

Einsatz von Laser Profil Scannern bei der Mehrlagenwicklung von Seilen

Schulze, M.



Zur Berechnung von Seiltrommeln ist die Kenntnis des Aufbaus des Wickelpaketes und damit auch die Kenntnis des Seilquerschnitts notwendig. Der Seilquerschnitt kann vor allem bei Faserseilen nicht als kreisrund angenommen werden. Um die Form genauer analysieren zu können, kommen Laser Profil Scanner in zwei verschiedenen Versuchsaufbauten zum Einsatz. Mit dem einen ist es möglich, den lagenweisen Aufbau des Wickelpaketes zu erfassen. Mit dem anderen kann der Querschnitt des Seils aufgenommen werden. Anschließend können die aufgenommenen Profile verarbeitet werden und beispielsweise die Wickelhöhe bestimmt und der Seilquerschnitt gemessen und beschrieben werden.

The structure of the winding pack is an important input for the calculation of the drum load. Therefore the rope cross-section is important too. The cross-section of fibre ropes cannot be assumed as an ideal circle. Laser profile scanners are used in two different setups to evaluate the rope deformation. In the first setup optical recordings of the winding pack and in the second setup optical recordings of the rope cross-section are taken. Based on these images the winding height can be analysed and the rope cross-section can be calculated.

Einleitung

Die Berechnung mehrlagig bewickelter Seiltrommeln erfordert eine genaue Kenntnis der Geometrie des Wickelpaketes. Diese Geometrie ergibt sich aus dem Seilquerschnitt und dem Verformungsverhalten des Seils in der Mehrlagenwicklung. Während bei Drahtseilen näherungsweise von einem runden Querschnitt ausgegangen wird, ist bei Faserseilen eine stärkere Verformung beispielsweise hin zu einer ovalen Form gegeben. Durch diese unterschiedlichen Formen ergeben sich Unterschiede in den Wickelhöhen zwischen beiden Seilarten. Diese müssen als Wickelhöhe bei der Berechnung des Manteldrucks und als relevanter Kraftangriffspunkt an den Bordscheiben bei der Auslegung der Seiltrommel berücksichtigt werden /1, 2, 3/.

Aus diesem Grund besteht die Notwendigkeit, eine genauere Analyse sowohl der Seilverformung als auch des Wickelpaketes durchführen zu können. Zu diesem Zweck werden Laser Profil Scanner eingesetzt.

Wickelversuche am IMW

Am Institut für Maschinenwesen (IMW) ist ein Wickelprüfstand zur Untersuchung des Zusammenspiels von Seil und Seiltrommel vorhanden (Abbildung 1). Der Prüfstand umfasst die Speichertrommel, das Spill, eine Seilscheibe und die Versuchstrommel. Diese kann das Seil mit verschiedenen Lasten auf- und abspulen. Dazu kann die Last auch in den zu spulenden Lagen variiert werden. Die Aufbringung der Kraft auf das Seil erfolgt mit Hilfe einer kleinen Kraft auf Seiten der Speichertrommel und einer Kraftverstärkung durch das Spill.

Mit Hilfe des Prüfstandes können Untersuchungen zur Belastung an der Versuchstrommel durchgeführt werden. Außerdem kann man das Spulbild während des mehrlagigen Spulens beobachten. Dazu wurde bisher das Wickelverhalten zum einen anhand von Bildern und Videoaufnahmen qualitativ beurteilt, zum anderen bestand die Möglichkeit mit einem Lasersensor an einem relativ zur Bordscheibe fixen Punkt die Wickelhöhe zu messen. Aufgrund der beispielsweise helixförmigen Bewicklung des Seils um die Trommel erfasst der Sensor dabei zeitweise die Oberkante des Seils, die Zwischenräume aber auch die Übergangsbereiche dazwischen. Unterschiede in der Höhe der Oberkante des Seils während einer Umdrehung können jedoch nicht erfasst werden.



