

Entwicklung textiler Maschinenelemente für den Einsatz in Windkraftanlagen und Seilwinden

Development of Textile Machine Parts for Use in Wind Turbines and Winches

**Nadine Reimann
Ingo Berbig**

*Stiftungsprofessur Technische Textilien – Textile Maschinenelemente
Institut für Fördertechnik und Kunststoffe
Fakultät für Maschinenbau
Technische Universität Chemnitz*

Es sollen hochfeste, gewichtreduzierte Zug- und Tragmittel aus hochmodularen (HM) und hochfesten (HT) Fasern validiert und dabei sowohl runde als auch flache, riemenartige Strukturen untersucht werden. Dadurch sind effizientere Fördersysteme und die Überwindung technischer Grenzen möglich. Darüber hinaus soll das Hauptkriterium für ein breites Anwendungsspektrum geschaffen werden: ein anerkanntes, zerstörungsfreies Prüfverfahren, mit dem der Austausch- bzw. Wartungszeitpunkt des textilen Tragmittels bestimmt werden kann. Können die o. g. Punkte erfolgreich bearbeitet werden, erfolgt eine Ausdehnung der textilen Strukturen in den Bereich kraftübertragender Maschinenelemente. Anhand von Feldversuchen in förder-technischen Anlagen im Bergbau/ Intralogistik soll erstmals der vollständige Nachweis geführt werden, dass derartige textile Strukturen in technischen Anwendungen eingesetzt werden können. Der Nachweis umfasst die Validierung einer Vielzahl von Einzelschwerpunkten wie die Entwicklung einer Endlos-Herstellungstechnologie bzw. Endverbindung, die Tragmitteldimensionierung, die Erbringung von Festigkeitsnachweisen, die Erarbeitung von Vorschriften und die Erprobung der Verfahren zur Zustandsüberwachung.

[Schlüsselwörter: Hochfeste und hochmodulare Fasern, Faserseil, Maschinenelemente, Textil, Leichtbau]

The validation of high-strength, lightweight traction and carrying elements from high-modulus (HM) and high-tensile (HT) fibres is desired, examining both round and flat, belt-like structures. For this reason more efficient delivery systems and overcoming technological boundaries are possible. In addition, the main criterion for a wide range of applications shall be created: a recognized, non-destructive test method which can determine the exchange or service date of the textile carrying element. If the above points can be successfully processed, an expansion of the textile structures in the area of force-transmitting machine elements gets possible.

Based on field experiments in material handling systems in mining/ intralogistics the first complete proof can be done, that such textile structures can be used for technical applications. The evidence includes the validation of a variety of single-focus areas such as the development of a continuous manufacturing process resp. termination, the dimensioning of carrying elements, provide evidence of tensile strength, the development of regulations, and testing procedures for condition monitoring.

[Keywords: high-strength and high-modulus fibres, fibre rope, machine parts, textile, light weight design]

1 EINLEITUNG

In Anknüpfung an die bisherige Grundlagenforschung der InnoProfile-Gruppe „InnoZug“ (vgl. auch [TUC11]) auf dem Gebiet der hochfesten synthetischen Faserseile sollen weitere Anwendungsfelder erschlossen und textile Maschinenelemente modifiziert werden. Die Kenntnisse über Integration von Sensorik, die Untersuchung von Verschleißmechanismen und die anwendungsspezifische Konstruktion können für die Entwicklung von Maschinenelementen auf Basis von Technischen Textilien nutzbar gemacht und zum Beispiel in förder-technischen Anlagen wie Stetig- und Unstetigförderern zur Anwendung gebracht werden.

An den zwei folgenden Beispielen soll der konkrete Bedarf solcher Entwicklungen dargestellt werden:

- Textile Welle als Antriebselement zur Übertragung von Torsionskräften
- Bandförmige Zugmittel mit integrierter Sensorik/Medienführung

2 TEXTILE WELLE

Derzeit sind Windkraftanlagen mit *horizontal* angeordneter Rotorachse (siehe Abbildung 1, links) auf Grund ihres hohen Wirkungsgrades sehr weit verbreitet. Nachteilig sind jedoch hohe Anlagenkosten, die durch Fundamente sowie die Nachführung in die vorherrschende Windrichtung maßgeblich geprägt sind. Zudem erschweren die starke Geräuschentwicklung und störender Schattenwurf die Installation in der Nähe von Wohngebieten. Windkraftanlagen mit *Vertikalachsrotor* hingegen (siehe Abbildung 1, rechts) bieten einen nahezu geräuschlosen Betrieb unabhängig von Windstärke und -richtung bei geringerem Wirkungsgrad als Horizontalachsenanlagen.

