

Umlenk- und Treibscheiben aus verdichtetem Holzfu- nierlagenverbundwerkstoff für hochfeste Faserseile

Deflection and traction sheaves made of compacted wood veneer composite
for high-strength fiber ropes

Andreas Kretschmer
Christoph Alt
Patrick Kluge

*TU Chemnitz,
Professur Förder- und Materialflusstechnik,
Forschungsgruppe Anwendungstechnik Erneuerbarer Werkstoffe.*

Der vorliegende Beitrag thematisiert die Entwicklung von Umlenk- und Treibscheiben aus Holzfu-
nierlagenverbundwerkstoffen für hochfeste Faserseile. Es werden Aufbau, Funktionsweise beschrieben und wesentliche Untersuchungsergebnisse in Bezug auf Seillebensdauer und Treibfähigkeit dargestellt.

*[Schlüsselwörter: Holzfu-
nierlagenverbundwerkstoff, Faserseil,
Umlenkscheibe, Treibscheibe]*

The present article deals with the development of de-
flecting and traction sheaves made of wood veneer
composites for high-strength fiber ropes. It describes the
structure, functionality and significant results of the in-
vestigation in terms of lifetime of the ropes and traction.

*[Keywords: Wood Veneer Composite, fiber rope, deflection
sheave, traction sheave]*

1 HOCHFESTE FASERSEILE IN DER FÖRDERTECHNIK

Der Einsatz hochfester Faserseile in förder-
technischen Anlagen befindet sich zur Zeit noch im Versuchs-
stadium, bietet jedoch ein enormes Potential im Hinblick auf große
Masseinsparungen und Reduktion der einzusetzenden An-
triebsleistungen. Bei identisch möglichen Traglasten und
gleichem Nenndurchmesser der Seile beträgt die Eigen-
masse der Faserseile lediglich etwa 20% der Eigenmasse
von Stahldrahtseilen. [HeT14] So kann durch Austausch
der Seile und der Peripherien in bestehenden Anlagen
Masse eingespart und die Energieeffizienz bzw. die Nutz-
last erhöht werden. Ein aktuelles Beispiel stellt das innova-
tive hochfeste Faserseil soLITE™ von Liebherr und Teu-
felsberger für Krananwendungen dar [Lie19].

Für den Einsatz von Faserseilen in Förderan-
lagen muss die Peripherie, d.h. die Umlenk- bzw. Treibscheiben,
angepasst werden. Die bei Stahldrahtseilen zur Anwen-
dung kommenden Rillengeometrien sind nicht geeignet.
Grund dafür ist, dass geflochtene Faserseile im Vergleich
zu Stahldrahtseilen keinen runden Querschnitt besitzen.
Der Querschnitt ist eher als flachgedrückt und elliptisch zu
beschreiben (z. B. sechseckig bei 2-flechtig und 12-litzig,
vgl. Abbildung 1). Eine genaue Bestimmung des Quer-
schnitts mit entsprechender Wiederholgenauigkeit ist aktu-
ell nicht möglich. Zudem sind diese Seilkonstruktionen im
Gegensatz zu Stahldrahtseilen nicht formstabil, d. h. sie be-
nötigen ein stützendes Element beim Lauf über Seilschei-
ben. Die Standardrundrille einer Stahl- oder Kunststoffseil-
scheibe, die bisher auf Versuchsebene für Faserseile
eingesetzt wird, kann diese Formunterstützung nicht leis-
ten. Durch die fehlende seitliche Stützwirkung verändert
sich die Querschnittsform beim Lauf über die Seilscheibe
(vgl. Abbildung 2). Aufgrund der Querschnittsänderung ist
die optimale Auflagefläche zwischen Rillenoberfläche und
Seiloberfläche nicht gesichert und reduziert somit die
Treibfähigkeit über den gesamten Umschlingungswinkel.
Weiterhin wird das Faserseil durch seine ständige Quer-
schnittsänderung innerlich durch die Relativbewegung der
Litzen untereinander und äußerlich durch das Abgleiten der
Seiloberfläche auf der Rillenoberfläche geschädigt. Das
verringert die Lebensdauer der Faserseile erheblich. Auf-
grund dieser Tatsache kann das Potenzial des Faserseils
(max. zulässige Zugbelastung) nicht vollständig ausgenutzt
werden. [KrA17]

Die aufgezeigten Nachteile führten zu der Idee, die
Umlenk- und Treibscheiben für hochfeste Faserseile aus
verdichtetem Holzfu-
nierlagenverbundwerkstoff (WVC –
Wood Veneer Composit) umzusetzen. Verdichtetes WVC,
auch bekannt als Kunstharzpressholz, hat Festigkeitseigen-
schaften vergleichbar mit Metallen, jedoch deutlich über

nicht-faserverstärkten Kunststoffen [MüC12]. Damit ist gewährleistet, dass die auftretenden mechanischen Belastungen von Seilscheiben aus WVC grundsätzlich ertragen werden können. Aus tribologischer Sicht sind hohe Haftreibwerte für die Kombination aus Faserseil und Treibscheibe erforderlich. Durch die Verwendung von WVC für die Treibscheibe wird angenommen, dass durch die hohe Oberflächenrauheit, vor allem der Hirnholzflächen, bessere Treibfähigkeiten als bei Treibscheiben aus Stahl oder Kunststoff erreicht werden können. Historisch gesehen ist die Anwendung von nativem Holz als Seilrillenwerkstoff in Kombination mit Stahlseilen weit verbreitet gewesen. Der Grund zur Anwendung dieser Wirkpaarung war einerseits die Erhöhung der Treibfähigkeit, um so ein Durchrut-

schen der Seile auch bei schweren Förderkörben zu verhindern. Andererseits wird das Stahlseil durch eine bessere Nachgiebigkeit der Holztreibscheibe geschont [PrB04].

