des Drucks auf den Trommelmantel und die entsprechenden Beanspruchungen wurden erstmals auf wissenschaftlicher Basis von Ernst /4/ für eine einlagig bewickelte Trommel mit starrer Stirnwand und starrer Einspannung des Mantels an der Stirnwand behandelt. Dietz erweitert die Betrachtung für den Fall der mehrlagig bewickelten Trommel unter Berücksichtigung der Mantelverfor-

mung und des Zusammenquetschens der Seilquerschnitte. Er zeigt, dass unter der Annahme einer Seilvorspannung die Belastung auf den Trommelmantel außer von der Zugkraft auch von der Seilsteifigkeit (Längs- und Querelastizitätsmodul) abhängt. Torrance, Egawa-Taneda und andere Autoren geben weitere Ansätze für die Bestimmung der Mantelbelastung; Es ist ersichtlich, dass die Belastung auf den Mantel nicht linear mit der Lagenanzahl steigt. Dieser Sachverhalt kommt dadurch zustande, dass die Radialkraft  $F_{Ri}$  (Gl. 01) umgekehrt proportional vom Wickelradius  $R_{Li}$  ist.

$$F_{Ri} = \frac{F_{si}}{R_{Li}} \quad (\text{Gl. 01})$$

$F_{si}$  ist die Seilzugkraft und  $R_{Li}$  der Wickelradius. **Bild 1** zeigt das Seilpaket mit dem Wickelradius  $R_{Li}$ .



**Bild 1:** Querschnitt des Seilpaketes

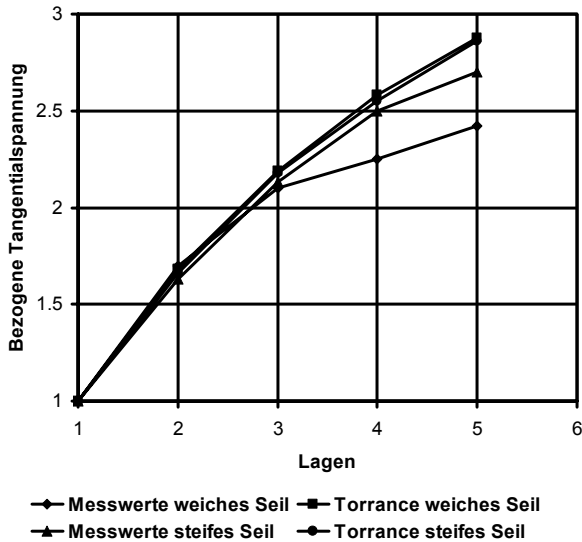
Ein weiterer entscheidender Effekt in der Lastentwicklung auf den Trommelmantel ist die Entlastung einer aufgewickelten Windung durch die Trommelverformung. Egawa-Taneda und Dietz berücksichtigen diesen Effekt in ihren Ansätzen.

Es ergeben sich folgende Fragestellungen: Wie verhält sich die Windung bzw. die komplette Lage, wenn die Vorspannung im Seil abnimmt und wird die Belastung der obersten Lage ohne Abzug wei-

tergeleitet oder nehmen die unteren Lagen einen gewissen Anteil der Belastung auf?

Die folgenden **Bilder (2 bis 4)** zeigen den Vergleich zwischen gemessenen Beanspruchungen im Mantel und gerechneten Beanspruchungen mit den Ansätzen von Torrance, Egawa-Taneda und Dietz.

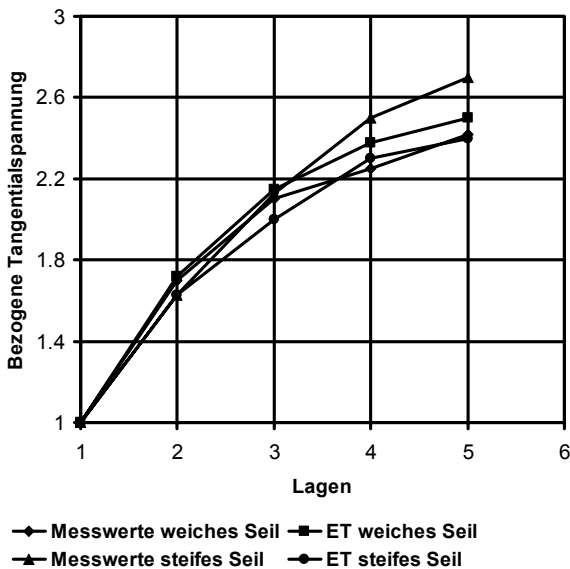
Vergleich Torrance - Messungen



**Bild 2:** Vergleich analytischer Werte der Torrance Theorie mit aus Messungen erhaltenen Werten

Der Torrance Ansatz berücksichtigt keine Verformung der Trommel bzw. des Seils, große Abweichungen treten ab der dritte Lage zwischen Messungen und gerechneten Werten auf.