Um das Anwendungsfeld erweitern zu können, ist der Ausgleich des Wirkungsgraddefizits durch eine gezielte Leistungssteigerung notwendig.

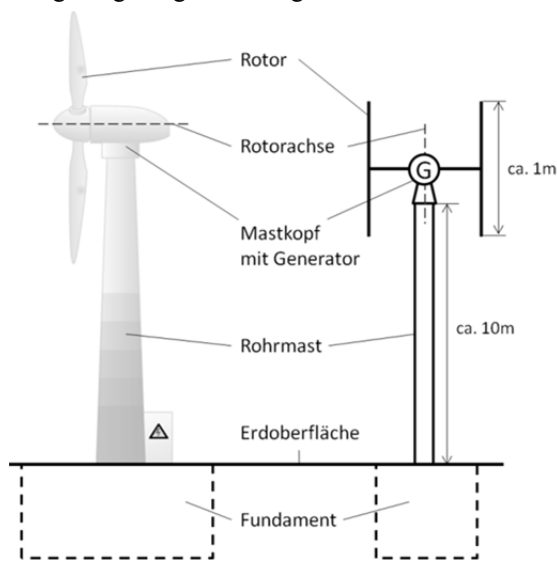


Abbildung 1. Windkraftanlage mit horizontaler bzw. vertikaler Rotorachse

Die allgemeine Berechnung des Wirkungsgrades einer Anlage erfolgt nach der unten abgebildeten, stark vereinfachten Gleichung (1). Nach Einsetzen der Verlustleistung und Umstellen der Gleichung wird deutlich, dass eine Steigerung der zugeführten Leistung bei geringer Verlustleistung nach (2) eine deutliche Verbesserung des Wirkungsgrades bewirkt.

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{P_{zu} - P_V}{P_{zu}} = 1 - \frac{P_V}{P_{zu}} \quad (1)$$

$$\text{wenn: } P_{zu} \gg P_V \quad \text{dann: } \frac{P_V}{P_{zu}} \rightarrow 0 \quad (2)$$

mit: P_{ab} Nutzleistung
 P_{zu} zugeführte Leistung
 P_V Verlustleistung

In die Berechnung der zugeführten Leistung geht die vorherrschende *Windgeschwindigkeit* als gegebene Größe und folgende veränderliche Konstruktionsgrößen ein:

- Rotorfläche
- Leistung des Generators
- Anzahl der Polpaare

Die Ermittlung der Verlustleistung beinhaltet die Größen:

- Gewicht am Mastkopf
- Reibung (Generator und Rotorlagerung)
- Trägheit

Durch den Einsatz einer deutlich größeren Rotorfläche wird die Leistungsfähigkeit von Vertikalachs-Windkraftanlagen erheblich gesteigert. Damit kann mehr Rotationsenergie aus der Windgeschwindigkeit entnommen werden. Das in der Folge höhere Gewicht am Mastkopf erfordert jedoch eine konstruktive Optimierung der Gewichtsverteilung der Gesamtanlage, da dieses zusätzliche Gewicht sich negativ auf die Trägheit und Reibung am Rotor auswirkt. Eine Möglichkeit bietet die Platzierung eines Generators mit gesteigerter Leistung in Bodennähe. Zur zuverlässigen Übertragung des Antriebsmoments ist die Entwicklung eines geeigneten Kraftübertragungselements erforderlich, da sich der Mast elastisch unter Windlast verformt und der Mastkopf in eine kreisförmige bzw. elliptische Pendelbewegung versetzt (siehe Abbildung 2).

Bekannt für solche Anwendungsfälle sind biegsame Wellen, die aber bisher nur auf kurzen Distanzen eingesetzt werden können. Da sie vorwiegend aus Stahlwerkstoffen hergestellt werden, weisen sie ein ungünstiges Dichte-Festigkeit-Verhältnis im Vergleich zu hochfesten Kunststoffen auf. Mit der Entwicklung einer textilen Welle auf Basis von synthetischen Faserseilen wird das Anwendungsfeld solcher Wellen signifikant erweitert.

