

## Experimentelle Beanspruchungsanalyse an einer Hubwinde

Mupende, I.; Otto, St.

Als Ergänzung zum Beitrag „Windentrommeln auf dem Prüfstand“ in dieser Institutsmittellung berichtet der vorliegende Artikel über die ersten Versuchsreihen, die in Zusammenarbeit mit einem bekannten Kranhersteller auf dem neuen Universal-Seiltrommelprüfstand des Instituts durchgeführt wurden. Es werden in kurzer Form die Versuchsvorbereitungen, die Meßtechnik und einige interessante Ergebnisse vorgestellt.

In addition to the article „Drum-Winches on the Test Rig“ in this annual report, the following article informs about the first tests which were undertaken on the new drum-winch test rig in cooperation with a well known crane manufacturer. On the following pages the test preparations, the measuring equipment and some of the interesting results will be described.

### 1 Ausgangssituation

Seit mehreren Jahren wird die hier zu untersuchende Hubwinde erfolgreich im praktischen Betrieb eingesetzt. Die Auslegung der Windentrommel erfolgte auf der Grundlage genormter Berechnungsverfahren und eines firmeninternen Know-how's. Im Rahmen der Versuche sollten nun die realen Beanspruchungen im Trommelmantel unter verschiedenen Lastsituationen gemessen und ein eventuell vorhandenes Potential zur Gewichtsreduzierung aufgezeigt werden.

Ein weiteres Ziel der experimentellen Untersuchungen war die Verifikation der Resultate von Finite Elemente Berechnungen und von analytischen Betrachtungen, die zur qualitativen und quantitativen Beschreibung der Beanspruchungen im Trommelmantel ebenfalls am IMW durchgeführt wurden.

2 **Finite Elemente Berechnungen**

Am IMW wurde eine Methodik für den Einsatz der Finite Elemente Simulation entwickelt, mit deren Hilfe die Beanspruchungen im Trommelmantel mit sehr hoher Genauigkeit bestimmt werden können.

### 2 Finite Elemente Berechnungen

Eine der Randbedingungen für die Finite Elemente Berechnungen ist der als Lasteingangsgröße anzunehmende mittlere Druck auf den Trommelmantel. Dieser durch die Seilzugkraft erzeugte Manteldruck und die daraus resultierenden Beanspruchungen können mit dem am IMW entwickelten Trommeldimensionierungsprogramm TroDim (Bild 1) ermittelt werden. Dabei werden sowohl die Entlastungsef-

fekte als auch die Beanspruchungen im Trommelmantel unter verschiedenen Lastsituationen gemessen und ein eventuell vorhandenes Potential zur Gewichtsreduzierung aufgezeigt werden.

