

Die „umstülpbare Seilwinde“ – kompakte Durchlaufwinde für Stahlseile mit hoher Treibfähigkeit und gleichzeitiger Seilschonung

Knobloch, Christian

Professur für Forsttechnik, Institut für Forstnutzung und Forsttechnik, Fakultät Umweltwissenschaften,
Technische Universität Dresden, Tharandt, Deutschland

Im Gegensatz zu einem Stahlseil zeigt eine übliche Rollen­kette bei vergleichbarer Bruchkraft ein etwa 8-mal höheres längenspezifisches Eigengewicht. Jedoch ist das Aufbringen einer Längskraft auf die Rollen­kette bzw. das Abgreifen eines Drehmomentes von dieser mit einem Kettenrad denkbar trivial und erfolgt mit hohem Wirkungsgrad. Diverse Seilwindenbauformen ermöglichen es, ein Stahlseil in kräftige Bewegung zu setzen, jedoch sind diese entweder in der Treibfähigkeit oder in der Seilschonung begrenzt. Zudem weisen die Winden ein hohes treibfähigkeits­spezifisches Eigengewicht auf und können nur kaum zur passiven Wirkungsweise verwendet werden, wenn die Bewegung eines Stahlseiles zurück in ein Drehmoment gewandelt werden soll. Die hier vorgestellte Winde kann kompakt und mit relativ geringem Eigengewicht konstruiert werden, sie weist eine hohe Treibfähigkeit bei sehr hoher Seilschonung vor. Sie wirkt selbsttätig, leise, zuverlässig und kann treiben oder betrieben werden.

[umstülpbare Seilwinde, Seilschonung, hohe Treibfähigkeit, Kompaktheit, Seilkrane]

In contrast to a steel cable, a conventional roller chain has a length-specific dead weight that is about 8 times higher for a comparable breaking force. However, the application of a longitudinal force to the roller chain or the tapping of a torque from it with a sprocket is extremely trivial and highly efficient. Various rope winch designs make it possible to set a steel rope in powerful motion, but these are limited either in their propulsive capacity or in the rope shearing. In addition, the winches have a high drivability-specific dead weight and can hardly be used for passive operation when the movement of a steel rope is to be converted back into a torque. The winch presented here can be designed compactly and with a low drivability-specific dead weight, it has a high drivability with very high rope protection. It is self-acting, quiet, reliable and can be driven or operated.

[evverting cable winch, increasing steel cable lifetime, high traction winch, compactness, cable crane]

1 STAND DER TECHNIK

Stahlseile haben eine sehr hohe gewichtsspezifische Leistungsdichte und vermögen mechanische Energie über weite Distanzen und über mehrdimensionale Umlenkungen hinweg zu übertragen. Jedoch mangelt es dem Stahlseil an einem kompakten, treibfähigen und seilschonenden Maschinenelement, mit dem, analog zum Kettenrad bei der Rollen­kette, aktiv treibende Drehmomente auf das Stahlseil übertragen werden können bzw. mit dem ein Stahlseil ein Drehmoment erzeugen vermag.

1.1 WINDEN MIT EINER UNVOLLSTÄNDIGEN UMSCHLINGUNG

Die einfache Seilrolle hat den Nachteil, dass der Reibschluss gering bzw. der maximale Umschlingungswinkel begrenzt ist, da das ablaufende Seil mit dem einlaufendem kollidieren würde und Methoden des Ausweichens auch den Forderungen nach Einhalten des Mindestbiegeradius des Seiles unterliegen. Zwar gibt es hier Methoden die Treibfähigkeit durch bestimmte Rillenformen (Keilrille) oder durch Hinzufügen von kleinradialen Andruckrollen [HOC06] zu erhöhen, diese vermindern jedoch die Seilschonung und führen zu Seil­deformation bzw. Seilbruch. Hauptsächlich bewirkt hier der geringe Umschlingungswinkel eine begrenzte Treibfähigkeit.

Ähnlich funktionieren Durchlaufwinden [STR15], Klemmwinden [SCH16], Magnetwinden [HER10], bei der das Seil während des auf meist 270° Umschlingungswinkel begrenzten Umlaufweges auf der Seilscheibe durch einzelne Klemmbacken, Andruckrollen oder magnetische Seilscheibenhälften in seiner Treibfähigkeit erhöht wird (siehe Abb. 1, links). Gerade Klemm- und Umlaufwinden weisen aufgrund der Komplexität der Winden, Umlenk- und Einlaufachsen ein hohes Eigengewicht auf und bedürfen teilweise sogar einer zusätzlichen Energieversorgung bzw. wirken nicht selbsttätig.