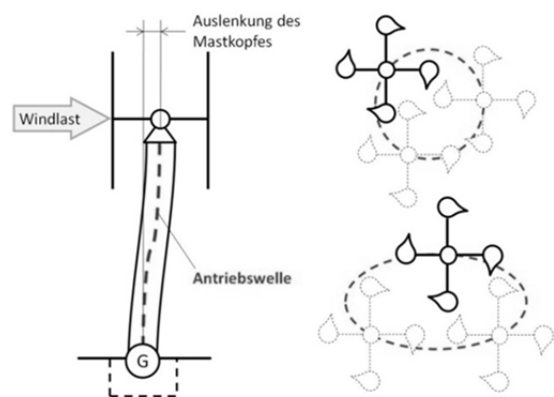


Abbildung 2. Kreisförmige bzw. elliptische Bewegung des Mastkopfes

Den Ansatz für eine textile Welle bilden die helixförmig umlaufenden Litzen (siehe Abbildung 3, Nr. 2 und 3) einer geflochtenen Hohlstruktur (1). Mit einem kleinen Flechtwinkel (5) liegen die Fasern nahezu in Be-

lastungsrichtung. Als Stützelement befindet sich im Inneren ein geflochtener Seilkern (4) aus PES-Fasern, der die Stabilität der äußeren Helixform gewährleistet. Die Mantelstruktur ist als Hartgeflecht sehr dicht sowie torsionssteif und ermöglicht aufgrund ihres textilen Aufbaus den Ausgleich von Axial- bzw. Winkelversatz zwischen den Flanschen. Aufgrund dieser Konstruktion findet eine Dämpfung des Anlaufmoments statt.

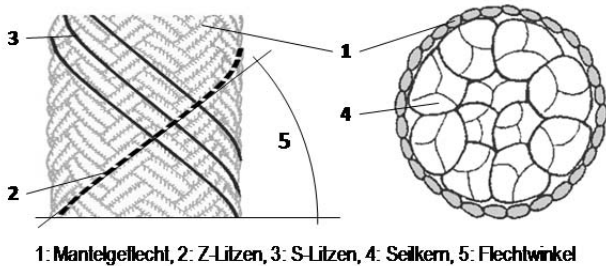


Abbildung 3. Helixförmig umlaufende Litzen eines Hartgeflechts

In Voruntersuchungen werden zunächst Seilproben eines konstanten Durchmessers von 6 mm einer Torsionsprüfung unterzogen. Dabei wird die Probe mittels Prismenklemmung an beiden Enden fixiert, eine Vorspannkraft aufgebracht, um $+360^\circ$ und anschließend um -360° verdreht. Die ermittelten Hysteresekurven zeigen den Einfluss verschiedener Prüfparameter.

Der erste Versuch wurde mit konstanter Einspannlänge unter verschiedenen Vorspannkraften durchgeführt. Abbildung 4 zeigt, dass durch die Vorspannung die Fasern des Seilkerns stark gestreckt mehr Stabilität auf das Mantelgeflecht übertragen und das maximale Drehmoment deutlich höher wird. Der steilere Abfall des Drehmoments bei negativem Drehwinkel weist auf eine bleibende Geflechtstrukturänderung in der Probe hin.

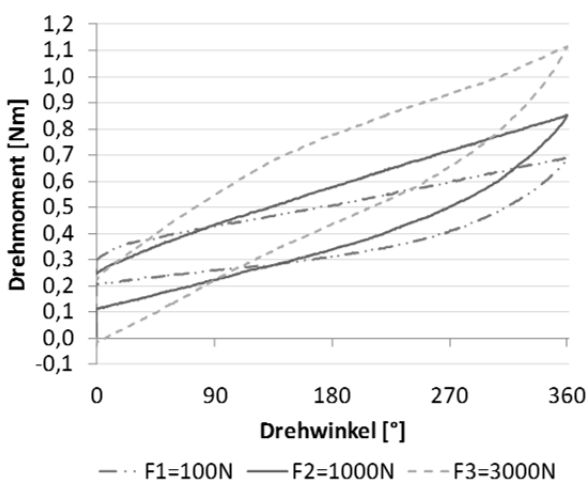


Abbildung 4. Torsionsprüfung eines Hartgeflechts mit konstanter Einspannlänge

Als zweiter Versuchsparameter wird die Einspannlänge variiert, die Vorspannkraft bleibt konstant bei 1000 N. Aufgrund der größeren Länge, liegen im tordier-

ten Abschnitt mehr Windungen der Litzen vor. Das maximale Drehmoment ist daher umgekehrt proportional zur Prüflänge (siehe Abbildung 5).