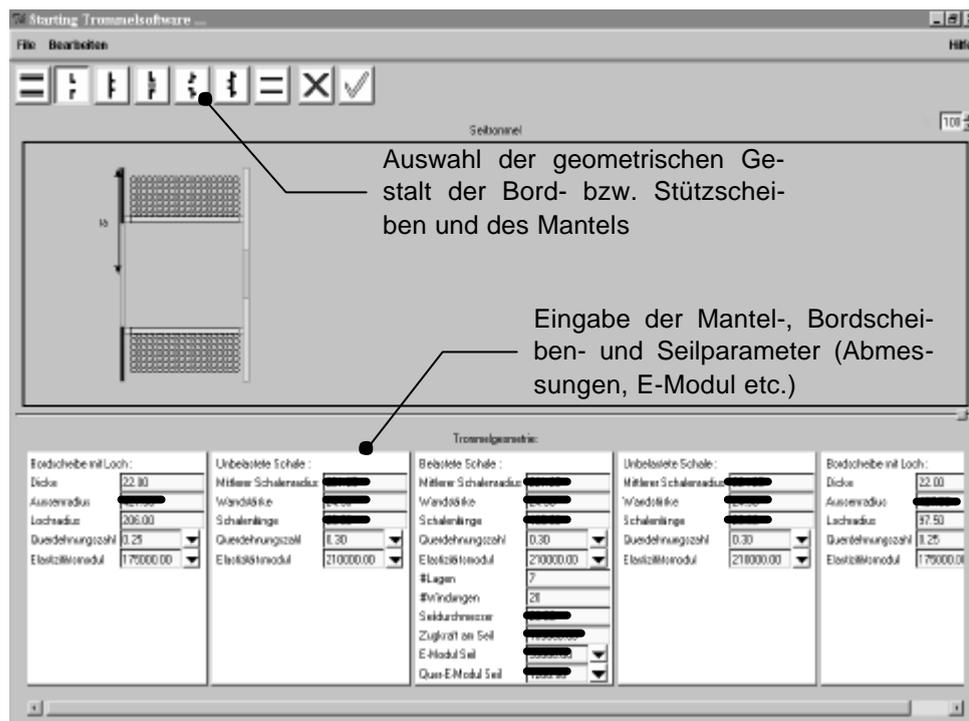


Bild 1: Eingabemaske des Trommeldimensionierungsprogramms TroDim

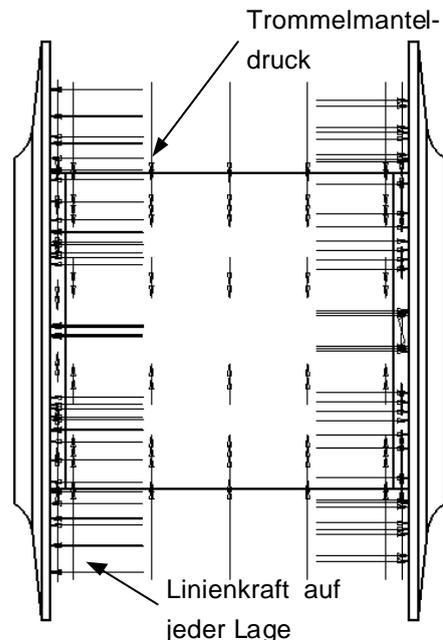
efekte durch die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Windungen als auch die durch eine mehrlagige Bewicklung entstehende Entlastung des Trommelmantels berücksichtigt. Die Berechnungsalgorithmen des Programms leiten sich aus der Schalen- und Plattentheorie ab. In der aktuellen Version ist die lagenabhängige Variation des Querelastizitätsmoduls verwendeter Seile ebenfalls in die Berechnungen einbezogen.

**Bild 1** zeigt die Eingabemaske des Dimensionierungsprogramms, in der außer den geometrischen Abmessungen beispielsweise auch die Angaben zum Werkstoff des Trommelmantels und der Bordscheiben sowie die Eigenschaften des aufgelegten Seils erfaßt werden.

Das Trommeldimensionierungsprogramm berücksichtigt lediglich ideale Geometrien für den Mantel und die Bordscheiben. Unstetigkeiten, wie Verschraubungen, eine Berillung der Trommel, das Seilschloß, angeschrägte Bordscheiben oder Kerbradien, werden bei der Ermittlung der Beanspruchungen nicht beachtet. Hierfür dient die FE-Simulation, mit der die reale Bauteilgeometrie besser nachempfunden werden kann. Im Sinne einer zeit-effizienten Berechnung wurden die Festigkeitsberechnungen allerdings an einem abstrahierten Modell der Trommel durchgeführt. In **Bild 2** sind die Originalgeometrie und das vereinfachte FE-Modell der Trommel gegenübergestellt. Wesentliche Vereinfachungen sind:

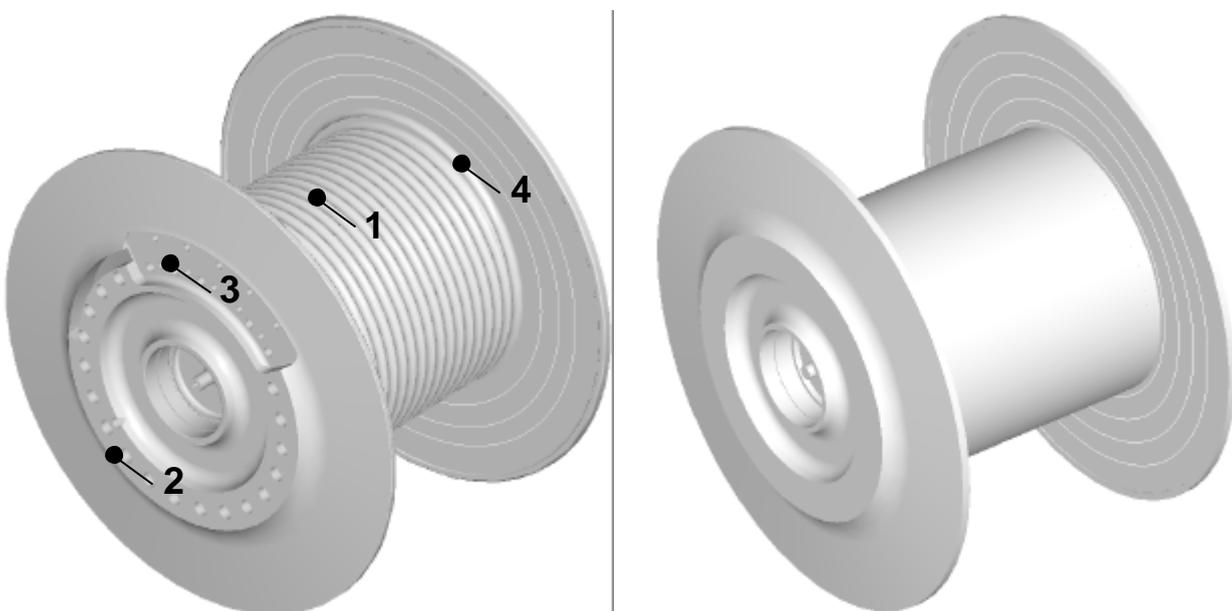
- Vernachlässigung der Berillung (1) in der Spannungsermittlung; der Außendurchmesser des Trommelmantels entspricht dem Grunddurchmesser,

- Einkörperberechnung ohne Kontakt zwischen Endscheiben und Trommelmantel; die Verschraubung (2) von Mantel und Endscheiben wurde nicht beachtet,
- Vernachlässigung des Seilschlusses (3) und
- die Berillung (Aufstiegs- und Parallelbereiche) auf beiden Endscheiben (4) blieb bei der Modellierung außen vor.