1.2 WINDEN MIT MEHREREN UNVOLLSTÄNDIGEN UMSCHLINGUNGEN

Durch Reihung von halbseitigen Umschlingungen, wie sie zum Beispiel bei einer Kabelziehwinde (Doppelspillwinde) üblich sind, kann eine stückweise Mehrfachumschlingung erreicht werden, jedoch bewirkt die Anordnung der (beiden) Achsen mit den einzelnen auf ihnen fixierten Umlenkrollen sehr hohe Rahmenkräfte und damit ein hohes Eigengewicht und auf das Seil eine hohe Anzahl von Biegewechseln, die zu Drahtbrüchen und einer Verdrehung des Seiles führen (siehe Abb. 1, mitte). Zudem sind ausschließlich Anwendungsfälle bekannt, bei der durch motorischen Antrieb der beiden Spillachsen ein Seil getrieben wird (aktiver Betrieb) [URL1]. Ob die Erzeugung eines gleichförmigen Drehmomentes durch ein translatorisch bewegtes Seil (passiver Betrieb) mit dieser Konstellation erfolgen kann, ist fraglich, da das Seil dann primär nur an einer einzelnen Seilrolle zieht und bei Einstellung eines Schlupfes sich die benachbarten Seilwicklungen gegenseitig behindern können, da ja alle beteiligten Seilrollen auf den Umlenkachsen fixiert sind. Bei Laufwagen von Seilkränen ist die Methode der gereihten, halbseitigen Umschlingungen üblich, um mit Hilfe von zusätzlichen Antrieben (Zusatzseil, Hydraulik- oder Elektroenergie aus Speicher, Verbrennungsmotor) die Zwangsausspulgung oder den Hub der Last, aber auch den Vorschub am Tragseil zu realisieren.

1.3 WINDEN MIT MEHREREN VOLLSTÄNDIGEN UMSCHLINGUNGEN (KUNSTSTOFFSEILE)

Möchte man die Wirkung der ausgesprochen effektiven Umschlingungsreibung auf einer einzelnen Achse nutzen, muss man mehrere Umschlingungen nebeneinander auf einer Trommel platzieren. Bei Drehung der Trommel kommt es jedoch zu einem seitlichen Ablaufen des Seiles. Stoßen die Wicklungen auf eine Bordscheibe, beginnen sie sich übereinanderzulegen und zu verknoten. Aus der Anwendung bei frühen Seilgeräten oder auch aus der Segelschiffahrt sind Parabolscheiben (oder Spillscheiben, Spilltrommeln, Winch) bekannt, um die mehrere Wicklungen eines (umlaufenden) Seiles gelegt werden, wobei das seitlich ablaufende Seil einen größeren Umfang der Trommel bewältigen muss und nach Überwindung der Haftreibung auf der Trommel zurück in die Ausgangslage rutscht. Eine Alternative ist das Hinzufügen eines Abweisers, der das Seil auf eine benachbarte Lage zwingt und so Platz für das einlaufende Seil schafft [URL2] (siehe Abb. 1, rechts). Bei Kunststoff- und Naturfaserseilen mit glatter Seiloberfläche funktioniert dies, bei Stahlseilen kommt es statt zum Rutschen in Querrichtung zum Rollen und damit zu einer permanenten Verdrehung des Seiles, da das Seil auf der Unterlage eher rollt als rutscht; oder es bewirkt einen hohen Seilverschleiß durch Abrieb an Seil oder Trommel. Problematisch bei den Spillwinden in Verbindung von Kunststoffseilen ist die Tatsache, dass diese in Längsrichtung nicht auf der Trommel rutschen sollen, aber zum Beispiel

mit Hilfe der in Abb. 1, rechts dargestellten Ausführung in Querrichtung zum Rutschen gezwungen werden.

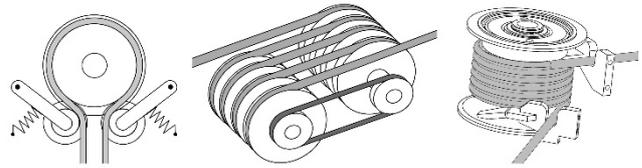


Abbildung 1. Darstellung der Windenprinzipien der im „Stand der Technik“ beschriebenen Wirkprinzipien: Winden mit einer unvollständigen Umschlingung (links), Winden mit mehreren unvollständigen Umschlingungen (mitte) sowie Winden mit mehreren vollständigen Umschlingungen (rechts)