Abbildung 1: Wickelprüfstand am IMW zur Analyse des Zusammenspiels von Seil und Seiltrommel

Die Analyse der Seilverformung wurde bisher anhand der Messung von drei mit 120° Versatz aufgenommenen Seildurchmessern ausgeführt. Da das Seil nicht immer in der gleichen Lage die Messung durchläuft sondern sich auch in gewissen Bereichen dreht, war hier das Ziel eine größere Anzahl von Durchmessern erfassen zu können.

Laser Profil Scanner

Als Laser Profil Scanner kommen Geräte der Firma MICRO-EPSILON zum Einsatz. Diese arbeiten nach dem Prinzip der optischen Triangulation. Es wird ein Laserstrahl mit Hilfe einer Spezialoptik aufgefächert, sodass eine Laserlinie entsteht. Die Reflektionen werden mittels eines CMOS-Sensors ausgewertet. Da der Sensor als Matrix ausgeführt ist, können sowohl der Abstand (z-Achse) als auch die Position (x-Achse) ausgewertet werden. Die Berechnung des Abstandes erfolgt allgemein nach (1) /4/:

$$b_1 = \frac{a_1}{\tan \alpha_1} \quad 1$$

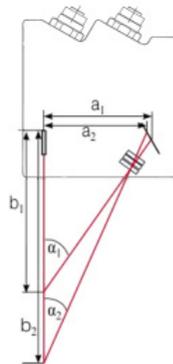


Abbildung 2: Laser Profil Scanner mit Beispiel zur Ermittlung des Abstandes eines Messobjektes (z-Achse) /4/

Messaufbauten am Wickelprüfstand

Zur Messung des Wickelpaketes können bis zu drei Sensoren zum Einsatz kommen. Die Auswertung erfolgt anschließend entweder für jeden Sensor separat, oder es besteht die Möglichkeit, die Bilder mehrere Sensoren zusammensetzen. Dies ist jedoch nur möglich, wenn sich die Messbereiche in x-Richtung überschneiden (Abbildung 3 links und Abbildung 4).

Zur Messung des Seilquerschnitts sind in jedem Fall drei Sensoren notwendig. Diese sind mit 120° Versatz um das Seil angeordnet. Ihre Einzelbilder werden zu einem Seilquerschnitt zusammengefügt (Abbildung 3 rechts und Abbildung 4).



Abbildung 3: Exemplarische Anordnung von Laser Profil Scannern zur Untersuchung des Seilpaketes auf der Trommel (links) und Aufbau zur Untersuchung der Seilverformung am freien Seil nahe der Seilscheibe (rechts)

Versuchsdurchführung

Die gezeigten exemplarischen Ergebnisse wurden unter den Prüfbedingungen in Tabelle 1 und Tabelle 2 gewonnen:

Tabelle 1: Seiltrommel für Drahtseile, Daten

Trommeldurchmesser	D	480	mm
Rillensteigung	e	24,1	mm
Umschlingungen je Lage	U	40	
Lagen	L	5	

Tabelle 2: Faserseil, Daten

Seilnennendurchmesser	d	23	mm
Konstruktion	12 fach Geflecht		
Faser	Dyneema		

Lagenaufbau im Wickelpaket

Der Aufbau des Wickelpaketes wird beim Aufwickeln des Seils auf die Trommel untersucht. Dazu sind drei Laser Profil Scanner oberhalb der Trommel angeordnet (Abbildung 4).