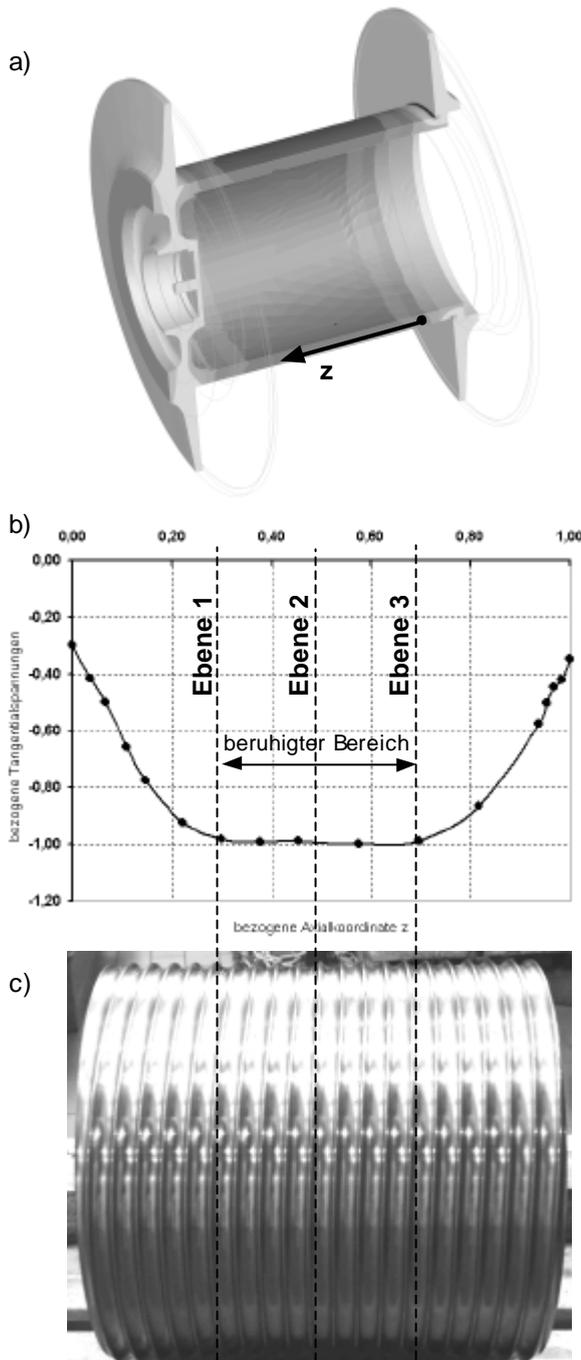
**Bild 3:** Lasteingangsgrößen für das FE-Modell

Als Fesselbedingung für das FE-Modell wurde eine Fest-Los-Lagerung angewendet, bei der die Getriebeseite in allen Freiheitsgraden fixiert ist und die Loslagerseite lediglich eine Verschiebung in Axialrichtung erlaubt. Die Lastgrößen sind in **Bild 3** dargestellt.



**Bild 2:** Originalmodell (links) und vereinfachtes FE-Modell (rechts) der Windentrommel

Das „Einschnüren“ des Trommelmantels durch den Druck der Seilwindungen führt im Wesentlichen zu tangentialen Druckspannungen. Sie entsprechen ca. 90% der nach der Gestaltänderungsenergiehypothese gebildeten Vergleichsspannung und sind somit maßgebend für die Dimensionierung des Trommelmantels. Aufgrund der rotationssymmetrischen Druckbelastung (vgl. **Bild 3**) entsteht eine rotationssymmetrische Verteilung der Tangentialspannungen im Mantel mit Maximalwerten an den Rändern des beruhigten Beanspruchungsbereichs (**Bild 4b**).

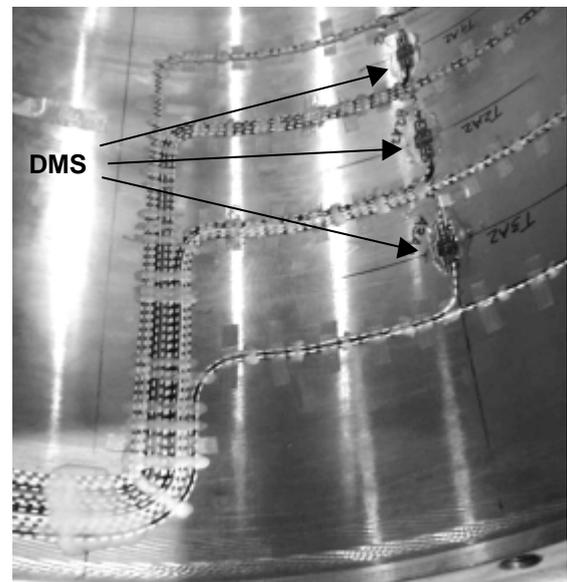


**Bild 4:** FE-Ergebnisse der Tangentialspannungen; a) Schnittansicht; b) Auswertung entlang eines axialen Schnitts durch den Trommelmantel; c) Meßebenen

Auf der Grundlage dieser FE-Ergebnisse wurden die Meßebenen für die experimentelle Beanspruchungsanalyse festgelegt (**Bild 4c**). Zur Vermeidung von Spannungsgradienten an der Meßstelle erfolgte die Applikation der Dehnungsmeßstreifen ausschließlich im beruhigten Beanspruchungsbereich des Trommelmantels. Die Verteilung der Meßstellen am Umfang der Trommel wurde so gewählt, daß sowohl Spannungen im Parallelbereich als auch im Aufstiegsbereich der Berillung gemessen wurden.