2. RANDBEDINGUNGEN DES EINSATZSZENARIOS

Die hier vorgestellte Winde wurde für den Anwendungsfall eines Seilkranaufwagens für den Holztransport in unbefahrtem Gelände entwickelt. Dieser Laufwagen ist mittels Laufrollen an einem ruhenden, vorgespannten, üblicherweise von 200 m bis zu 2.000 m langen und mittels Überfahrstätteln an Zwischenstützen über mehrere Spannfelder verteilten Tragseil beweglich und wird von einem Seilgerät (Fahrzeugaufbau mit diversen Winden, Bremsen und künstlichem Mast) aus mit Hilfe von mehreren Stahlseilen gesteuert. Diese Funktionseile bewirken in Kombination mit über Funk gesteuerten Seilklemmen die Funktionalitäten „Verfahren des Laufwagens am Tragseil“, das „Senken und Heben der an Hubseilen befestigten Lasthaken“, dabei auch das „Verfahren des Laufwagens unter schwebender Last zur Vermeidung von Bestandesschäden beim Zuzug der Holzstämme“.

Das Spektrum der Traglasten beträgt 1 bis 4 Tonnen, der übliche Standard sind 3 Tonnen. Dabei wiegen die marktüblichen Laufwagen 600 bis 1000 kg; Eigenmasse, die bei jeder Lastfahrt an Holz NICHT mitgenommen werden kann, da die ertragbare Seilspannung im Tragseil zwischen Montagespannung und der maximal erlaubten Seilspannung enge Grenzen gesetzt sind. Zur Erhöhung der Produktivität ist es daher erstrebenswert einen möglichst leichten Laufwagen zu verwenden und vor allem beim Zuzug und Anheben der Last den passiven Betrieb - nicht durch Antriebe im Laufwagen selbst, sondern per Seilzug durch das entfernt stehende Seilgerät - zu bevorzugen. Dabei ist naheliegend und marktüblich, dass eine direkte Verbindung zwischen Lasthaken und Seilgerät über eine Umlenkrolle im Laufwagen vorliegt, jedoch zu dem zunächst trivial anmutenden Problem führt, dass der unbelastete, relativ leichte Lasthaken entgegen dem über weite Distanz zwischen Laufwagen und Seilgerät durchhängenden Funktionsseil durch eine zusätzliche im Laufwagen verbaute Zwangsausspulgung herabgetrieben werden muss. Diese mechanischen, elektrischen oder hydraulischen Vorrichtungen bieten eine bedeutende ergonomische Entlastung des Waldarbeiters, welcher mit dem Lasthaken entfernt liegende Bäume anzuschlagen hat, rufen jedoch ein

Zusatzgewicht des Laufwagens von etwa 300 kg hervor. Laufwagen mit aktiv wirkenden, motorischen Ausspul- und Hubtrieben bringen ein Mehrgewicht von etwa 500 kg hervor, so dass die Gesamteigenmasse bei über einer Tonne liegt.

Laufwagen, die nicht nur die Holzbringung mit einem Zugseil bergauf realisieren, sondern auch bergab oder in der Ebene arbeiten können, benötigen ein zweites Funktionsseil, welches als Rückholseil dient und mit dem Zugseil ein Seilkreislauf bildet. Bei dieser Konstellation stellt sich, ähnlich des Problems der Zwangsausspulung, die Aufgabe eine Winde zu verwenden, die die translatorische Seilbewegung in eine kräftige Rotationsbewegung zum Beispiel dem Antrieb einer Hubseiltrommel umwandeln kann, wobei die Winde sowohl treiben (aktiver Betrieb) und betreiben (passiver Betrieb) werden können soll. Die Winde sollte von geringer Eigenmasse sein, eine hohe Treibfähigkeit, aber auch eine maximale Seilschonung aufweisen.

3. FUNKTIONSPRINZIP

Das durch die TU Dresden patentierte Funktionsprinzip (11 2014 003 094.5) beruht auf der kombinierten Wirkung aller drei Arten der Fortbewegung: der Translation, der Rotation sowie der Umstülpung.