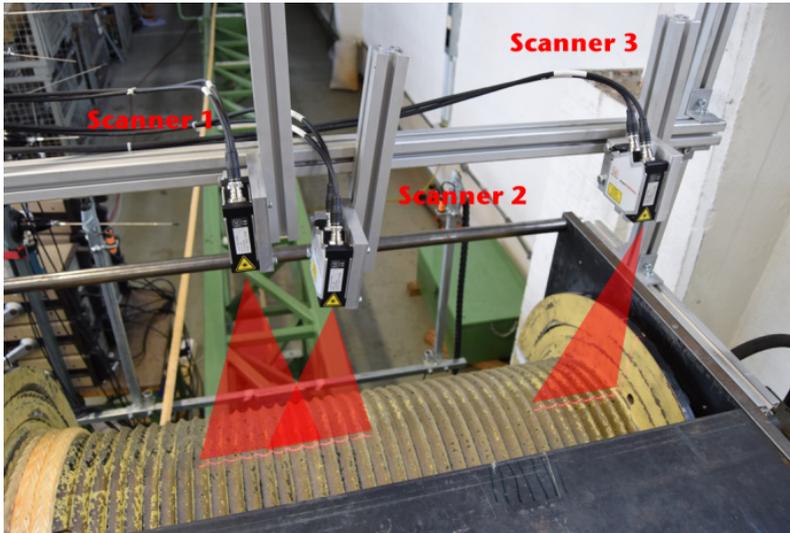


Abbildung 4: Versuchstrommel mit Laser Profil Scannern zur Erfassung der Trommel- oder Wickelpaketoberfläche

Mit der Hilfe eines Drehgebers werden in gleichen Winkelschritten Aufnahmen von der Oberfläche der Trommel bzw. des Wickelpaketes gemacht. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurden 64 Aufnahmen pro Umdrehung aufgezeichnet.

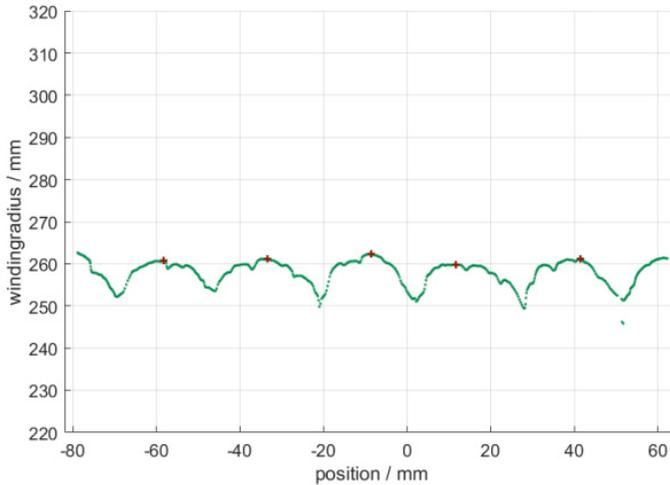


Abbildung 5: Exemplarisches Bild des Wickelpaketes mit jeweiligem Maximum der fünf Windungen

Zur Ermittlung der Wickelhöhe wird in jedem Bild für jede Umschlingung des Seils deren Maximum gesucht und ausgewertet. In Abbildung 5 sind beispielsweise fünf Maxima gefunden worden und mit einem roten Kreuz markiert. Aus diesen fünf Einzelwerten wird ein Mittelwert für das gesamte Bild errechnet. Zusammengefasst und über die Umdrehungen der Trommel aufgetragen lässt sich der ganze Lagenaufbau des Wickelpaketes verfolgen (Abbildung 6).

Der Grund warum sich in Abbildung 6 unterschiedlich viele Umdrehungen für die Lagen ergeben liegt in der Position des ausgewerteten Scanners begründet. Dieser ist nicht in der Mitte der Trommel befestigt. Der Weg, den das Seil zur Bordscheibe und zurückläuft, ist für das Seil in der ersten oder dritten Lage länger. In der zweiten und vierten Lage ist der Weg zur anderen Bordscheibe kürzer. Daher ist für den Scanner die erste und die dritte Lage für mehr Umdrehungen zu sehen als die zweite und die vierte.

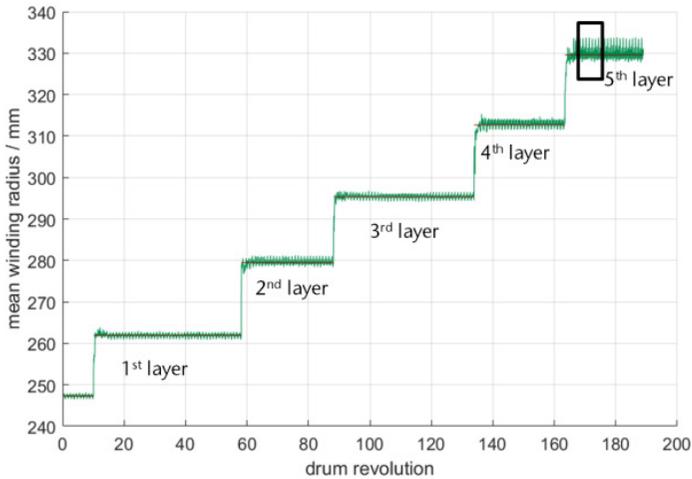


Abbildung 6: Höhenverlauf der Oberkante der Seile während eines Wickelvorgangs mit fünf Lagen

