

Endverbindungen von kunststoffummantelten Faserseilen

Dr.-Ing. Thorsten Heinze^{1*}, Tobias Halle²

¹ TROWIS GmbH, Annaberger Str. 240, 09125 Chemnitz, Deutschland

² Seilflechter Tauwerk GmbH, Auf dem Anger 7-9, 38110 Braunschweig

* Kontakt: thorsten.heinze@trowis.de, Tel.: +49 371 5347630

Received 30 June 2022; Accepted 30 July 2022; Available online 15 December 2022

© 2022 by T. Heinze and T. Halle. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. The INNOTRAC logo and third-party content are excluded from this.

ABSTRACT Hochleistungsfaserseile sind gegenüber Stahldrahtseilen – bei gleichem Durchmesser – fünf bis sechs Mal leichter und weisen dennoch vergleichbare oder bessere Festigkeits- und Biegeeigenschaften auf. Um die hauchdünnen Fasern vor äußeren Einflüssen wie Oberflächenverschleiß, abrasiven oder fluiden Fremdstoffen und UV-Strahlung zu schützen, können Seile mit einem monolithischen Kunststoffmantel ausgerüstet werden. Durch den Einsatz von besonders verschleißarmen thermoplastischen Polyurethanen, Additiven zur Verhinderung elektrostatischer Aufladungen und UV-Blockern entstehen Hochleistungsfaserseile die völlig neue Gestaltungs- und Einsatzmöglichkeiten eröffnen.

Gleichwohl stellen die Endverbindungen dieser Seile eine besondere Herausforderung dar. Aus diesem Grund haben die Seilflechter Tauwerk GmbH und die TROWIS GmbH gemeinsam Seilendverbindungen getestet und ausgewertet. Die Ergebnisse hinsichtlich Installationsaufwand, Festigkeit und Haltbarkeit sollen in diesem Vortrag vorgestellt und anwendungsspezifische Empfehlungen abgeleitet werden.

KEYWORDS Faserseile, Kunststoffummantelungen, Endverbindungen, Seilklemmen, Spleiße

1. Einleitung

Technische Seile kommen in den unterschiedlichsten Anwendungen u. a. als Abspannseile und laufende Seile zum Einsatz. In Abbildung 1 sind typische Einsatzfelder von Faserseilen dargestellt. Durch das geringe Eigengewicht und die hohen Zugfestigkeiten – die mit Stahlseilen und Stahlketten vergleichbar sind – nimmt die Nachfrage an textilen Seilen stetig zu. Neben Ausführungsarten in Seilwinden (Windenseil), wie z. B. für die Forstwirtschaft, Bühnentechnik, Offroadapplikationen

oder als Starterwinden für Segelflugzeuge werden Faserseile als statische Seile z. B. im Segelsport, als Einzugsseile im Freileitungsbau oder als Abspann- und Führungsseile auf Baustellen eingesetzt.