Es bedient sich zunächst der hohen Wirksamkeit der Umschlingungsreibung, die ohne geometrische Besonderheit der Auflage, ohne Zutat einer mechanischen Andrückkraft von außen und im besten Falle auf einer einzelnen Achse wirksam wird, dabei unabhängig vom Durchmesser des kreisrunden Körpers ist (solange Mindestbiegeradien eingehalten werden und damit der Durchmesser des „biegeweichen Zugmittels“ zwangsweise wesentlich kleiner als der Windendurchmesser bleibt). Bei der Umschlingungsreibung steigt das Verhältnis aus Zug- und Haltekraft mit der Potenz des Produktes aus Umschlingungswinkel und Reibwert der Materialpaarung. Da der Reibwert zwischen Stahlseil und Metalltrommel keinen großen Spielraum zulässt (Stahl-Stahl: $\mu=0,10 \dots 0,12$; Stahl-Stahlseil oder auch Stahl-Grauguß: $\mu=0,18$), ist der Umschlingungswinkel die wesentliche Stellgröße der Umschlingungsreibung. Im konkreten Beispiel wurden hier zwei volle Umschlingungen gewählt, es kann aber auch ein größerer Umschlingungswinkel als 720° realisiert werden. Auf einer starren Trommelunterlage würden die Seilumschlingungen wie bereits erwähnt bei Drehung der Trommel seitlich ablaufen (je Umdrehung eine Seildurchmesserbreite), daher ist die Unterlage seitlich nachgiebig, verschiebbar.

3.1 UMSTÜLPBARE SEILTROMMEL

Die Unterlage, die eigentliche Trommel, besteht dabei aus möglichst großen, drehbaren und kugeligen Rollen, die als Rollenring an sich umstülpbar sind, daher eine unendliche, richtungsunabhängige seitliche Verschiebbarkeit der

Wicklungsunterlage zulassen. Die Rollen der umstülpbaren Seiltrommel sind so ineinander geschachtelt, dass keine Biegewechsel stattfinden und die Abweichung („Seiltanz“) von einer idealen Trommel mit 360 mm Durchmesser nur etwa 1 mm beträgt (siehe Abb. 2).

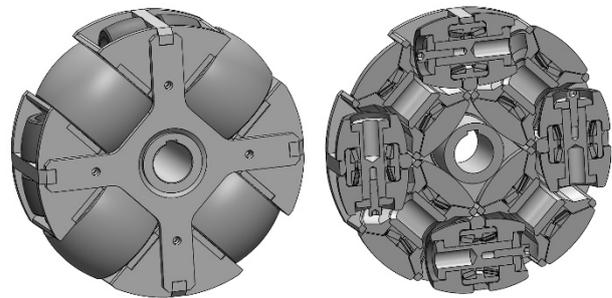


Abbildung 2. Darstellung der konstruktiven Gestaltung der umstülpbaren Seiltrommel: Gesamtansicht der allein durch 4 Schrauben fixierten Funktionsbaugruppen (links) sowie Schnitt durch die Mittenebene zeigt die hohe Packungsdichte der geschichteten Profilrollenkörper (rechts).

3.2. FÜHRUNGSTUNNEL

Die Wicklungen liegen auf dem drehbaren Rollenring in der labilen Lage, müssen daher durch einen Führungstunnel in ihrer Position gehalten werden. Dieser Führungstunnel ist so ausgeführt, dass die Wicklungen im Umlauf um einen Seildurchmesser zwangsweise abgelenkt werden, damit zuverlässig Platz für das einlaufende Seil gemacht wird. Da der Großteil der „Würgekräft“ in der Drehachse der Trommel zentriert wird und die Seile in der labilen Lage nur eine marginale Seitenkraftwirkung entfalten, genügt eine geringe Dimensionierung des Führungstunnels. Dieser Führungstunnel wurde zunächst als Rollentunnel ausgeführt, Dauerversuche haben aber gezeigt, dass diese schwellenden Punktlasten Ursache für Drahtbrüche in der Seilflanke waren. Obwohl das Vermeiden von Relativbewegungen günstig war, wurde auf die Rollen verzichtet und der Führungstunnel als beidseitige Bänderole aus mit Hochleistungskunststoffen besetzten Blechringen gestaltet, was letztendlich zu einer 6-fach erhöhten Lebensdauer der Seile geführt hat. Darüber hinaus wurden statt dem Seil die Führungsbacken zum Verschleißteil, die eindeutig einfacher austauschbar sind als zum Beispiel 6 m fortwährend belastete Seilstrecke inmitten eines mehrere km langen Umlaufseiles. Dabei betragen die Kosten der Gleitbacken etwa $1/20$ bis $1/50$ der Kosten eines Ersatzseiles (PA12G = 150 EUR vs. 900 m verdichtetes Kreuzschlagseil 3.500 bis 8.000 EUR). Der Führungstunnel ist als geschlossene Schweißkonstruktion ausgeführt, das Einlegen der Seilschlaufen erfolgt durch abnehmbare Seilführungsrollen auf der Oberseite des Führungstunnels. Die Rollen bewirken das gezielte Ein- und Ausführen des Seiles, wobei das Seil hier nicht geknickt wird und im Grunde auch keine Flankenkräfte wirken (siehe Abb. 3).