Vergleich Egawa Taneda (ET) - Messungen



**Bild 3:** Vergleich analytischer Werte der Egawa-Taneda Theorie mit aus Messungen erhaltenen Werten

Die Egawa-Taneda Methode berücksichtigt die Verformung des Trommelmantels und des Seils. Es kommt in der Theorie zu einer schlechten Zuordnung der Ergebnisse (Theorie und Messungen) durch die ungenaue Nachbildung der Trommelmantel- und Seilverformung (Berechnung der Koeffizienten  $A_i$  mit Annahme eines konstanten Keilwinkels während der Bewicklung).

Vergleich Dietz - Messungen



**Bild 4:** Vergleich analytischer Werte der Dietz Theorie mit aus Messungen erhaltenen Werten

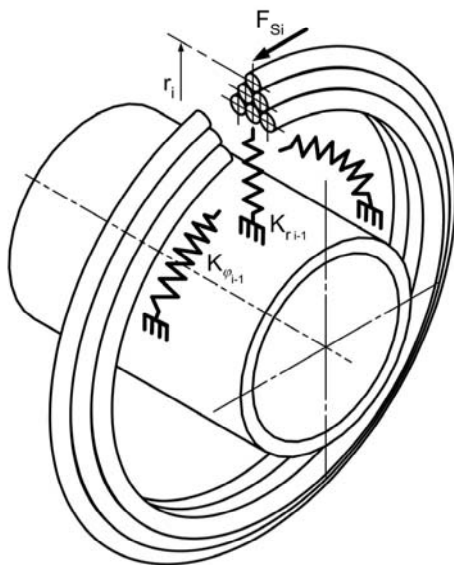
Die Bestimmung der Belastungen nach Dietz bildet die Tendenz der Belastungszunahme in Abhängigkeit von der Lagenanzahl sehr gut ab: Eine asymptotische Zunahme der Belastung ist für das weiche Seil und eine leicht progressive Zunahme ist für das steife Seil zu beobachten.

Weiterhin zeigt der Vergleich zwischen den Messwerten und berechneten Werten in allen drei Fällen, dass die Messwerte (weiches und steifes Seil) geringer als die nach den Ansätzen von Torrance und Dietz berechneten Werte sind. Diese Abweichung lässt sich erklären durch eine mögliche Tragfähigkeit des Seilpakets, welche die Belastung der obersten Lage in einer Position  $i$  teilweise aufnimmt.

### 3 Entwicklung der Belastung auf dem Mantel mit Berücksichtigung der Seilpaketsteifigkeit

Das Drahtseil hat im Durchschnitt ein Längselastizitätsmodul von ca.  $1,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ . Bei einer mehrlagigen Bewicklung, unter der Voraussetzung, dass das Seil nicht nachrutscht, bildet sich eine geschlossene Ringstruktur um den Mantel. **Bild 5**

stellt ein Seilpaket dar, bei dem die unteren Lagen durch Ersatzfedern abgebildet werden.



**Bild 5:** Seilpaketsmodell

Durch die Beschreibung des Gleichgewichts im Seilpaket wird der entstehende Druck  $p_i$  in Lage  $i$  nach (Gl. 02) erhalten.

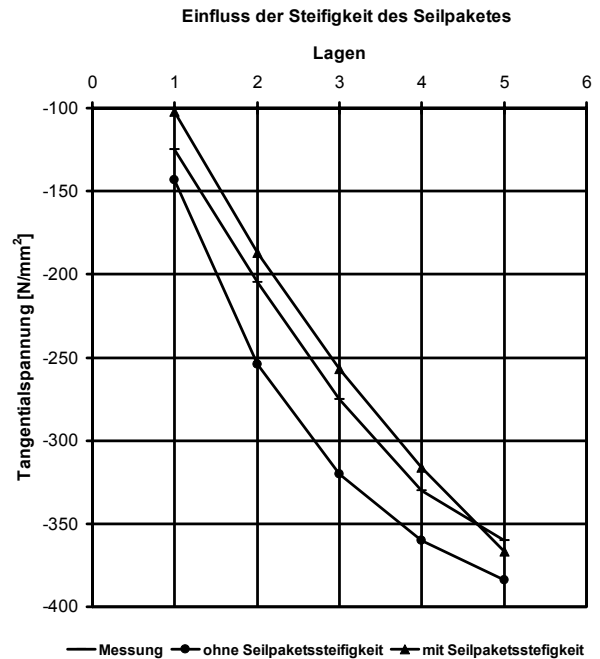
$$p_i = \frac{1}{\left(1 + k_1 \frac{E_L}{E_T}\right)} \left( k_2 p_{i+1} + k_3 \left( F_{si} - k_4 \frac{E_L}{E_{SQ}} \right) \right) \tag{Gl. 02}$$