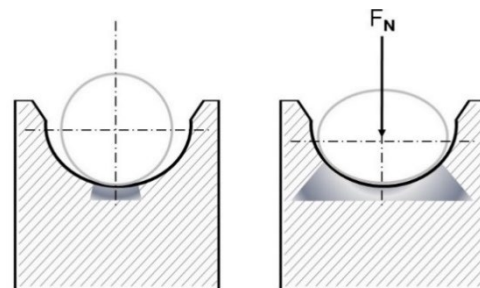


Abbildung 1. Seilkontakt und Querschnittsänderung bei Querkraftveränderung (links: Scheibenverlauf querkraftfrei, rechts: Umkehrpunkt Querkraftmaximum) [Mic10]

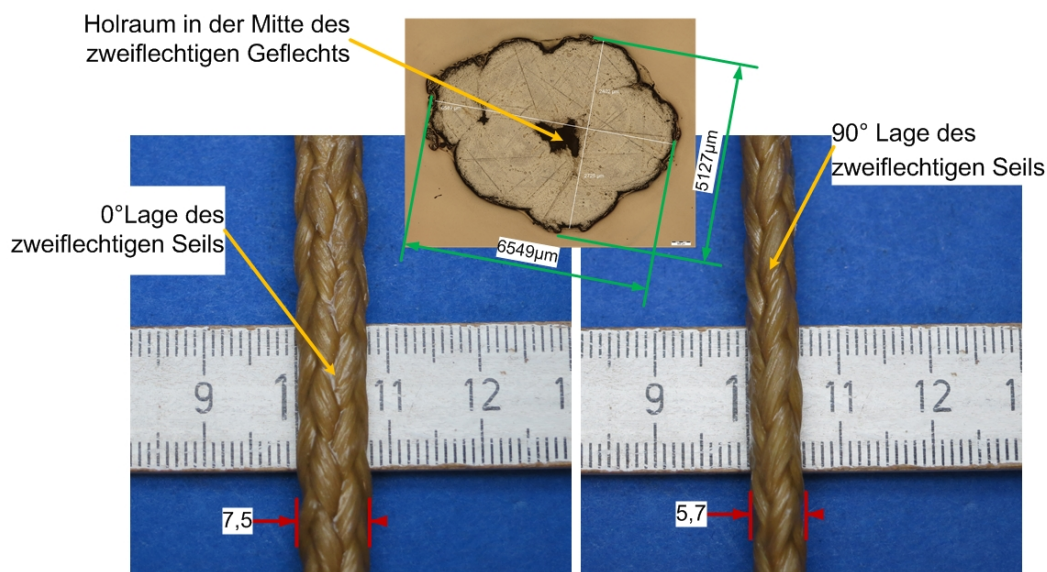


Abbildung 2. Seilgeometrie (Kerngeflecht) 2-flechtig, 12-litzig, optimiert für fördertechnische Anwendungen (unter Last fixiert)

2 UMLENKSCHLEIBEN IN HOLZBAUWEISE

2.1 RILLENGEOMETRIE

Faserseile haben im Gegensatz zu Stahlseilen eine geringere Quersteifigkeit, wodurch sie weniger formstabil sind. Ihr Querschnitt plattet bei Umlenkung stärker ab, es entsteht ein eher sechseckiges Querschnittsprofil (vgl. Abbildung 3). Läuft ein Faserseil über eine Umlenkung, so finden Dehnungen und Stauchungen im Geflecht und damit Relativbewegungen zwischen den Fasern und Litzen statt. Diese führen zu abrasivem Verschleiß und zu einem Verlust an tragendem Seilquerschnitt. Ist, wie im Falle eines Faserseils, eine geringe Quersteifigkeit gegeben, entsteht zusätzlich eine Walkbewegung durch das Abplattieren des Querschnitts und somit zusätzlicher Seilverschleiß. Die Geometrie des Rillengrundes muss also der „natürlichen“ Form des Seilquerschnitts bei Umlenkung angepasst sein. Unter „natürlich“ wird dabei eine Rillenform verstanden, die eine möglichst homogene Spannungsverteilung im

Seil ermöglicht. Abbildung 3 zeigt eine für Faserseile ideale Rillengeometrie. Aus fertigungstechnischen Gründen ist eine Umsetzung dieser Rillengeometrie sehr aufwendig, weshalb zu Versuchszwecken im Rahmen dieser Untersuchungen eine Rundrille mit im Vergleich zu Stahl- und Kunststoffscheiben geringerem Radius gewählt wurde.

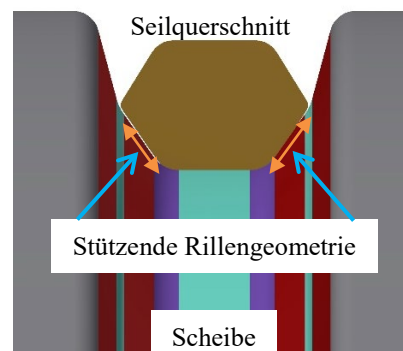


Abbildung 3. Für Faserseile modifizierte Rillengeometrie [Kra17]

2.2 UNTERSUCHUNG DER SEILLEBENSDAUER

Die Untersuchung der Seillebensdauer erfolgte in einem Biegewechselprüfstand an der TU Chemnitz. Dazu wurden Funktionsmuster aus hochverdichtetem Kunstharzpressholz (Rohdichte $\approx 1,4 \text{ g/cm}^3$, Bezeichnung: B140) und Umlenkscheiben aus Stahl und Polyamid 6 als Referenz getestet. Abbildung 4 zeigt den Aufbau des Biegewechselversuchs. Der Biegewechselprüfstand besteht aus einer in vertikaler Richtung verschiebbaren Mittelkonsole und einer festen Umlenkscheibe unterhalb der Mittelkonsole. Die Funktionsmuster sind in Flanschform ausgeführt und werden über den Außenring an der Mittelkonsole befestigt. Anschließend wird ein Seil über beide Umlenkscheiben gelegt. Durch Verschieben der Mittelkonsole in vertikaler Richtung kann eine gewünschte Seilvorspannkraft eingestellt werden, die mittels Kraftsensor erfasst wird. Ein Temperatursensor zeichnet zusätzlich die Seiltemperatur während der gesamten Versuchsdauer auf.