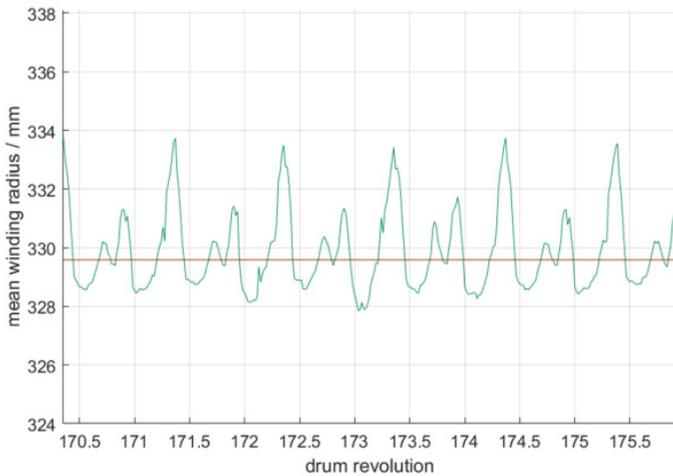


Abbildung 7: Detail der fünften Lage mit erkennbaren Höhenunterschieden im Parallel- und Kreuzungsbereich

Die gemessenen Höhen können der Rillung und den Lagen eins bis fünf zugeordnet werden. Neben diesem Verlauf sind auch verschiedene Höhen innerhalb einer Lage zu erkennen. (Abbildung 7). Diese lassen die unterschiedlichen Wickelhöhen in den unterschiedlichen Abschnitten Parallel- und Kreuzungsbereich der Trommel erkennen (Abbildung 8). Im Verlauf einer Umdrehung sind idealerweise jeweils zwei Signaltäler und zwei -täler zu sehen. Im Bereich der Kreuzung, in der die Wicklungen übereinander laufen, ergibt sich ein höheres Wickelpaket im Vergleich zum Parallelbereich. In Abbildung 7 sind die beschriebenen beiden Signaltäler gut zu erkennen. Ebenfalls ist eine Signalspitze gut zu sehen. Die zweite Spitze ist hingegen nicht ideal ausgebildet. Sie ist auf zwei kleinere Spitzen verteilt und auch deutlich niedriger im Vergleich zur anderen Spitze. Dies ist einem nicht optimalen Wickelverhalten zuzuschreiben.

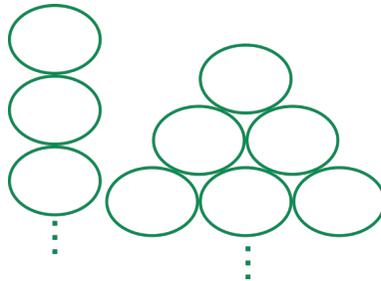


Abbildung 8: *Idealisiertes Wickelverhalten in Kreuzungs- (links) und Parallelbereich (rechts)*

Aus der Differenz zwischen den Lagen kann die Veränderung des Wickelradius‘ ermittelt werden. Damit ergibt sich ein charakteristischer Wert für den Lagenaufbau (Abbildung 9).

Weiterhin können Einzelbilder von der gleichen Winkelposition aus jeder Lage zusammengesetzt werden, um einen Eindruck über das Ergebnis des Wickelpaketes zu erhalten (Abbildung 10). Es ist zu beachten, dass die Einzelaufnahmen jeweils nur die sichtbare Oberfläche zeigen, und dass das zusammengesetzte Ergebnis nicht ein der Realität entsprechender Querschnitt durch das fertige Wickelpaket ist. Die Verformungen, die aus den nachfolgenden Lagen resultieren, sind in der Abbildung 10 nicht erfasst.