Mit

- $E_L$ : Längselastizitätsmodul des Seils
- $E_{SQ}$ : Querelastizitätsmodul des Seils
- $E_T$ : Elastizitätsmodul des Mantels
- $F_{si}$ : Seilzugkraft im Seil
- $k_i$ : Verschiedene geometrische Faktoren (abhängig von Seil- und Manteldurchmesser bzw. von der Mantelwandstärke)
- $p_i$ : Druck in der Lage  $i$
- $p_{i+1}$ : Druck in der Lage  $i+1$

Die Gleichung (Gl. 02) zeigt, dass der entstehende Druck  $p_i$  in einer Lage  $i$  hauptsächlich von den geometrischen Parametern der Trommel, vom Seildurchmesser und besonders von dem Steifigkeitsverhältnis (Längselastizitätsmodul zu Querelastizitätsmodul) bzw. vom Trommelwerkstoff abhängt.

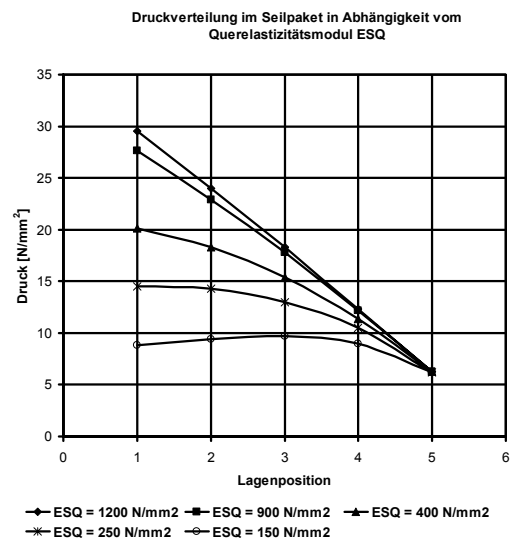
**Bild 6** stellt die Messergebnisse einer Seiltrommel mit einem Seildurchmesser  $d_s = 23$  mm unter einer Zugkraft von  $F_s = 50$  kN und die Verläufe der Beanspruchungen mit und ohne Berücksichtigung der Seilpaketssteifigkeit dar.



**Bild 6:** Reduzierung der Beanspruchung im Mantel durch die Tragfähigkeit des Seilpaketes

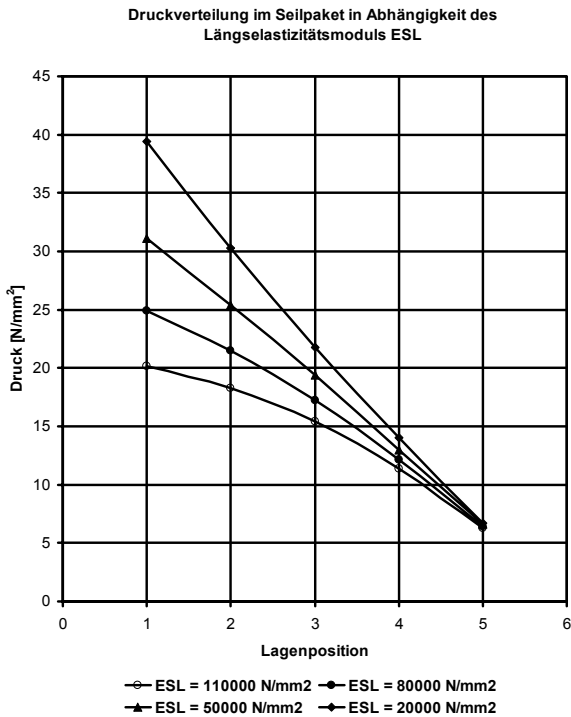
Es ergibt sich eine deutliche Absenkung der Beanspruchung im Trommelmantel durch die Berücksichtigung der Seilpaketsteifigkeit (vergl. Bild 6). Die Abweichung zwischen den Messwerten und der Berechnung mit der Berücksichtigung der Seilpaketsteifigkeit resultiert zum Teil aus dem komplexen Aufbau des Seilpaketes. Vereinfacht wird eine Säulenordnung der Windungen zugrunde gelegt, obwohl eine unterschiedliche Staplung zwischen Aufstiegs- und Parallelbereich vorliegt.