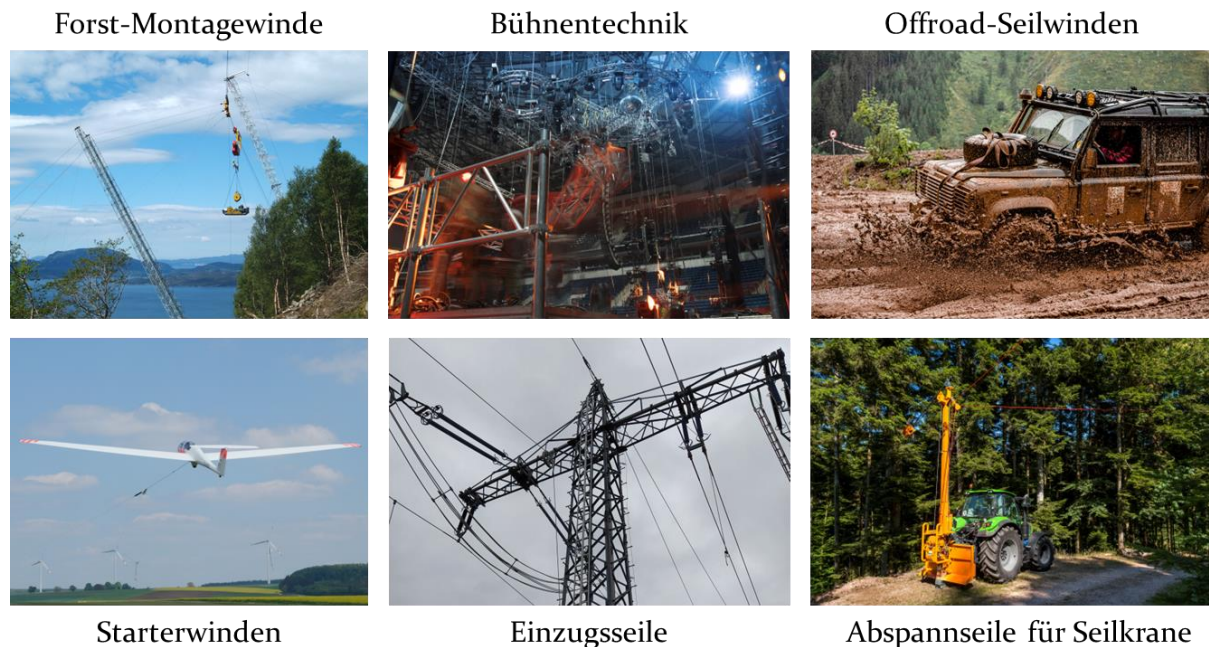


Abbildung 1: Anwendungsbeispiele für technische Faserseile

Gerade in unwägbareren Geländen werden Seile widrigeren Bedingungen ausgesetzt, was nicht selten zu starken Auffaserungen der textilen Seile führt und im Ergebnis die Haltbarkeit und Sicherheit deutlich herabsetzt, vgl. Abbildung 2. Der Schutz des lasttragenden Kernes ist daher in vielen technischen Anwendungen von besonderem Interesse.



Abbildung 2: Auffaserungen an Faserseilen

Die Seilflechter Tauwerk GmbH aus Braunschweig und die TROWIS GmbH aus Chemnitz entwickeln und produzieren gemeinsam kunststoffummantelte Hybridseile für technische Anwendungen. Neben Polyester werden hochfeste Faserstoffe wie Novoleen® (HMPE), Technora® (Para-Aramid) und Vectran® (TLCP) zu Kernseilen verarbeitet und mit einer schützenden Kunststoffummantelung finalisiert, i. d. R. aus TPU, PVC oder Kombinationen mit Textileinlegern. Im Ergebnis entsteht ein optisch ansprechendes und funktionales Schmaltextil, das viele Vorteile gegenüber klassischen Hohlgeflechten und Kern-/Mantelseilen bietet, vgl. Abbildung 3.



Abbildung 3: Beispiele für die Kunststoffummantelung

Eigenschaften der Kunststoffummantelung:

- Optimaler UV-Schutz für das lasttragende Kernseil
- Hohe Abriebbeständigkeit und Robustheit
- Gutes Handling und Griffigkeit
- Geringere Flächenpressungen im Kernseil bei Seilquetschungen
- Pflegeleichte, antibakterielle Oberflächen
- Wirksamer Schutz des Seiles vor Wasser, Chemikalien und Schmutz sowie wirksamer Schutz der Umwelt vor austretenden Schmierstoffen
- Aufgrund der wasserdichten Oberfläche ist das Seil vollständig elektrisch isolierend
- Anwendungsspezifisch konfigurierbare Reibwerte (z. B. hohe Reibwerte für Traktionswinden oder kleine Reibwerte für mehrlagig gewickelte Seile)
- Erhöhung der Quersteifigkeit und des Seil-Füllfaktors gegenüber anderen Seilkonstruktionen
- Erzeugung maßhaltiger und nahezu kreisrunder Seilquerschnitte