Es wurde die Seillebensdauer der drei unterschiedlichen Seile geflochten aus den Fasertypen Technora®T221 [FiL19], Dyneema®SK75 [Dyn19] und Vectran®T97 [Kur19] untersucht. Frühere Untersuchungen an der TU Chemnitz haben gezeigt, dass die Ausrichtung der Seile Einfluss auf deren Lebensdauer haben [KrA16]. Deshalb wurde innerhalb der Versuche eine weitere Unterscheidung zwischen Seilinnenseite und –außenseite vorgenommen. Zu beachten ist, dass bei den durchgeführten Versuchen ein Seilscheibendurchmesser-Seildurchmesser-Verhältnis (D:d-Verhältnis) von 12,5 angewendet wurde, um die Versuchszeit zu verkürzen und um die erzielten Ergebnisse mit bereits durchgeführten Versuchen zu vergleichen. Bei der Nutzung eines D:d-Verhältnisses von 17, was dem mini-

malen industriell eingesetzten Durchmesser Verhältnis entspricht, erhöht sich die Versuchsdauer enorm. Gleichzeitig reduziert sich die Anfälligkeit hinsichtlich des Versagens des Musters, welches bei dem Durchmesser Verhältnis 12,5 auftrat (vgl. Abbildung 6).

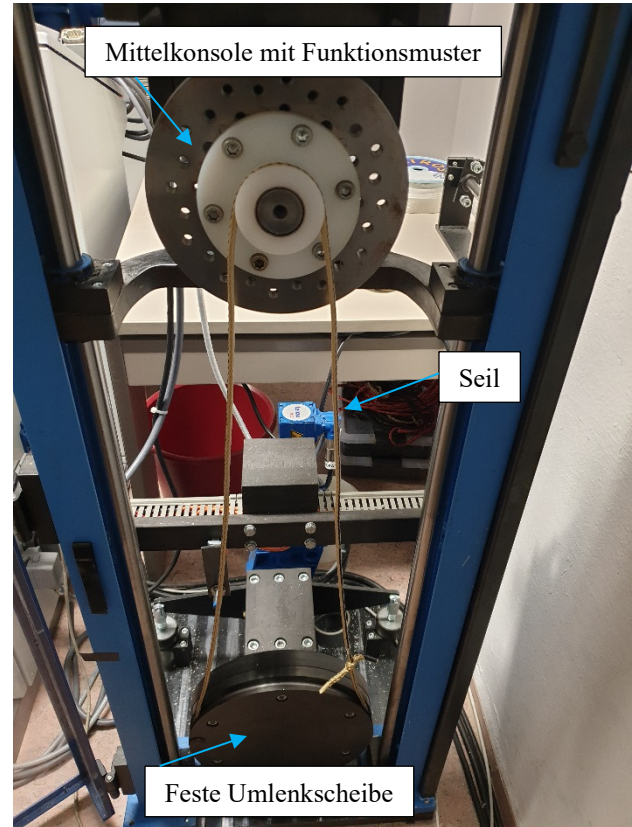


Abbildung 4. Biegewechselprüfstand mit eingebautem Funktionsmuster aus PA6

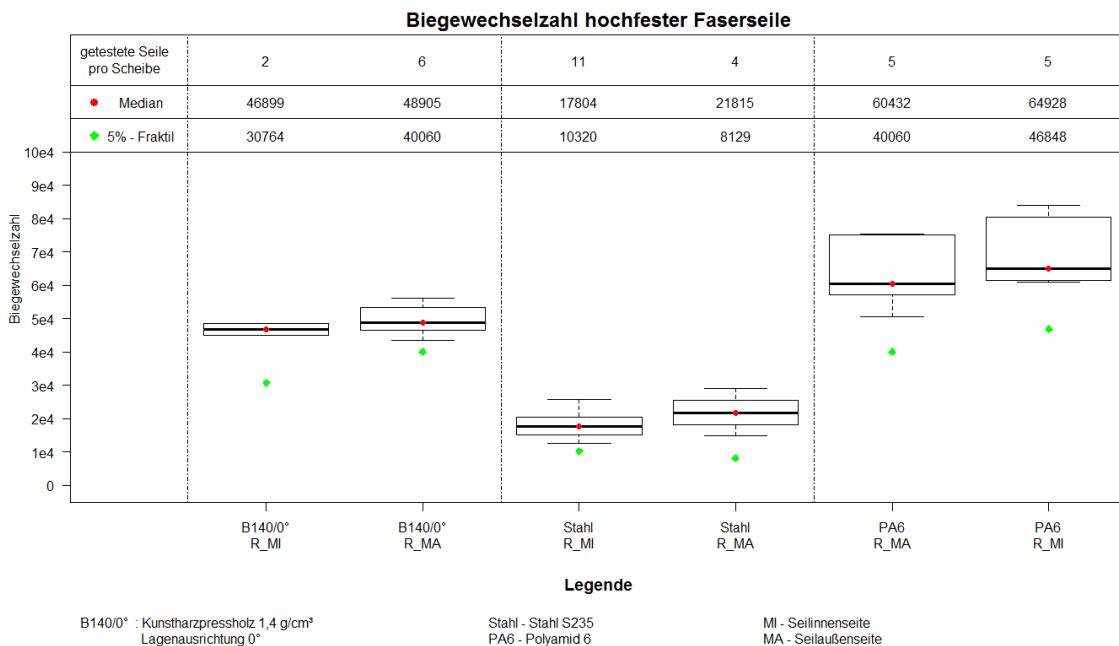


Abbildung 5. Ergebnisse der Untersuchungen der Seillebensdauer für unterschiedliche Funktionsmuster