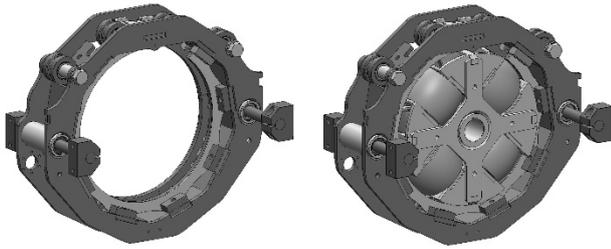


Abbildung 3. Darstellung der konstruktiven Gestaltung des Führungstunnels (links) sowie Darstellung der gesamten Windebaugruppe (rechts).

3.3. EIGENSCHAFTEN DER WINDE

Die Winde weist dabei zahlreiche Vorteile auf: sie arbeitet ebenso selbsttätig, richtungs- und geschwindigkeitsunabhängig wie leise und geschwindigkeitsvariabel. Sie zeichnet sich durch ein geringes spezifisches Eigengewicht, hohe Treibfähigkeit und lange Lebensdauer von Seil und Winde aus. Dabei wird lediglich eine zentrale Achse angetrieben oder kann zum Antrieb verwendet werden (aktiver oder passiver Betrieb möglich). Jedoch ist die Treibfähigkeit von der Grundspannung der Seilwicklung abhängig. Im Anwendungsfall sorgt das Eigengewicht des horizontal gespannten Umlaufseiles für die nötige Treibfähigkeit.

4. KONKRETER KONSTRUKTIVER AUFBAU

Die Winde besteht aus zwei Baugruppen: der umstülpbaren Seiltrommel sowie dem Führungstunnel. Die Winde wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes für den Einsatz mit einem verdichteten, 9 mm starken Kreuzschlagseil entwickelt.

4.1. UMSTÜLPBARE SEILTROMMEL

Die Seiltrommel wird aus acht geschachtelten Rollen gebildet, 4 großen Hohlrollen sowie 4 geteilten kleineren Vollrollen. Ihre Anordnung und ihr Profilverlauf wurde so geometrisch optimiert, dass eine möglichst große Packungsdichte sowie eine möglichst geringe Abweichung von der idealen Kreisbahn erreicht wird. Dabei sind die Rollen mit Rollenlagern gelagert und um eine zentrale Hohlwelle angeordnet, mit der das Antrieb- bzw. Abtriebsdrehmoment aufgebracht werden kann. Dabei wird der Durchmesser der umstülpbaren Seiltrommel so gewählt, dass er dem 40-fachen des Seildurchmessers (20-facher Biegeradius) entspricht. Die Trommel besteht aus wenigen Bauteilen und wird beidseitig mit je 4 Schrauben montiert, dabei definieren zwei beidseitig angeordnete, sternförmige Laserbauteile den Sitz der Rollenbaugruppen. Dabei hat die Seiltrommel einen Durchmesser von 360 mm.

4.2. FÜHRUNGSTUNNEL

Der Führungstunnel wird als Schweißkonstruktion ausgeführt, wobei zwischen zwei beidseitig angeordnete Laserbleche Laserblechsegmente eingesteckt werden, die den definierten Sitz des Führungstunnels vorgeben und dafür sorgen, dass das Einlaufende Seil nach einer Umdrehung um exakt eine Seildurchmesserbreite versetzt wird. Dabei erfahren die Seilwicklungen untereinander und relativ zur Seiltrommel keine Relativbewegung. In jedes Führungstunnelsegmentblech wird je ein Montagebolzen montiert, an dem je ein Blechring befestigt wird, der an der Kontaktzone zur Seilwicklung mit mehreren austauschbaren Einlegern aus Hochleistungskunststoff (PEEK oder PA12G) bestückt ist. Zum Einlegen eines Seiles in die Seilwinde kann der Führungstunnelrahmen per Trapezgewindespindel seitlich verschoben werden und fährt nach dem Einlegen an einen definierten Anschlag, der vorgibt, dass die Seilwicklung auf der Kuppe der umstülpbaren Seiltrommel zu liegen kommt und die Seitenkräfte auf den Führungstunnel beidseitig gleich groß sind.