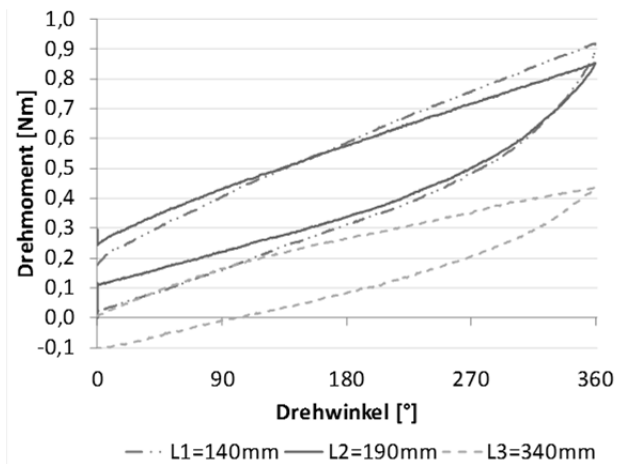


Abbildung 5. Torsionsversuch mit variablen Einspannlängen

Der Einfluss des Seildurchmessers wird in einer dritten Versuchsreihe ermittelt. Das Mantelgeflecht der 6-mm-Probe (P1) besteht aus 16 Litzen mit jeweils 1 mm Durchmesser. Davon verlaufen jeweils acht Z- bzw. S-Litzen um den Kern. Der Durchmesser der neuen Probe (P2) beträgt 11 mm und besteht aus 32 Litzen mit je 0,5 mm Durchmesser. Alle Einzellitzen weisen eine Feinheit von 1100 dtex auf und bilden damit im Geflecht bei gleicher Fadendichte einen größeren Durchmesser (in etwa doppelt). Die folgende Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse des Torsionsversuchs.

In vertiefenden Versuchen wird die geeignete Konstruktion des textilen Wellenelements ermittelt und mit der Entwicklung einer belastungsgerechten Endverbindung zur textilen Antriebswelle weiterentwickelt.

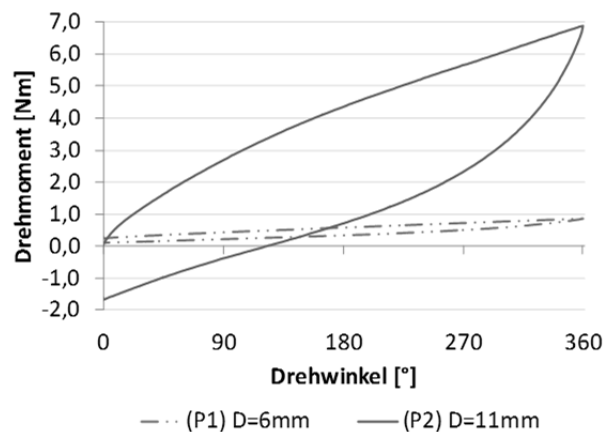


Abbildung 6. Torsionsversuch mit unterschiedlichen Probedurchmessern

3 INTELLIGENTES WINDENBAND

Unter dem von Michael und Vogel beschriebenen Gesichtspunkt [Mic10, S. 57-59], dass sich hochfeste synthetische Faserseile unter Einwirkung einer Normalkraft F_N über einer Seilscheibe in ihrem Querschnitt stark ovalisieren (siehe Abbildung 7), wird eine neue Entwicklung von Spezial-Zugmitteln aus bandartigen textilen Gebilden angestrebt.

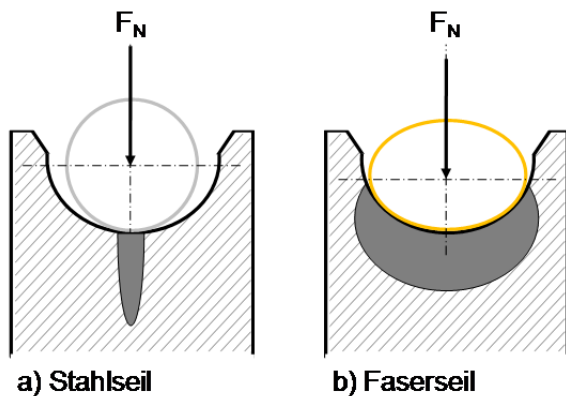


Abbildung 7. Ovalisierung des Seilquerschnitts unter Einwirkung einer Normalkraft F_N

Dabei werden in einem ersten Prozessschritt geflochtene Faserseile als Zugträger belastungsgerecht in eine extrudierte Kunststoffmatrix eingebettet oder mittels Flecht-/ Webtechnologien in Bändern aus hochfesten synthetischen Fasern positioniert und fixiert. Sie bilden die Grundstruktur des neuartigen textilen Bandes und bieten die Möglichkeit Sensorik zur Überwachung des Seilzustands/ Belastungshistorie oder Elemente zur Signalübertragung zu integrieren.