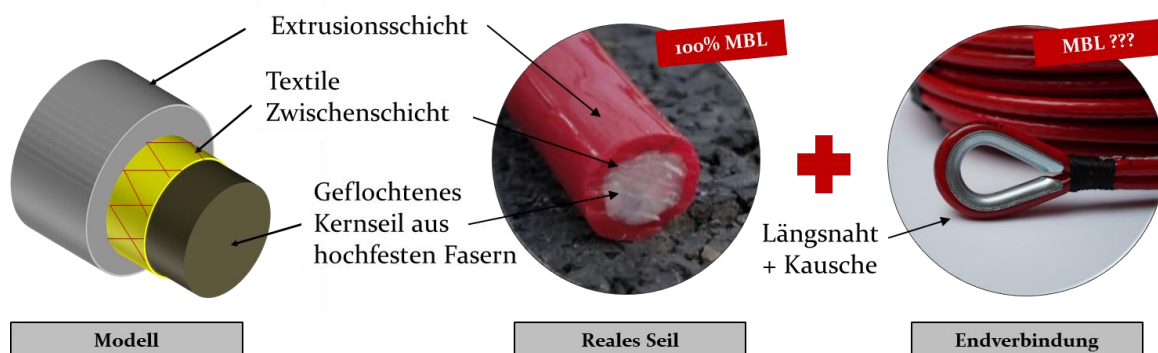


Abbildung 4: Kunststoffummantelte Faserseile

Durch den Einsatz von besonders verschleißarmen thermoplastischen Polyurethanen, Additiven zur Verhinderung elektrostatischer Aufladungen und UV-Blockern entstehen Hochleistungsfaserseile, vgl. Abbildung 4, die völlig neue Gestaltungs- und Einsatzmöglichkeiten eröffnen. Gleichwohl stellen die Endverbindungen dieser Seile eine besondere Herausforderung dar. Welche Unterschiede bestehen hinsichtlich konventioneller Faserseile? Gibt es einen Mehraufwand bei der Seilkonfektionierung? Können vorhandene Lösungen im Bereich der Endverbindungen überhaupt genutzt werden? Um Antworten auf diese und ähnliche Fragen zu geben haben die Seilflechter Tauwerk GmbH und die TROWIS GmbH klassische Seilendverbindungen getestet und ausgewertet.

Im Freileitungsbau werden elektrisch isolierende Faserseile sehr stark nachgefragt. Die elektrische Durchschlagsfestigkeit ist insbesondere dort von zentraler Bedeutung, wo benachbarte Stromleitungen nicht abgeschaltet werden können. Das Hybridseil waterproof® von Seilflechter ist ein kunststoffummanteltes Tragseil, das für die Verwendung mit Rollenleinsystemen für den Kreuzungsschutz im Freileitungsbau entwickelt worden ist. Aufgrund seiner wasser- und schmutzabweisenden Eigenschaften ist es für Einsatzzwecke in der Nähe von spannungsführenden Anlagen geeignet.



Abbildung 5: Kunststoffummantelte Einzugsseile im Freileitungsbau

In Abbildung 5 ist ein Hybridseil im Einsatz zu sehen. In der Regel werden die Seile mit einem glatten Ende und einem Augspleiß am anderen Ende ausgeführt. Beide Endverbindungen müssen – wie das Seil selbst – vollständig vor eindringender Nässe (IP67) geschützt sein. In der Anwendung wird die Seilschleife über einen Lasthaken aufgenommen, das andere Ende wird über eine Kombination aus Kraftabbaurolle und Klemmstück fixiert.

2. Endverbindungen

Unabhängig von der Art der Endverbindung sollte – abhängig von den Erfordernissen der Anwendung – auch das Seilende vor Nässe geschützt sein. Zwar sind Faserstoffe wie Polyethylen unpolar und nehmen daher keine Feuchtigkeit auf, jedoch befördern die dünnen Fasern untereinander den Feuchtetransport durch die Struktur.

Abbildung 6 zeigt einen Handversuch (Wasserbad mit blauer Lebensmittelfarbe) mit einem klassisch geschnittenen Seilende (Cuttermesser) und einem mittels Heißschneider erzeugtem Ende.