5. VERSUCHE UND ERGEBNISSE

Die Winde wurde in drei Prototypen entwickelt und ausgiebig getestet. Die jüngste Ausformung entstand im Rahmen des ZIM-Förderprojektes „Forst-Tec - Moor-Seilkran“ mit dem Förderkennzeichen F-009209-522-000, bei der ein Seilkranlaufwagen mit zwei Hubseilen entwickelt wurde, der mit Hilfe von nur einem Seilkreislauf die Funktionen „am Seil verfahren“, „Heben/Senken beider Hubseile“ sowie „einseitiges Heben/Container ausschütten“ realisieren kann und als Antrieb die umstülpbare Seiltrommel besitzt. Mit freundlicher Unterstützung der Prof. für Technische Logistik der TU Dresden konnte in deren Versuchshallen an einem existierenden Versuchsstand Dauerversuche durchgeführt werden (siehe Abb. 4). Dabei wurden verschiedene im Forst übliche, verdichtete Kreuzschlagseile verschiedener Hersteller bis zur Ablegereife getestet, sowie verschiedene Reibbeläge und Detaillösungen erprobt. Dabei wurde ein Versuchsstand verwendet, bei dem zwei Förderkörbe mit Stahlblechgewichten von einer motorisch betriebenen Antriebsscheibe wechselseitig emporgezogen wurden und die umstülpbare Seilwinde in einem der beiden hängenden Seilen passiv mitlief. Jeder Hub bewirkte drei voll Umdrehungen der Winde. Bei jeder Umdrehung „wandern“ die Rollen der umstülpbaren Seiltrommel um einen Seildurchmesser. Auf die Rollen applizierte Sichtmarken zeigten, dass sich alle Rollen gleichmäßig und stetig drehten, das Seil daher nicht auf der Unterlage rollte, sondern diese seitlich verschob. Da der Versuchsstand rund um die Uhr lief, konnten täglich etwa 26.000 Umdrehungen simuliert werden, monatlich entspricht dies annähernd 800.000 Umdrehungen.

Die Förderkörbe wurden mit je 250 kg Gewicht befüllt, die Spannkraft an den Hubseilen betrug somit annähernd 2,5 kN (die Treibscheibe des Antriebsmotors ließ

keinen Ausgleich (Schlupf) der Förderkörbe zu, daher wurde nur eine Seite bei der Berechnung betrachtet. Geht man von einem Reibbeiwert von Stahlseil zu Trommel von 0,18 aus, können mit Hilfe der Winde rechnerisch Momente bis zu 4,3 kNm übertragen werden [nach SCH94]. Das Hinzufügen einer weiteren Umwicklung würde diesen Wert etwa verdreifachen (13,4 kNm). Ein Durchrutschen konnte im Laufe der Versuche nicht beobachtet werden.

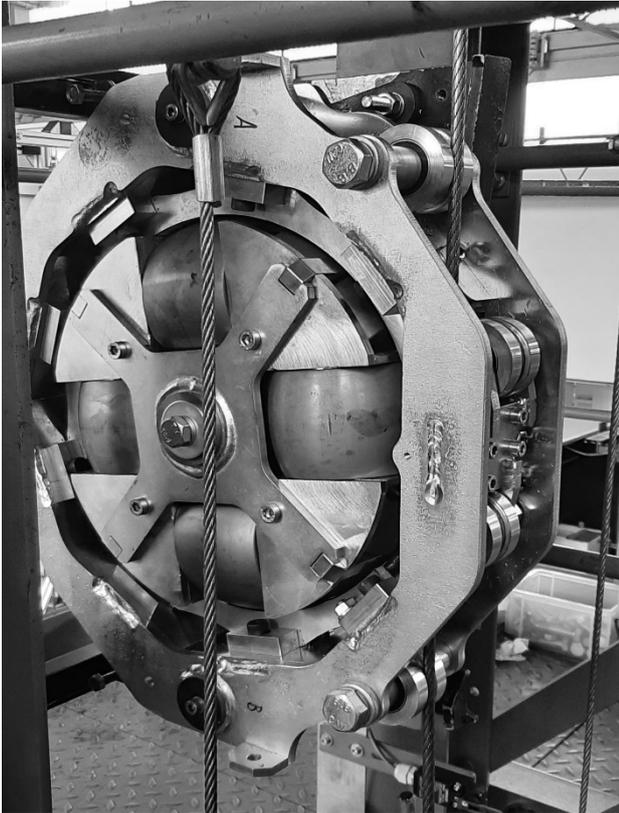


Abbildung 4. Darstellung der letzten Prototypenversion im Versuchsstand der Prof. für Technische Logistik der TU Dresden. Nicht dargestellt sind die Förderkörbe mit den Lastgewichten auf der Unterseite sowie die motorisch betriebene Antriebs-scheibe (Magnetwinde) am Seilumlauf.