Der in Abbildung 8 aufgeführte gewebte Verbund weist die folgenden Vorteile auf:

- hohe Reißfestigkeit
- gute Biegeflexibilität
- geringer Verschleiß
- Integration von Zusatzfunktionen
 - Signalleitung
 - Medienführung
 - Sensorik zur Zustandsüberwachung

Dieser Aufbau ermöglicht sowohl den Betrieb mittels Treibscheibenantrieb, als auch den Windenbetrieb. Der Betrieb einer Bandwinde bedarf noch weiterer Entwicklungsarbeiten. So ist die Drehzahl des Windenantriebs mit konstanter Geschwindigkeit, bzw. unter vorgegebener Geschwindigkeit genauestens zu steuern. Weiterhin liegt ein besonderes Augenmerk auf der Wickelstruktur. Auf Grund der strukturierten Oberfläche entstehen Wickelungleichmäßigkeiten. Diese müssen so gering wie möglich

gehalten werden, um einen kreisrunden Wickelquerschnitt zu erhalten.

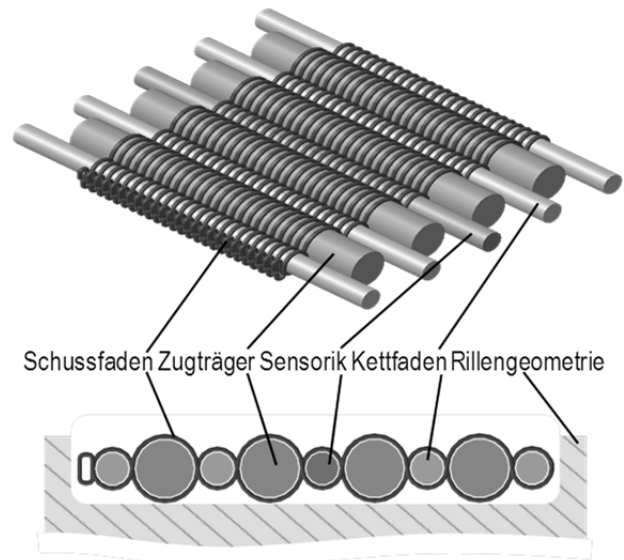


Abbildung 8. Möglicher bandartiger Verbund von Zugträgern mittels Webtechnologie

4 ZUSAMMENFASSUNG

Anhand der Vorversuche wird deutlich, dass mit einem ca. verdoppelten Durchmesser eine Steigerung des Drehmoments um das rund siebenfache zu erwarten ist. Setzt sich dieser Trend für weitere Durchmesser fort, kann eine Steigerung des übertragbaren Drehmoments mit noch größeren Seildurchmessern erfolgen. Dazu wird es jedoch erforderlich einen geeigneten Hohlkörper zu umflechten, um Stützmaterial einzusparen.

Weitere Möglichkeiten zur Steigerung des übertragbaren Moments ist die Stabilisierung des Wellenelements durch Extrusion einer zusätzlichen äußeren Stützschicht oder Tränkung des Mantelgeflechts mit Harz als fixierende Matrix. Mit Hilfe dieser Matrix wird einer Veränderung der Geflechtstruktur unter Belastung entgegengewirkt.

In einem weiteren Schritt zur Entwicklung von textilen Maschinenelementen müssen die Endverbindungen und die entsprechende Peripherie in den ausgewählten fördertechnischen Anlagen untersucht und umgesetzt werden. Nach eingehender Analyse der Teilsysteme erfolgt eine methodische Konstruktion der Endverbindungen bzw. Befestigungselemente. In mehreren Bemusterungsschleifen werden die Ergebnisse validiert. Abschließend werden die spezifischen Eigenschaften in einer Datenbank gesammelt und als Produktportfolio in die Industrie überführt.

LITERATUR

- [Hea04] Hearle, John: High-performance fibres, Cambridge: Woodhead Publishing, 2004
- [McK04] McKenna, Henry; Hearle, John; O’Hear, Nick: Handbook of fibre rope technology, Cambridge: Woodhead Publishing, 2004
- [Mic10] Michael, Markus; Vogel, Wolfram: Ovalisierung von hochfesten Faserseilen in Rundrillen, Euroseil, 2010
- [Sch98] Scheffler, Martin; Feyrer, Klaus; Matthias, Karl: Fördermaschinen, Wiesbaden: Vieweg, 1998
- [TUC11] Forschergruppe InnoZug: Abschlussbericht, TU Chemnitz, 2011
- [Vog98] Vogel, Wolfram: Dauerbiegeversuche an gedrehten und geflochtenen Faserseilen aus hochfesten PE Fasern, Technische Textilien, S. 126-128, 1998