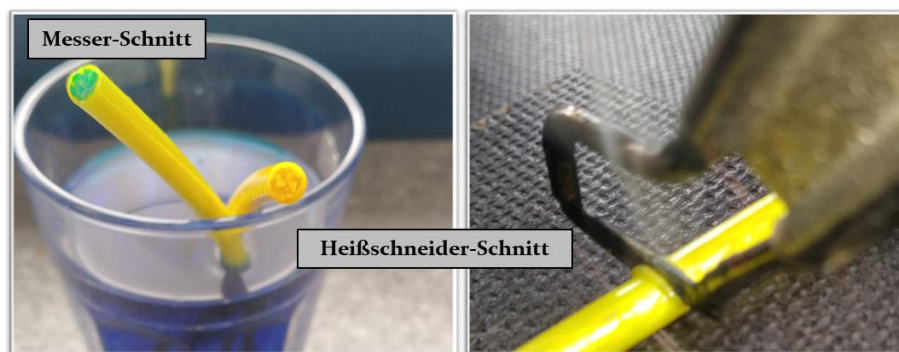


Abbildung 6: Wasserdichtigkeit durch Heißversiegelung

Das verwendete Seil bestand aus einem geflochtenen Polyesterkerne und einem TPU-Mantel. Die oberen (sichtbaren) Seilenden sind klassisch geschnitten, um einen möglichen Feuchttransport bis in die Querschnittsfläche hinein visualisieren zu können. Im Beobachtungszeitraum von einem Monat sah man, dass im klassisch geschnittenen Seil die Testflüssigkeit transportiert wurde, während das heißversiegelte Ende ein Eindringen der Staunässe wirksam verhinderte.

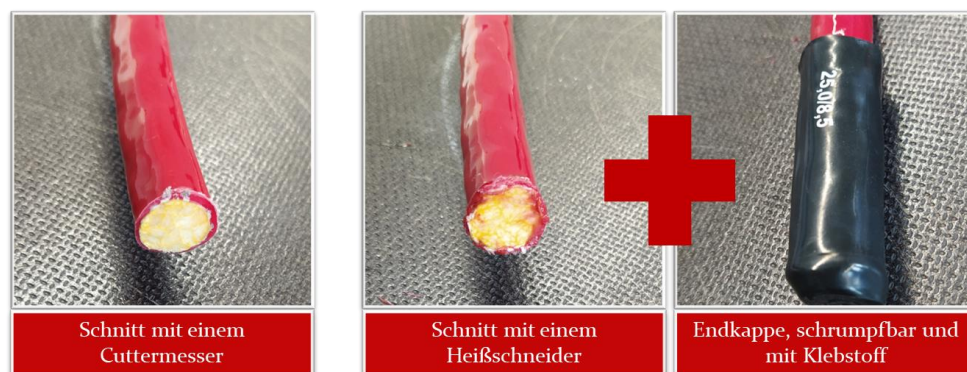


Abbildung 7: Klassische Schnittfläche links und versiegelten Schnittfläche rechts

Abbildung 7 zeigt auf der rechten Seite die Ausführung eines versiegelten Seilendes des Hybridseiles waterproof®. Das Ende wird zunächst mit einem Heißschneider vollständig durchtrennt und anschließend mit einer wärmeschrumpfenden Endkappe aus vernetztem Polyolefin und innenbeschichteten Schmelzkleber finalisiert.

Werden hohe Zugfestigkeiten und Betriebssicherheit gefordert sind gespleißte Endverbindungen das Mittel der Wahl. Diese Endverbindungen werden auch bei kunststoffummantelten Seilen häufig eingesetzt. Die Herstellung der Aug- und Endlosspleiße ist aufwendiger als bei den Hohlgeflechten aber vergleichbar mit den Kern-/Mantelseilen. In der Regel werden hochfeste kunststoffummantelte Seile mit einem textilen Zwischenmantel ausgeführt, der einen kreisrunden Seilquerschnitt vorformt und die Verbindung zwischen Kernseil und Kunststoffmantel optimiert. Entlang dieses Zwischenmantels lässt sich der Kunststoffmantel mit einem Universal-Abmantelungswerkzeug entfernen, ohne dass der lasttragende Kern beschädigt wird, vgl. Abbildung 8.