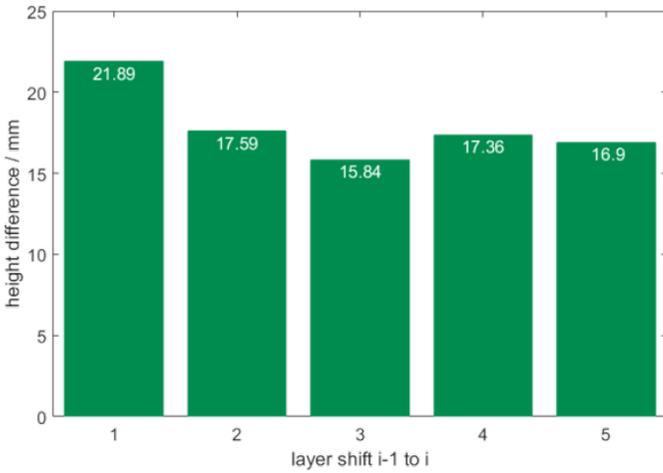


Abbildung 9: Exemplarisches Ergebnis eines Wickelversuches für die Höhenunterschiede zwischen den Lagen

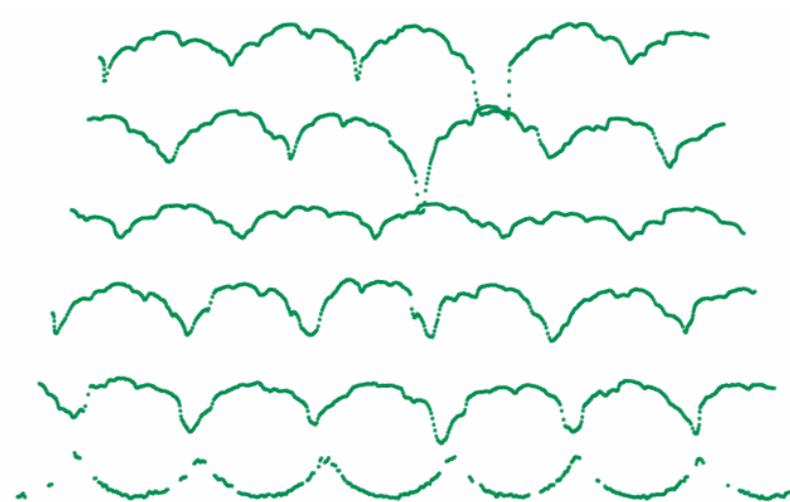


Abbildung 10: Querschnitt durch das Wickelpaket mit verschiedenen Wickelstörungen

Seilverformung am freien Seil

Während des Ablaufs des Seils von der Trommel werden Aufnahmen vom Seil gemacht. Hier wird die bleibende Verformung des Seils beim Gebrauch ermittelt. Mit der Hilfe von drei Laser Profil Scannern, die kurz vor der Seilscheibe positioniert sind, wird jeweils ein Teil der Seiloberfläche aufgenommen (Abbildung 11). Anschließend werden die Einzelaufnahmen zu einem ganzen Seilquerschnitt zusammengesetzt (Abbildung 12).