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der Biegewechselprüfung an Funktionsmuster aus WVC, Stahl und PA6. Getestet wurde jeweils ein Funktionsmuster pro Versuchsreihe, an dem hintereinander mehrere Seile bis zum Seilversagen belastet wurden (Anzahl getesteter Seile siehe Abbildung 5 oben). Ausgehend von einer Standardnormalverteilung der ermittelten Biegewechselzahlen der einzelnen Seile kann der Median als Wert der Biegewechselzahl, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % erreicht wird, ermittelt werden. Es zeigt sich, dass PA6-Umlenkscheiben mit 60432 bzw. 64928 (Median) Biegewechsel die höchste Seillebensdauer generieren. Die WVC-Umlenkscheiben aus B140 haben mit 46899 bzw. 48905 Biegewechsel eine um ca. 25 % geringere Seillebensdauer als PA6-Umlenkscheiben erreicht. Hingegen erreichten die WVC-Umlenkscheiben im Vergleich zu Stahlumlenkscheiben mit 17804 bzw. 21815 Biegewechsel eine um ca. 55 % höhere Seillebensdauer. Nach ca. 50000 Lastwechseln stellte sich jedoch ein Versagen der WVC-Umlenkscheiben durch Delamination ein. Grund dafür ist die Querzugbeanspruchung, die von dem Seil auf die stützende Rundrille erzeugt wird und eine Spaltwirkung auf das Funktionsmuster hat (vgl. Abbildung 6). Die PA6- und Stahlumlenkscheiben zeigten keine Versagensmechanismen.

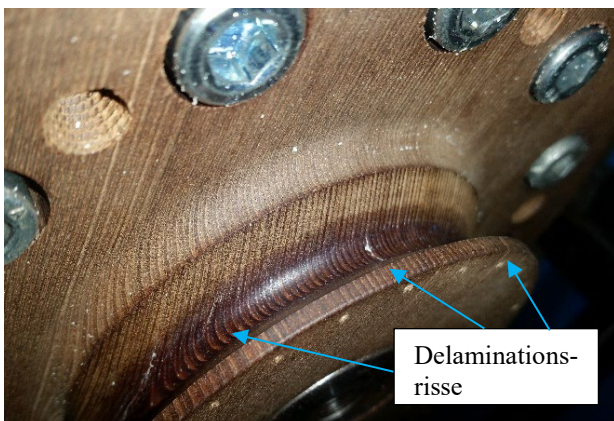


Abbildung 6. Funktionsmuster aus B140 ($KHP \approx 1,4 \text{ g/cm}^3$) mit Delaminationsrissen nach ca. 50000 Biegewechseln

2.3 FERTIGUNGSKONZEPT

Die in Kapitel 2.2 getesteten WVC-Funktionsmuster wurden aus Plattenmaterial hergestellt und versagten nach ca. 50000 Biegewechseln infolge von Delaminationsrissen. Um die Rissbildung zu verhindern, wurde ein Fertigungskonzept entwickelt, mit dem Scheibenhalfzeuge mit speziell angepasstem Lagenaufbau insitu während des Pressvorgangs von Kunstharzpressholz erzeugt werden können. Dabei werden einzelne im Laserstrahlschneidverfahren hergestellte, mit Harz vorimprägnierte Furnierscheiben und Kreissegmente entsprechend Abbildung 7 (links) in einer Sortiervorrichtung gestapelt. Mittig des Furnierpakets befinden sich Furnierscheiben mit größer werdenden Aus-

schnitten. Bei Übereinanderlegen entsteht eine arenaförmige Anordnung, durch die infolge des Pressvorgangs eine lokal veränderte Faserausrichtung (Schrägstellung) der oberen Furniere im Bereich der Rundrille generiert werden soll. Das soll eine höhere Festigkeit gegen Delamination bewirken. Die Kreissegmente werden umlaufend angeordnet, wobei die nachfolgenden Lagen um 45° versetzt sind. Dieser Aufbau wurde konzipiert, um die Holzfasern im Bereich der Rundrille umlaufend in Radialrichtung anzuordnen. Da die Seilkraft ebenfalls in Radialrichtung der Umlenkscheibe eingeleitet wird, soll dadurch eine direkte Krafteinleitung in die Holzfasern gewährleistet werden. Das fertig gestapelte Furnierpaket wird fixiert und in einer Pressvorrichtung unter Temperatureinwirkung verdichtet.

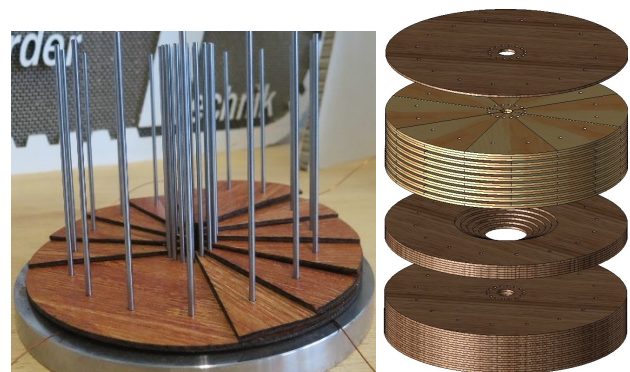


Abbildung 7. Sortiervorrichtung mit eingelegten Furnierscheiben und Kreissegmenten (links) und Lagenaufbau (rechts)

In einem ersten Versuch wurde ein solches Funktionsmuster gepresst, zu einer Umlenkscheibe bearbeitet und im Biegewechselprüfstand getestet. Es versagte bei einer Biegewechselzahl < 50000 . Grund dafür war die im ersten Pressversuch erreichte geringe Verdichtungsstufe aufgrund noch unbekannter Herstellungsparameter. Durch die Verdichtung in einer Pressvorrichtung muss der Pressvorgang verlängert werden, damit Temperatur und Druck vollständig in das Halbzeug wandern können. Hier sind weitere Pressversuche zur Ermittlung der Herstellungsparameter notwendig. Dennoch konnte das erste Funktionsmuster den angestrebten modifizierten Lagenaufbau zeigen, wie Abbildung 8 zeigt.