### 3 Experimentelle Spannungsermittlung

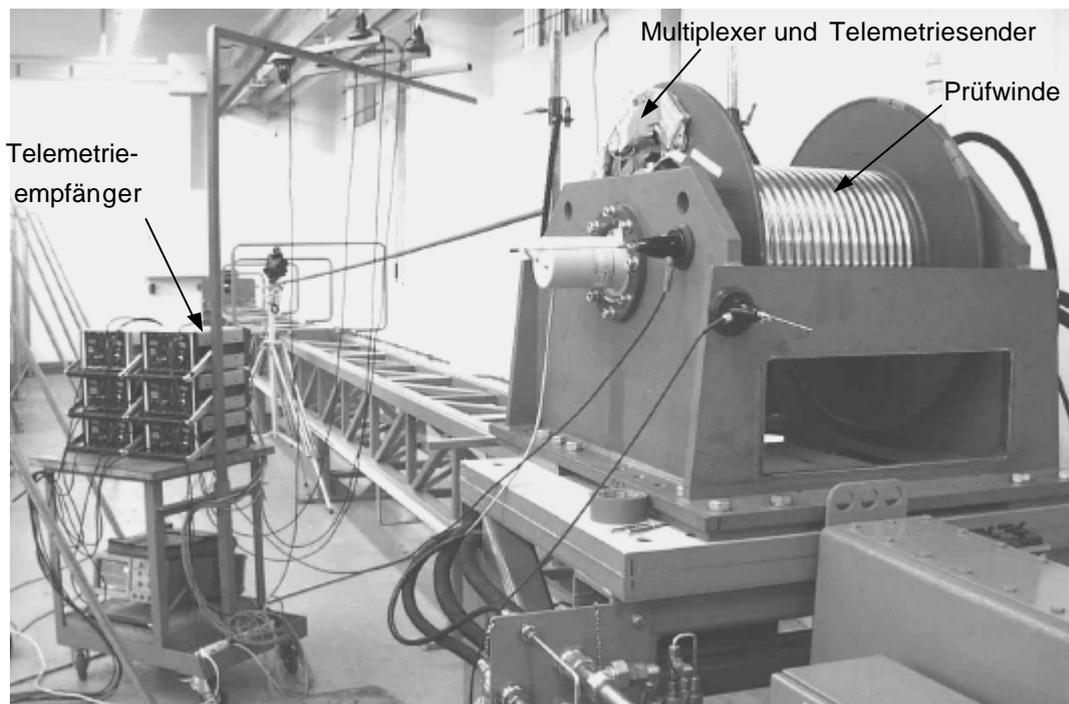
Für die Erfassung der tangentialen und radialen Spannungskomponenten am Trommelumfang wurden insgesamt 24 Dehnungsmeßstreifen appliziert. **Bild 5** vermittelt einen Eindruck von der Position und der Verkabelung der Dehnungsmeßstreifen.



**Bild 5:** Applizierte Dehnungsmeßstreifen am inneren Umfang des Trommelmantels

Um einen kontinuierlichen Versuch durchführen zu können, werden die aufgenommenen Meßsignale mit einer Mehrkanal-Telemtrieanlage zum Meßwert erfassungsrechner gesendet. Dabei bietet die am IMW entwickelte Vielstellenmeßtechnik die Möglichkeit, bis zu 64 Meßsignale über 4 Telemetrie Kanäle zu übertragen. Mit dieser hohen Anzahl an Meßstellen ist eine sehr gute Auflösung des Beanspruchungsverhaltens der Trommel möglich. In weiteren, hier nicht beschriebenen Versuchsreihen, konnte so auch das Beanspruchungs- und Verformungsverhalten der Bordscheiben sehr detailliert untersucht werden.