Dabei hat sich herausgestellt, dass das Forstseil „F10“ der Fa. „Teufelberger“ die beste Haltbarkeit aufwies, während andere Seile des gleichen oder anderer Hersteller lediglich eine grob verminderte Lebensdauer bis zur Ablegereife (nach Anzahl der Drahtbrüche nach DIN ISO 4309:2013-06) von einem Drittel bis zu einem Fünftel aufwiesen. Die Drahtbrüche traten im Versuchsstadium mit Rollenkäfig an den Seilflanken auf. Dabei konnten mit dem Seil „F10“ allein 120.000 Umdrehungen erreicht werden, wobei zu beachten ist, dass die Drahtbrüche an der Stelle im Seil auftraten, die stets und ausschließlich im Eingriff der schwelenden Punktbelastung durch den Rollenkontakt standen. Aber mehr noch, es konnte auch ein Einfluss der antreibenden Magnetseilscheibe beobachtet werden, die sich direkt oberhalb der Winde befand, da aufgrund des zusätzlichen Biegewechsels oberhalb der Winde mehr Draht-

brüche auftraten, als unterhalb. Das Seil musste bei Erreichen der zulässigen Drahtbrüche abgelegt werden, es bleibt aber möglich, dass nicht alle Drahtbrüche durch den Durchlauf durch die Winde verursacht wurden, sondern die antreibende Magnetscheibe einen Nebeneinfluss besaß. Gestützt wird dies durch die Beobachtung, dass die ersten Drahtbrüche allein in den Bereichen auftraten, die auch die Magnetscheibe durchliefen, während die Bereiche des Seiles, die ausschließlich die Winde durchliefen erst im weit späteren Verlauf Drahtbrüche, zudem in geringerer Anzahl, aufwiesen. Die Drahtbrüche allein durch die Winde traten erst ab 85 % der Gesamtlebensdauer auf und nahmen dann rasch zu. In der forstlichen Anwendung käme es nicht zu einer derartigen Häufung an einer Stelle des Seiles. Jedoch zeigte sich, dass es ungünstig war, das Seil als Verschleißteil zu nutzen, während die verwendeten leicht balligen Stützrollen der Fa. FAG keinerlei ersichtliche Abnutzungserscheinungen erfuhren.

Daher wurde ein Führungstunnel aus Gleitmaterialien vorgesehen. Dazu wurde ein gesonderter Versuch gefahren, bei dem vier denkbare technische, hochabbrasive Kunststoffe auf deren Abriebsfestigkeit gegenüber dem laufenden Stahlseilen getestet wurden: POM, PA12G, PEEK sowie PTFE mit eingelagerter Bronze (siehe Abb. 5). Aufgrund der Werkstoffkosten sowie der spezifischen Abnutzung konnte ein Kosten-Verschleiß-Koeffizient abgeleitet werden, mit dem sich der wirtschaftlich am besten einsetzbare Werkstoff ermitteln ließ, die detaillierten Versuchsergebnisse lassen sich in Tabelle 1 nachvollziehen. Mögliche Kunststoffe waren hier Murytal-C (POM), Murdopol (PA12G) sowie Murpec Natur (PEEK) der Fa. Murtfeldt [URL3]. Das Material „PTFE mit eingelagerter Bronze“ hatte sich nicht bewährt.

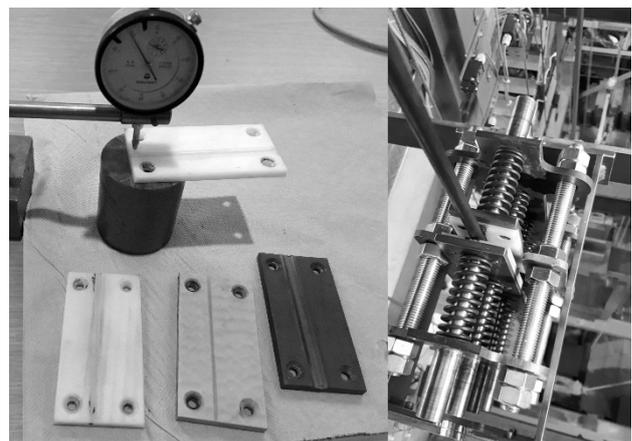


Abbildung 5. Darstellung der Versuchskörper sowie des Versuchsstandes zur Verifizierung des Abriebs von federbelasteten Kunststoffelementen auf laufende Stahlseile.

Für die einfache Anwendung wird demnach PA12G, für Anwendungen mit hoher Standzeit wird PEEK empfohlen. Die Lebensdauer der Kunststoffelemente kann verdoppelt werden, da beide Seiten der Elemente verwendet werden können.