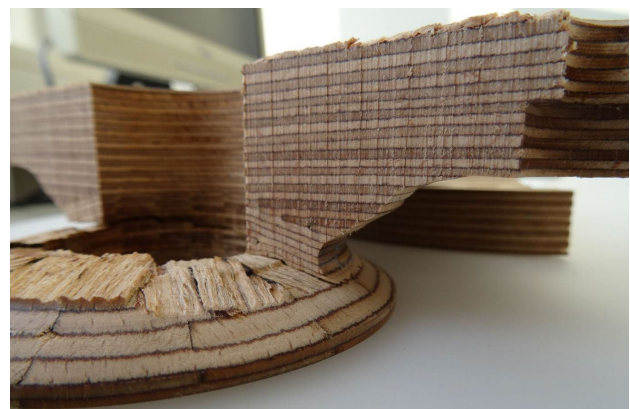


Abbildung 8. WVC-Umlenkscheibe mit modifiziertem Lageraufbau

3 TREIBSCHEIBEN IN HOLZBAUWEISE

3.1 MATERIAL UND METHODEN

Die Untersuchung der Treibfähigkeit erfolgte an einem an der TU Chemnitz entwickelten Versuchsstand (vgl. Abbildung 9), der die zwei Untersuchungsszenarien treibendes Seil und treibende Scheibe abbilden kann. Für die Untersuchungen im vorliegenden Projekt wurde die Funktion treibende Scheibe genutzt. Diese spiegelt den häufigen Fall, z. B. des Treibscheibenaufzugs, wider, bei dem die treibende Seilscheibe die Fahrt des Aufzugs initiiert. Der Prüfstand arbeitet mittels der Differenzkraftmessung, die aus der Umschlingungsreibung resultiert. Dazu sind auf beiden Seiten der Treibscheibe Kraftmessdosen im direkten Kraftverlauf angeordnet. Mittels variablen Massestücken und der Hubspindel wird eine Vorspannung des Seils durch Ausheben der Massestücke realisiert. Für den in der Projektbearbeitung gewählten Versuchsmodus werden die Massestücke durch die Hubspindel ausgehoben. Beide Kraftmessdosen weisen in diesem Zustand gleiche Zugkräfte aus. Das gespannte Seil wird im weiteren Versuchsablauf durch die Treibscheibe „gezogen“, woraus eine Kraftdifferenz zwischen den beiden Kraftmessdosen resultiert. Die Treibscheibe wird solange bewegt, bis es zu einem Losbrechen des Seils, sprich den Übergang von Haft- zu Gleitreibung, kommt. Während der Bewegung kommt es zu einer Steigerung der Seilspannung auf der Seite der Kraftmessdose 2. Die an Kraftmessdose 2 ermittelte Kraft F_2 wird im weiteren Verlauf als Treibkraft bezeichnet. Mittels Umstellung der Euler-Eytelwein-Formel entsprechend Formel (1) und (2) kann der Reibwert μ der zu testenden Seilscheibe bestimmt werden. Für F_2 wird dabei die maximal gemessene Kraft bei der Reibwertermittlung zugrunde gelegt.

$$F_1 = F_2 * e^{\mu * \alpha} \quad (1)$$

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{F_1}{F_2}\right)}{\alpha} \quad (2)$$

F_1 – Vorspannkraft α – Umschlingungswinkel
 F_2 – Treibkraft μ – Reibwert

Getestet wurden Treibscheiben aus B140 (WVC) sowie aus Stahl und PA6 als Referenz. Mit diesen Treibscheiben wurden geflochtene Seile aus den Fasertypen Technora®T221 [FiL19], Dyneema®SK75 [Dyn19] und Vectran®T97 [Kur19] getestet.

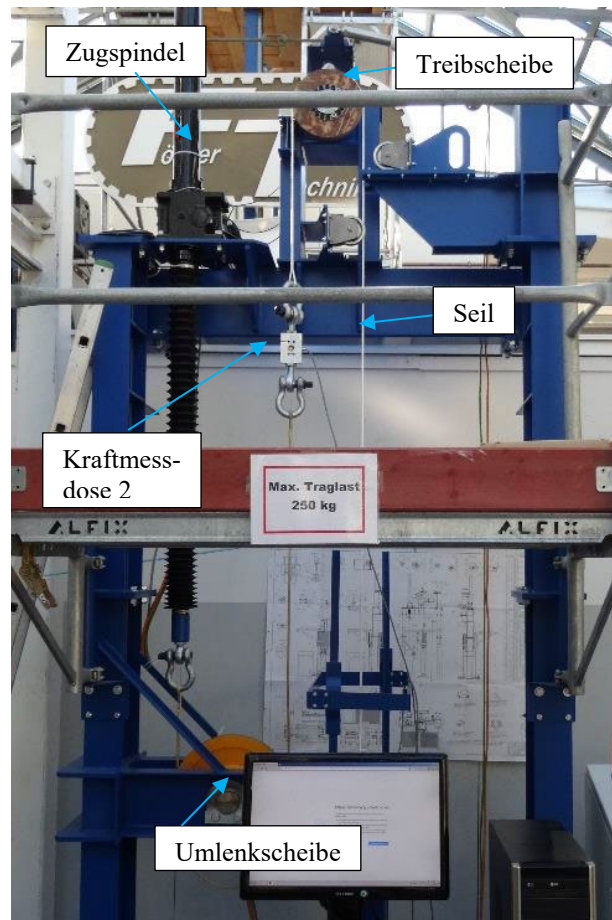


Abbildung 9. Prüfstand zur Ermittlung der Treibfähigkeit von Seilen und/oder Treibscheiben

3.2 PRÜFERGEBNISSE

Abbildung 10 zeigt den exemplarischen Verlauf der Treibkraft über die Versuchsdauer am Beispiel der Kombination Treibscheibe aus B140 und geflochtenes Seil aus dem Fasertyp Technora®T221. Bei den Versuchen wird die Treibscheibe mittels des Elektrozyinders bewegt und die Kraftmessdose 2 mit einer höheren Kraft beaufschlagt. Dies erfolgt solange, bis ein Übergang von Haft- in Gleitreibung (Losbrechen des Seils) erfolgt. Dabei kommt es zum Durchrutschen des Seils auf der Seilscheibe. Um zu gewährleisten, dass bei einem Versuch mit mehreren Prüfzyklen das Seil wieder an der gleichen Stelle der Seilscheibe aufliegt, wird die Seilscheibe mittels des Zylinders wieder zurückgestellt. Dabei sinkt die Kraft in Kraftmessdose 2 stark ab, das Seil wird auf dieser Seite entlastet, bis erneut ein Übergang von Haft- in Gleitreibung erfolgt.