**Bild 7** zeigt die Verteilung des Drucks im Seilpaket im Abhängigkeit vom Querelastizitätsmodul.



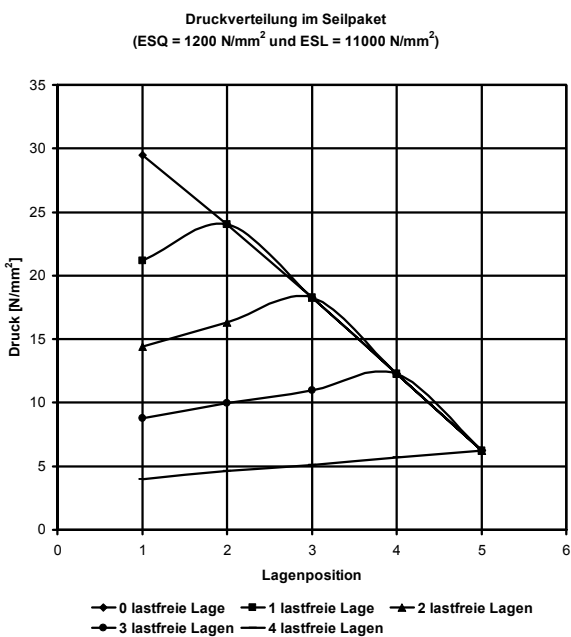
**Bild 7:** Druckverteilung im Seilpaket im Abhängigkeit vom Querelastizitätsmodul des Seils

Weiterhin ist die Belastung im Seilpaket auch vom Längselastizitätsmodul abhängig. **Bild 8** zeigt diesen Sachverhalt.



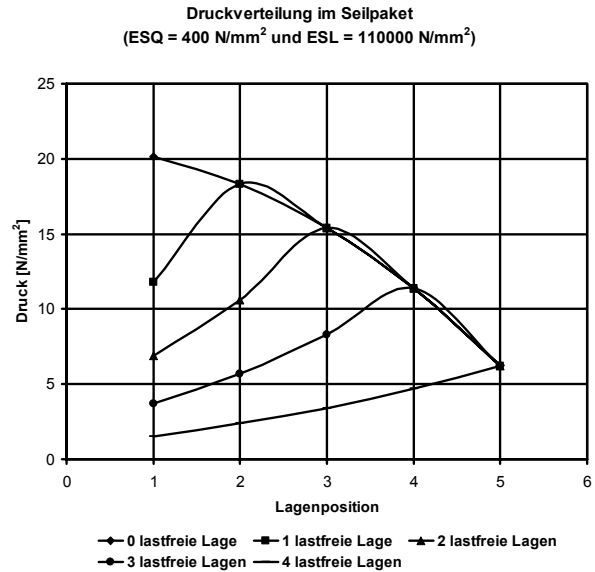
**Bild 8:** Druckverteilung im Seilpaket im Abhängigkeit vom Längselastizitätsmodul des Seils

In der Praxis wird der Mantel teilweise durch die lastfreie Aufwicklung von ein oder zwei unteren Lagen entlastet. Die **Bilder 9** und **10** bestätigen die Entlastung des Mantels durch eine solche Vorgehensweise.



**Bild 9:** Druckverteilung im Seilpaket im Abhängigkeit der lastfreien aufgewickelten Lagen

Durch die lastfreie Aufwicklung der ersten Lage reduziert sich den Druck auf dem Mantel um ca. 28% bei steifem Seil (**Bild 9**) und um ca. 41% bei weichem Seil (**Bild 10**).



**Bild 10:** Druckverteilung im Seilpaket im Abhängigkeit der lastfreien aufgewickelten Lagen

#### 4 Zusammenfassung

Die Bestimmung der Last auf die Seiltrommel bleibt nach wie vor ein sehr komplexes Thema. Es wurde hier der Einfluss der Seilpaketssteifigkeit erläutert. Die Tragfähigkeit des Seilpakets führt zu einer Entlastung des Mantels und diese kann bewusst bei der Auslegung leichterer Trommelkonstruktionen ausgenutzt werden.

Die **Bilder 9** und **10** zeigen eine Absenkung des Drucks auf den Mantel durch die lastfreie Aufwicklung unterer Lagen. Eine Reduzierung des Drucks ist bis auf 41% theoretisch möglich. In der Realität tritt ein so kompakt angenommenes Seilpaket durch den Einfluss von Seil- und Trommeltoleranzen sowie andere Abweichungen nicht auf. Die tatsächliche Entlastung ist dadurch etwas geringer als die theoretisch berechnete. **Bild 4** und **6** bestätigt diesen Sachverhalt.

#### 5 Literatur

- /1/, /2/, /3/ und /4/ s. in /5/
- /5/ Mupende, I.: Beanspruchungs- und Verformungsverhalten des Systems Trommelmantel – Bordscheiben bei mehrlagig bewickelten Seiltrommeln unter elastischem und teilplastischem Werkstoffverhalten, Dissertation, Curvillier Verlag, Göttingen, 2001