Die anschließenden Tests mit dem finalen Prototyp ergaben eine Haltbarkeit bis zur Ablegereife von 750.000 Umdrehungen, damit konnte eine über sechs Mal so große Seilschonung erreicht werden. Die Dauerversuche wurden mehrmals wiederholt und die Ergebnisse gemittelt, aber aufgrund des enormen Zeitaufwandes für die Dauerversuche konnten keine Tests unter differenzierten Eingangsgrößen erfolgen, vielmehr galt es die Wirkung der technischen Modifikationen zu verifizieren als die gesamten Parameter und Skalierbarkeit der Winde zu erforschen.

Das Eigengewicht der Winde beträgt in den Abmessungen 500 x 500 x 130 mm zusammen mit Trommel und Führungstunnel etwa 100 kg.

	POM	PTFE+Bronze	PA12G	PEEK
1	14,25	23,95	17,10	23,10
2	1,00	1,68	1,20	1,62
3	0,065	0,883	0,100	0,048
4	0,200	1,305	0,150	0,143
5	0,20	2,19	0,18	0,23

Tabelle 1: Tabellarischer Darstellung der Ergebnisse der Materialeignungsversuche:

- 1.) Kosten in EUR für Testzuschnitt
- 2.) relative Kosten bezogen auf den preiswertesten Werkstoff
- 3.) gemittelte Eintiefung in mm bei 200 N Federkraft und 340 km Seillaufänge
- 4.) gemittelte Eintiefung in mm bei 1000 N Federkraft und 320 km Seillaufänge
- 5.) Kosten-Verschleiß-Koeffizient (je höher, umso mehr Verschleiß und höhere Kosten liegen vor)

Eine Wirkung von gespleisten Umlaufseilen mit der Winde wurde bislang nicht auf die erreichbare Lebensdauer getestet.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Winde ist in einer Vielzahl von Anwendungsfällen einsetzbar, bei der ein Drehmoment mittels Stahlseilkreislauf an einen entfernt gelegenen Ort übertragen werden soll. Sie könnte helfen Wind- oder Wasserkraftanlagen leichter und günstiger zu gestalten, wenn es gelingt das Drehmoment zu einem am Boden/am Ufer stationiertem Stromgenerator zu übertragen. Oder es wäre möglich das Heben von Lasten an gewichtskritischen Hubvorrichtungen wie Seilkränen oder Ballons vom Boden aus mit Hilfe eines Seilkreislaufes einzurichten, wobei die hier vorgestellte Winde an den benötigten Seildurchmesser skaliert werden, die angetriebene und antreibende Rolle übernehmen sowie auch in Verbindung mit Kunststoffseilen wesentlich leichter ausgeführt werden kann.

LITERATUR

- [HER10] Herhold R, Schmidt T (2010). Entwicklung eines neuartigen Magnetseilwindensystems - MAGWIN. Logistics Journal: Proceedings, Vol. 06.
- [HOC06] Hochleitner, F. (2006): Multifunktionaler Laufwagen, insbesondere für den Transport von schweren Lasten. (DE10229554B4) DPMA.
- [SCH16] Schumann P, Schmidt T, Leonhardt T (2016). Hochleistungsklemmwinden – Lösung des Zielkonflikts „Treibfähigkeit und Seilschonung“. Logistics Journal : Proceedings, Vol. 2016; DOI: 0.2195/lj_Proc_schumann_de_201610_01
- [SCH94] Scheffler, Martin: *Grundlagen der Fördertechnik - Elemente und Triebwerke*. Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, 1994.
- [STR15] Struck, D. (2015). *Durchlaufwinde* (DE102012100099B4). DPMA. <https://patentimages.storage.googleapis.com/a9/52/68/33595afef7b544/DE102012100099B4.pdf>
- [URL1] <https://www.tibram-gruppe.ch/de/Jost-AG-Kabelverlegetechnik/Produkte/Kabelzugmaschinen.13.html>; online eingesehen am 14.11.2022
- [URL2] <https://www.berger-motorgeraete.de/produkte-eder.htm>; online eingesehen am 14.11.2022
- [URL3] <https://www.murfeldt.de/produkte/kunststoffe/>; online eingesehen am 14.11.2022

Dr.-Ing. Christian Knobloch ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Forsttechnik der TU Dresden und arbeitet seit 2009 in diversen Forschungsprojekten, bei denen funktionsfähige Prototypen entwickelt und erprobt werden. Der Forschungsschwerpunkt liegt dabei in der Holzernte auf befahrungssensiblen Waldstandorten.

Adresse:
 TU DRESDEN, Prof. f. Forsttechnik
 Dresdner Straße 24
 01737 Tharandt
 Telefon: 0351 463 31330
 Mail: christian.knobloch@tu-dresden.de