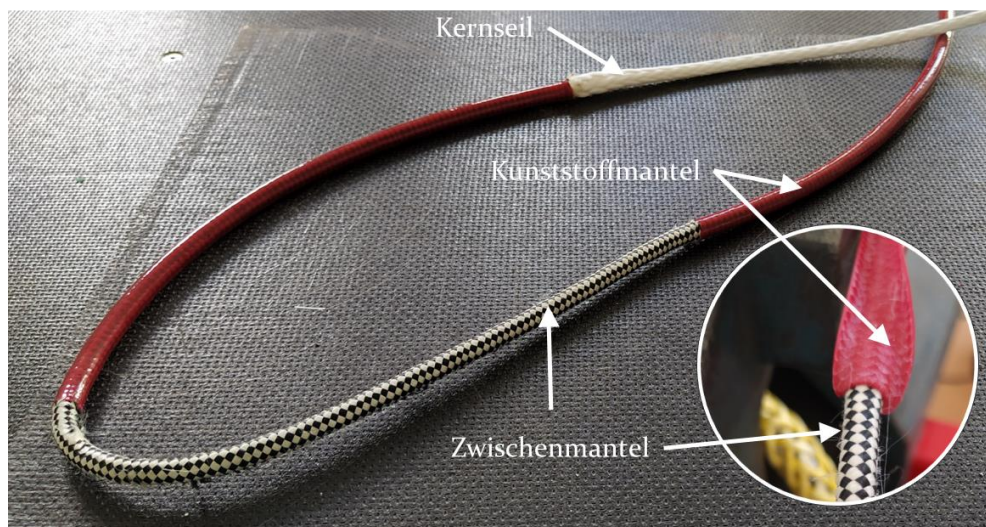


Abbildung 8: Öffnung des Seilmantels für die Spleißherstellung

Ist der Mantel lokal entfernt worden, kann der Augspleiß wie gewohnt ausgefertigt werden. Für die Wiederherstellung des vollständigen Nässeschutzes, im Bereich des Augspleißes, gibt es verschiedene Möglichkeiten. In Abbildung 9 wurde links der Augspleiß mit einem mittelschweren PVC-Flachschlauch umhüllt und die Öffnungen des Schlauches mit 2K-Polyurethan ausgegossen.

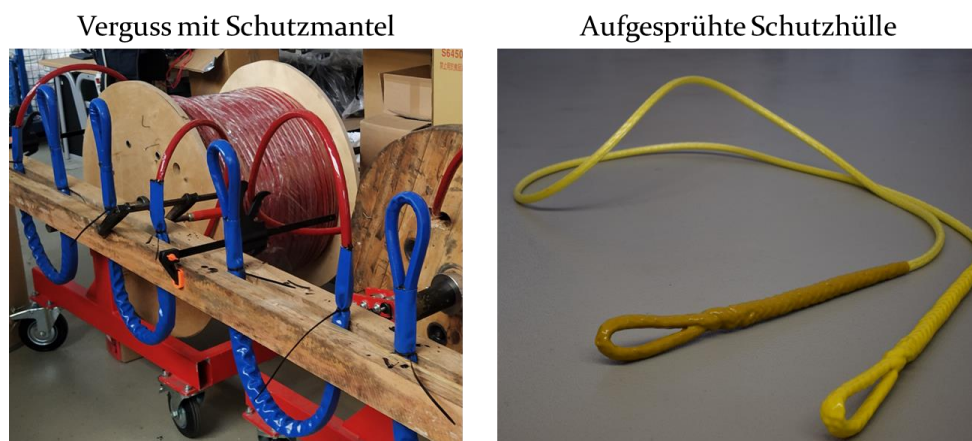


Abbildung 9: Wiederherstellung des Nässeschutzes im Bereich des Augspleißes

Auf dem rechten Bild sind zwei Augspleiße im Sprühverfahren versiegelt worden. Es handelt sich hierbei ebenfalls um ein 2K-Polyurethan, das mit einer Shorehärte von 60A (hellgelb) und einer Shorehärte von 85A (dunkelgelb) eine relativ harte und dennoch hinreichend dehnbare Oberfläche schafft. Der Zeitaufwand beim Sprühen ist gegenüber dem Vergießen deutlich verkürzt, jedoch erfordert das Sprühen Kabinen mit geeigneter Luftfiltertechnik, einen ca. 200% höheren Materialeinsatz und eine wesentlich aufwendigere Qualitätskontrolle durch die Gefahr lokaler Fehlstellen in der Beschichtung.