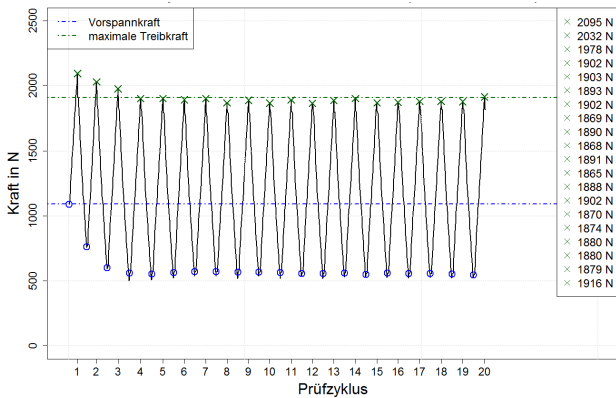


Abbildung 10. Exemplarischer Verlauf der Treibkraft während der Prüfung am Beispiel der Kombination Treibscheibe aus B140 und Seil Technora®T221

Jede Kombination von Treibscheibe (B140, Stahl, PA6) und Seil (geflochten aus Technora®T221, Vectran®T97, Dyneema®SK75) wurde in 3 Chargen mit den Vorspannkraften 1100 N, 2100 N und 3100 N mit jeweils 15 Prüfzyklen getestet. Bei der Betrachtung der verschiedenen Kurvenverläufe fällt auf, dass die erzielbaren Reibwerte teilweise abhängig von der vorhandenen Vorspannung des Seils sind. Dies zieht sich durch alle Versu-

che und Materialkombinationen. Grund dafür ist die lastabhängige Oberflächenstruktur des Seils. Je höher die Vorspannung des Seils, desto geschlossener und glatter wird die Oberfläche, was die erzielbaren Reibwerte reduziert.

Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen zwischen Dyneema®SK75 und den verschiedenen Treibscheiben. Bei Analyse der Reibwerte fällt auf, dass die Kombination zwischen B140 und Dyneema®SK75 für alle Vorspannkraftstufen die höchsten Reibwerte erzielt. Dadurch ist potentiell eine bessere Ankopplung an weitere Maschinenbauelemente, z. B. durch eine materialschonende Umschlingung oder eine Klemmverbindung, möglich. Für eine Standardumschlingungsbefestigung mit kombinierter Klemmkraft ist für einen sicheren Halt bei moderater Klemmkraft, welche eine Schädigung der Fasern verhindern soll, bis zu neun Umschlingungen bei stahlscheiben nötig. Mit Nutzung einer Kunstharzpressholzscheibe bzw. einem Beschlag der Umschlingungstrommel mit Kunstharzpressholz liese sich die Anzahl an Umschlingungen auf ca. sechs reduzieren. Die Treibfähigkeiten von Stahl- und Polyamidtreibscheiben liegen für Vorspannkraftstufen von 1100 N und 3100 N auf einem ähnlichen Niveau. Für die Vorspannkraft von 2100 N besitzt die Stahlscheibe einen um ca. 20 % höheren Reibwert.

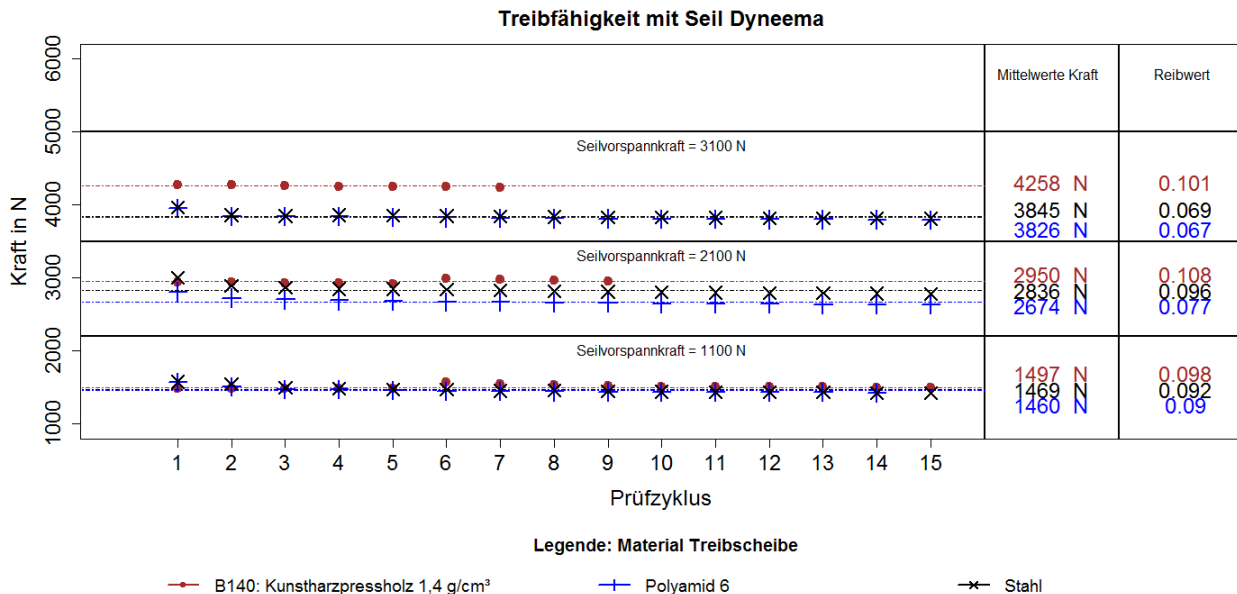


Abbildung 11. Vergleich der Treibfähigkeitsuntersuchungen von Treibscheiben aus B140, Stahl, PA6 und dem Seil geflochten aus dem Fasertyp Dyneema®SK75