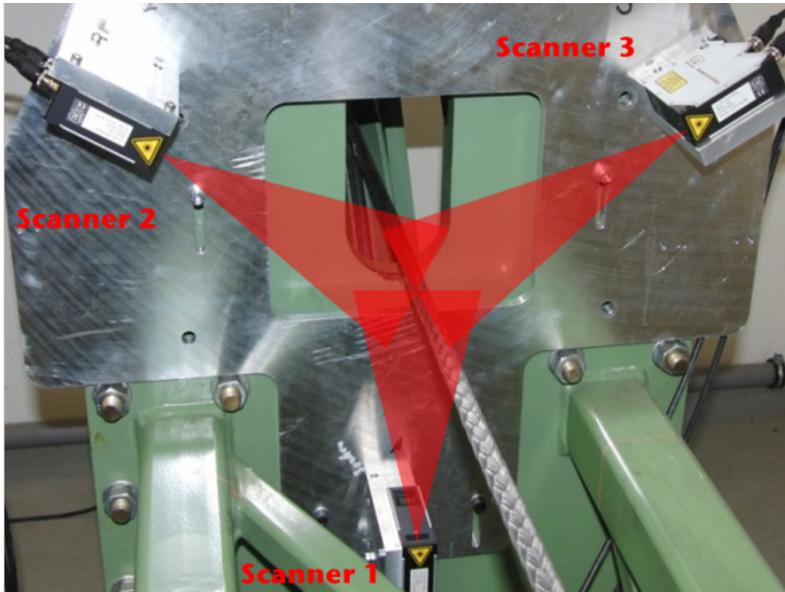


Abbildung 11: Aufbau der Laser Profil Scanner zur Erfassung des Seilquerschnitts



Abbildung 12: Exemplarischer Aufnahme eines Seilquerschnitts

Aus jedem Querschnitt können richtungsabhängige Seildurchmesser ermittelt werden. Dazu wird durch eine Software eine Messung durchgeführt, wie sie analog auch mit einem Messschieber ausgeführt werden könnte. Das bedeutet, dass für jede Winkelposition der Abstand als Seildurchmesser erfasst wird, an denen die Messlinien zuerst das Seil berühren. Als Ergebnis liegt eine frei wählbare Anzahl von Einzeldurchmessern und deren Winkelposition zu jedem Seilquerschnitt vor (Abbildung 13).

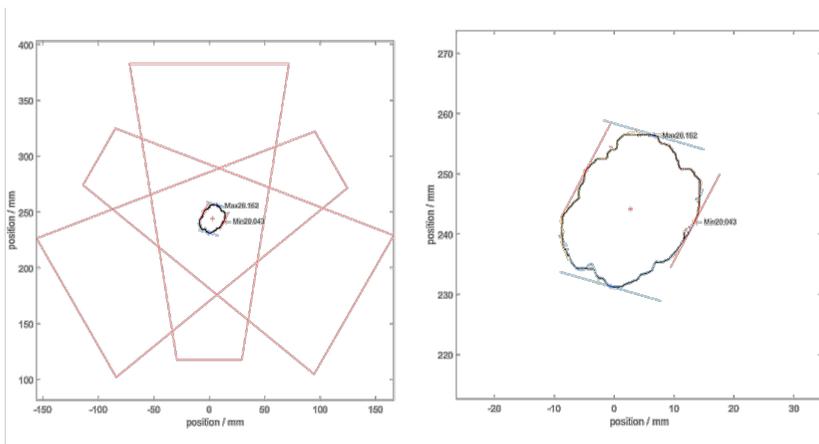


Abbildung 13: Seilquerschnitt mit Darstellung des Messbereichs der Laser Profil Scanner (links) und Seilquerschnitt mit ermitteltem maximalem und minimalem Seildurchmesser (rechts)

Aus diesen Durchmessern werden als relevante Größen der größte (d_{\max}), der kleinste (d_{\min}) und der Mittelwert von allen Durchmessern aus der Einzelaufnahme (d_{mean}) ausgewählt bzw. errechnet.

Als charakteristische Werte für ein Seil kann die relative Rundheit berechnet werden. Sie lässt sich ausgehend von der relativen Ovalität ableiten. Die Ovalität wird aus der Differenz zwischen dem größten und dem kleinsten Durchmesser im Verhältnis zum größten Durchmesser gebildet (2). Die relative Rundheit berechnet sich durch eins minus der relativen Ovalität. Sie lässt sich auch als Verhältnis zwischen dem minimalen und dem maximalen Durchmesser interpretieren (3).

$$O_{\text{rel}} = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{d_{\max}} \quad 2$$

$$R_{\text{rel}} = 1 - \frac{d_{\max} - d_{\min}}{d_{\max}} = \frac{d_{\min}}{d_{\max}} \quad 3$$

Aus der Untersuchung der Seilverformung liegen abschließend die Werte d_{\min} , d_{mean} , d_{\max} und R_{rel} für jeden Seilquerschnitt vor. Diese lassen sich für den ganzen Versuch zusammenfassen oder Lagenweise interpretieren (Abbildung 14 und Abbildung 15).