Außer den Dehnungswerten werden gleichzeitig die Seilzugkraft, die Seilgeschwindigkeit, der Lagen-



**Bild 6:** Meßaufbau (Trommel, Prüfstand, Telemetrieanlage)

wechsel und Referenzsignale zum softwareseitigen Demultiplexen der Meßsignale übertragen. Der gesamte Versuchsaufbau ist in **Bild 6** dargestellt.

#### 4 Ergebnisse

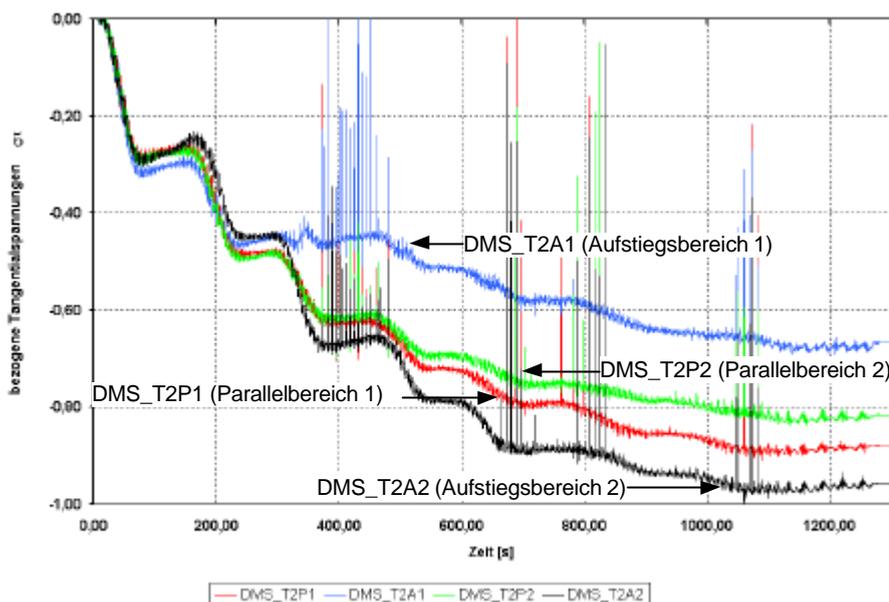
Der Verlauf der Tangentialspannungen in der mittleren Schnittebene (**Bild 7**) verdeutlicht die degressive Spannungszunahme mit wachsender Lagenanzahl. Dies korrespondiert mit einer degressiven Druckzunahme je Lage. Die gemessenen Maximalwerte der Trommelmantelbeanspruchungen,

deren Absolutwerte an dieser Stelle nicht genannt werden sollen, sind um ca. 6% niedriger als die Ergebnisse der FE-Berechnung. Im Hinblick darauf, daß die Berillung, welche im FE-Modell nicht betrachtet wurde, die Spannungen um 4 bis 6% abbaut, stimmen die experimentellen und numerischen Ergebnisse sehr gut überein.

Interessant ist der Unterschied zwischen den Spannungswerten der verschiedenen Winkellagen (vgl. **Bild 7**). Daraus läßt sich schlußfolgern, daß der Trommelmantel unsymmetrisch belastet wird, wobei die Unterschiede in den einzelnen Bereichen bis zu 30% der Maximalbeanspruchungen betragen können.

Diese Asymmetrie bildet sich erst ab der zweiten Lage heraus und ist vermutlich auf die unterschiedlichen Steifigkeiten des Seilpaketes zurückzuführen.

Zur Klärung dieses Effektes müssen detailliertere Messungen durchgeführt werden.



**Bild 7:** Auf den Maximalwert bezogene Tangentialspannungen in der Schnittebene 2 des Trommelmantels (vgl. **Bild 4**)