Abbildung 12 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen zwischen Technora®T221 und den verschiedenen Treibscheiben. Bei der Kombination Stahlscheibe und Technora®T221 hat sich bei den Vorspannkraftstufen 2100 N und 3100 N ein abweichender Kraftverlauf ergeben. Im Gegensatz zu dem Kraftverlauf in Abbildung 10 mit wechselnden Kraftanstiegs- und Kraftabfallphasen strebte die Treibkraft nach einem anfänglichen linearen

Anstieg asymptotisch gegen eine Grenze. Dabei ist kein direktes Losbrechen des Seils auf der Scheibe im Kraftverlauf erkennbar gewesen. Im Versuch war dabei erkennbar, dass es zu einem Stick-Slip-Effekt kam, der die Probe auf der Scheibe durchrutschen lies, ohne dass dabei ein signifikanter Kraftabfall auftrat. Aus diesem Grund sind in Abbildung 12 bei den Vorspannkraftstufen 2100 N und 3100 N jeweils nur ein Punkt für die Stahlscheiben zu sehen. Grundsätzlich zeigten die Untersuchungen, dass bei

den Vorspannkraftstufen 1100 N und 2100 N die Kombination PA6 und Technora®T221 die höchsten Reibwerte besitzt. Für die Vorspannkraftstufe 3100 N besaßen alle Treibscheiben einen ähnlichen Reibwert, sodass bzgl. der

Treibfähigkeit keine eindeutige Auswahl einer vorteilhaften Treibscheibe für das Seil Technora®T221 getroffen werden kann.

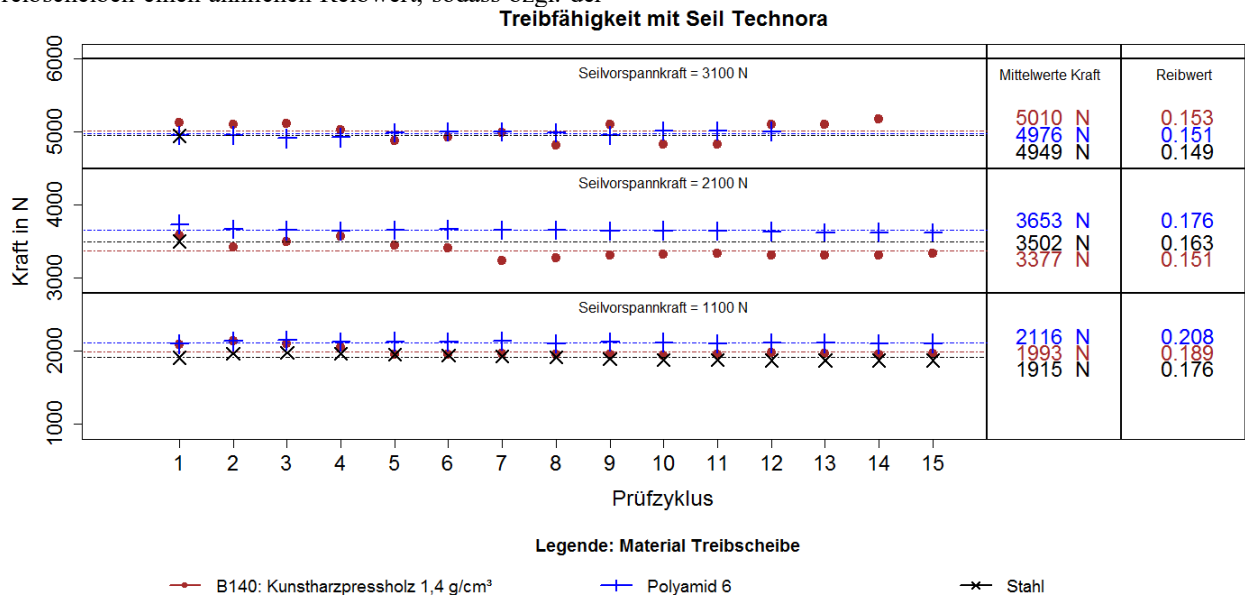


Abbildung 12. Vergleich der Treibfähigkeitsuntersuchungen von Treibscheiben aus B140, Stahl, PA6 und dem Seil geflochten aus dem Fasertyp Technora

Abbildung 13 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen zwischen Vectran®T97 und den verschiedenen Treibscheiben. Diese ergaben, dass Treibscheiben aus Kunstharzpressholz bei allen Vorspannkraftstufen die geringsten Reibwerte besitzen. Die Stahlscheiben besitzen für die

Vorspannkraftstufen 1100 N und 2100 N die höchsten Reibwerte, während bei einer Seilvorspannung von 3100 N die Reibwerte von Stahl und PA6 annähernd auf gleichem Niveau liegen.