Für die Zugversuche im Rahmen der Untersuchungen wurden drei verschiedene kunststoffummantelte Seile verwendet. Abbildung 10 gibt eine Übersicht über die Bezeichnungen und Kenndaten dieser Seile. Seil I ist eine Universalleine für allgemeine Anwendungen, z. B. als Schlepp-, Anker- oder Zugleine. Seil II wird ebenfalls als Abspannseil mit erhöhten Festigkeitsanforderungen und Seil III als Windenseil eingesetzt.

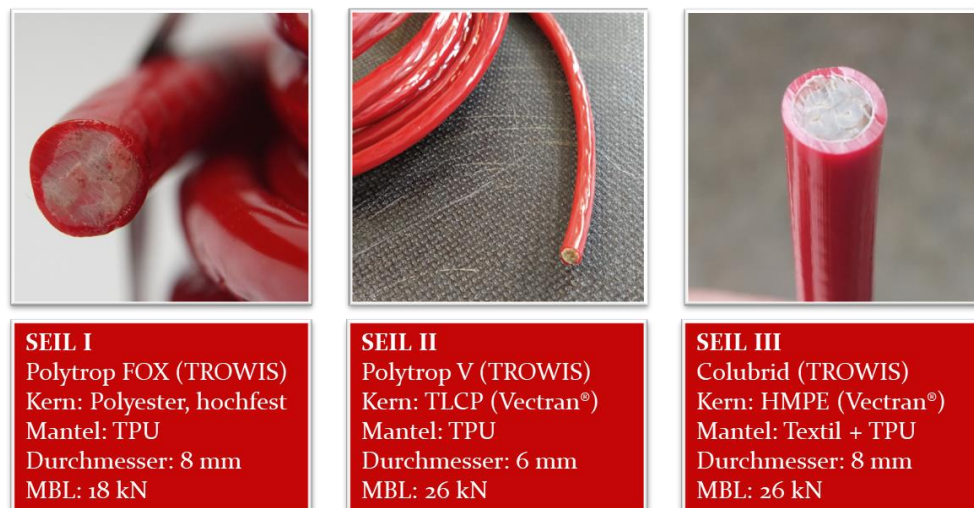


Abbildung 10: Kunststoffummantelte Seile im Test

Seil I ist ein TPU-ummanteltes, konventionelles Polyesterseil, während die anderen beiden Seiltypen moderne Hochleistungsfaserstoffe verwenden. Der Unterschied zwischen Seil II und Seil III besteht neben dem Fasermaterial darin, dass der Kunststoffmantel von Seil II direkt auf das Kernmaterial aufextrudiert wurde, während beim dritten Seil eine wesentlich dickere Mantelverbundkonstruktion zum Einsatz kommt. Bei diesem Seiltyp wird das Kernseil zunächst mit einem Faserblend aus hochfesten und elastischen Garnen überflochten und erst danach mit der äußeren TPU-Schicht überzogen.

Abbildung 11 zeigt die eingesetzten Endverbindungen ohne metallische und Abbildung 12 mit metallischen Komponenten. Alle aufgeführten Verbindungsvarianten sind Stand der Seiltechnik. Ihre Umsetzung an kunststoffummantelten Seilen ist analog den Seilgeflechten und Kern-/Mantelseilen.