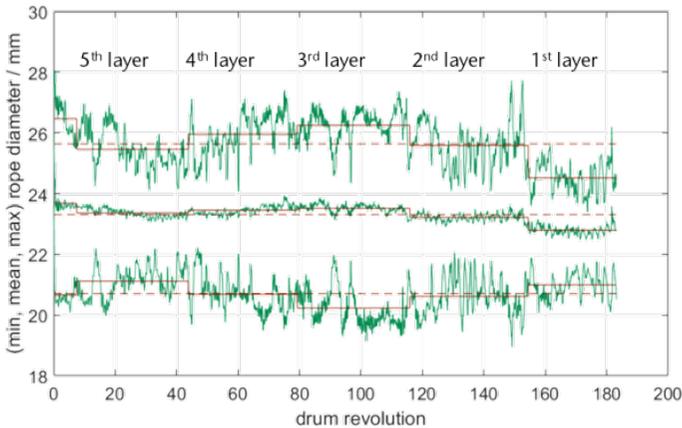


Abbildung 14: Exemplarisches Ergebnis eines Wickelversuchs für die minimalen, mittleren und maximalen Seildurchmesser

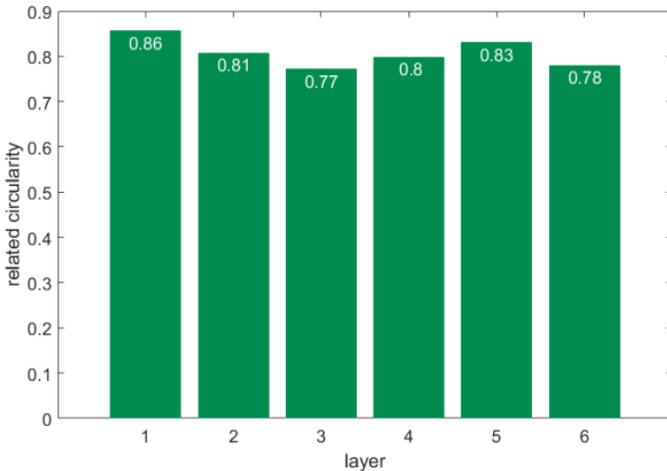


Abbildung 15: Ergebnis für die berechnete relative Rundheit je Lage

Zusammenfassung

Mit Hilfe von Laser Profil Scannern kann die Deformation von Seilen und der daraus resultierende Lagenaufbau untersucht werden. Dabei wird zum einen der Kennwert der relativen Rundheit für das Seil und damit seine bleibende Deformation ermittelt. Zum anderen wird das Zusammenspiel von Seil und Seiltrommel in Form des Lagenaufbaus ermittelt. Mit Hilfe der beiden Werte besteht die Möglichkeit, einen qualitativen Vergleich zwischen der elastischen Verformung in der Mehrlagenwicklung und der bleibenden Deformation am freien Seil durchzuführen.

Die gewonnen Werte können anschließend zur Berechnung der Trommelbelastung genutzt werden. Zudem kann auf Grundlage der gewonnen Werte eine Anpassung der Trommeloberflächen an ein Faserseil vorgenommen werden. Dazu wird die Rillung an die relative Rundheit angepasst und es besteht die Möglichkeit zusätzliche Stützelemente an den Bordscheiben vorzusehen /2, 3/.

Literatur

- /1/ 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.
- /2/ 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.
- /3/ Schulze, M.; Wächter M.; Innovatives Wickelsystem für Faserseile; Mitteilungen aus dem Institut für Maschinenwesen der Technischen Universität Clausthal 40 (2015), 17-28.
- /4/ Eibauer, U.; Rauch, D.: Schnittstellenhandbuch LLT.dll, C#, MICRO-EPSILON 2015