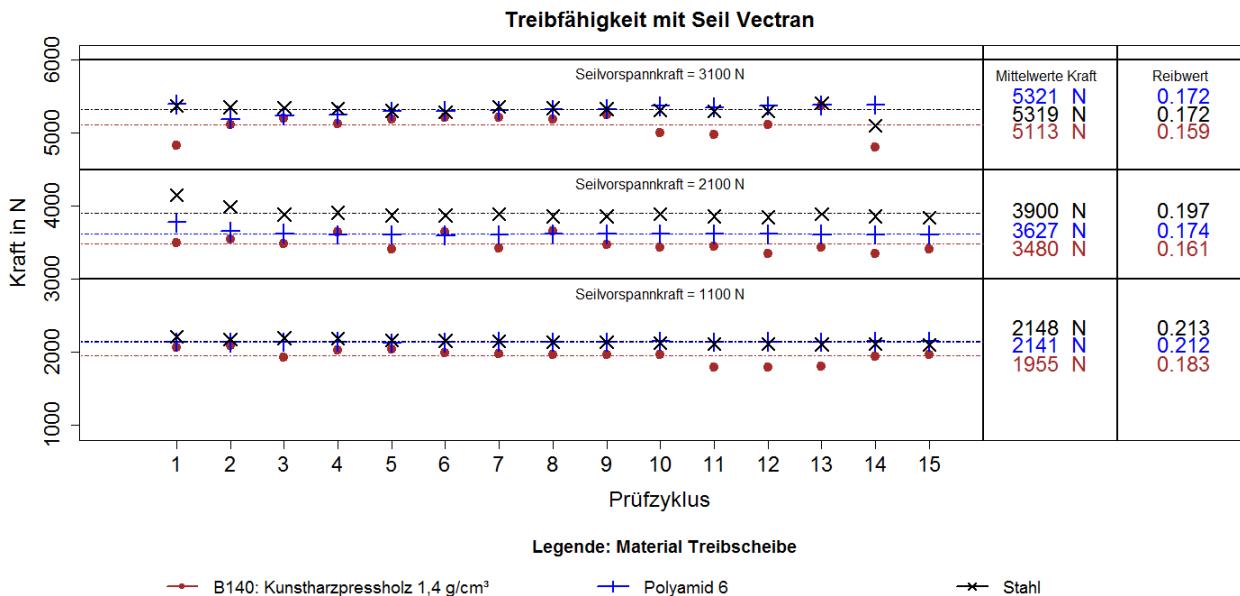


Abbildung 13. Vergleich der Treibfähigkeitsuntersuchungen von Treibscheiben aus B140, Stahl, PA6 und dem Seil geflochten aus dem Fasertyp Vectran®T97

4 ZUSAMMENFASSUNG

Die im Rahmen der Untersuchungen erzielten Ergebnisse zeigen auf, dass sich Seilscheiben aus Kunstharzpressholz (B140) positiv auf die Lebensdauer von Seilen auswirken. Die durchgeführten Biegewechselversuche zeigten, dass die Haltbarkeit der Seilscheiben im Vergleich zu ebenfalls getesteten Stahl- und Kunststoffseilscheiben (PA6) geringer ist. Das Seil übt eine Spaltwirkung auf den Holzwerkstoff aus, der zur Zerstörung der Seilscheibe führt. Bei dem kleinsten getesteten Durchmesser Verhältnis Seilscheibe / Seil, $D:d=12,5$, konnten mit einer Seilscheibe lediglich drei Seilproben (ca. 50000 Lastwechsel) getestet werden. Für größere $D:d$ -Verhältnisse steigt die Lebensdauer der Seilscheibe. Ein vielversprechendes Fertigungskonzept für Seilscheiben mit gesteigerter Lebensdauer aus Kunstharzpressholz wurde entwickelt, muss aber in zukünftiger Arbeit bzgl. Herstellungs- und Bearbeitungsparameter optimiert werden.

Bei abschließender Betrachtung aller ermittelten Reibwerte wird deutlich, dass für die verschiedenen Seilwerkstoffe immer eine bestimmte Materialkombination mit der Treibscheibe gefunden werden muss, um eine höchstmögliche Treibfähigkeit zu garantieren. Die erzielbare Lebensdauer des Seils hinsichtlich ertragbarer Biegewechsel kann dabei konträr zu den Reibwerten stehen. Somit muss für die endgültige technische Anwendung die Reibpaarung immer gesondert ausgewählt werden, da speziell für Faserseile keine allgemeingültige Lösung zur Verfügung steht.

5 DANKSAGUNG

Die Verfasser bedanken sich beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) und der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) als Projektträger des BMWE für die im Rahmen der ZIM-Kooperation (Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand) bereitgestellten Fördermittel. Weiterer Dank gebührt der Deutschen Holzveredelung Schmeing GmbH für die produktive und intensive Zusammenarbeit.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- [Lie19] Liebherr: *Hochfestes Faserseil für Turmdrehkrane*. <https://www.liebherr.com/de/deu/produkte/hochfestes-faserseil-solite/hochfestes-faserseil-solite.html> Zugriff am 24.10.2019, 11:01 Uhr.
- [Mic10] Michael, Markus: *Beitrag zur Treibfähigkeit von hochfesten Faserseilen*. Dissertation, TU Chemnitz, 2010. S. 55

- [HeT14] Heinze, Thorsten: *Einfluss der Seilparameter auf das mechanische Verhalten*. 1. Mönchengladbacher Flecht-Kolloquium 2014, Hochschule Niederrhein Fachbereich Textil- und Bekleidungstechnik, Mönchengladbach, 07.11.2014. - TexMind Verlag, Mönchengladbach, Herausgeber: Yordan Kyosev. ISBN 978-3-944435-05-3, F. 4
- [KrA17] Kretschmer, Andreas: *Seitenabhängiges Biegeverhalten geflochtener Faserseile auf Seilscheiben*. Logistic Journal, Vol. 2017, Iss. 10. ISSN 2192-9084
- [MüC12] Müller, Christoph; et. al.: *Holzwerkstoffe in technischen Anwendungen – Anforderungen aus Sicht des Maschinenbaus*. Tagungsband, narotech 2012, 9. Internationales Symposium „Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen“, 2012. S. 4-5
- [PrB04] Pro Bergbau: *Vier Förderseile auf der Treibscheibe*. <http://www.pro-bergbau.de/bilder/erntedanklerche/erntedanklerche1.html>, Bild 23
- [FiL19] Fiber-Line: *Technora®: High Strength & Excellent Abrasion Resistance*. <https://www.fiber-line.com/en/fibers/technora/> Zugriff am 17.10.2019, 16:56 Uhr
- [Dyn19] Dyneema®: *Dyneema® – With you when it matters*. https://www.dsm.com/products/dyneema/en_US/home.html Zugriff am 18.10.2019, 09:06 Uhr
- [Kur19] kuraray: *Vectran*. <https://www.vectran-fiber.com/> Zugriff am 18.10.2019, 09:12 Uhr
- [KrA16] Kretschmer, Andreas: *Einflussfaktoren auf die Lebensdauer laufender Faserseile*. Dissertation, TU Chemnitz, 2016