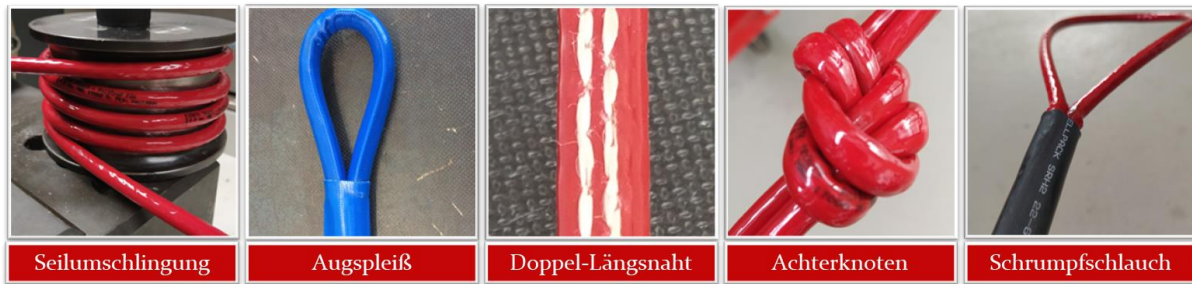


Abbildung II: Endverbindungen ohne metallische Komponenten

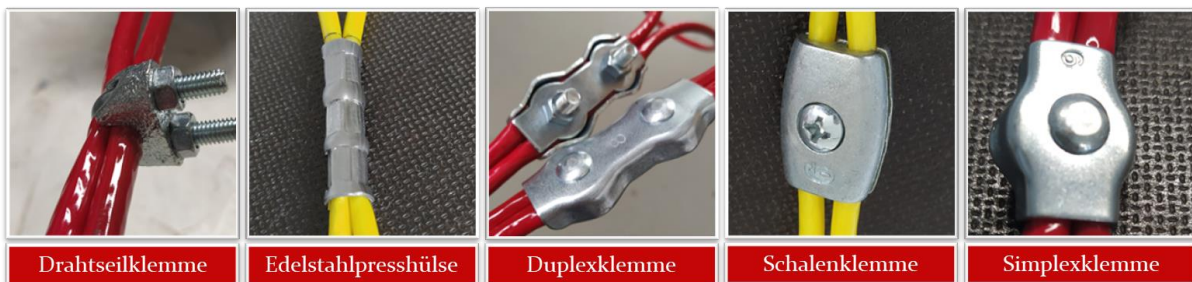


Abbildung 12: Endverbindungen mit metallischen Komponenten

In Tabelle 1 sind die zehn verschiedenen Endverbindungen definiert und ihre Ausführungsmerkmale beschrieben.

Tabelle 1: Untersuchte Endverbindungen

Prüfziffer	Bezeichnung	Hinweis	Fertigungszeit
T1	Seilumschlingung	4 Umschlingungen	0,5 min
T2	Augspieß	Einstecklänge 50xd	10,0 min
T3	Doppel-Längsnaht	Hochfester Zwirn, Stärke 10 (oben) / 15 (unten), Nahtlänge 200 mm	5,0 min
T4	Achterknoten	Seiloberfläche vor dem Zusammenziehen mit Wasser benetzt	1,0 min
T5	Schrumpfschlauch	Mittelwandiger Schrumpfschlauch mit Schmelzkleber	2,0 min
T6	Drahtseilklemme	Jeweils eine Größe niedriger verwendet, Anzahl: 3 Stück, Abstand: 12xd, handfest angezogen	4,0 min
T7	Edelstahlpresshülse	50 mm Breite, 3 Klemmstellen mit Hydraulikpresse und Sechskantmatrix	2,0 min
T8	Duplexklemme	Angegebene Größe verwendet, handfest angezogen	2,5 min
T9	Schalenklemme	Angegebene Größe verwendet, handfest angezogen	0,5 min
T10	Simplexklemme	Angegebene Größe verwendet, handfest angezogen	1,5 min

Neben den allgemeinen Angaben wurden auch die zur Herstellung der Musterseile erforderlichen Fertigungszeiten angeführt. Hierbei ist erwartungsgemäß festzustellen, dass mechanische Klemmverbindungen und Knoten tendenziell geringere

Fertigungszeiten aufweisen als die etablierten Augspleiße. Ebenfalls zeitintensiver sind die verwendeten Doppel-Längsnähte, da diese nicht an Nähautomaten sondern einer Nähmaschine mit manuellem Support hergestellt wurden.

3. Ergebnisse

Es wurden von jeder Endverbindung und Seiltyp jeweils drei Musterseile angefertigt und einer Zugprüfung unterzogen. Aus den drei Zugkraftmessungen wurde jeweils ein Mittelwert gebildet und in Relation zur Seilbruchkraft gesetzt. Abbildung 13 zeigt exemplarisch Schadensbilder von Endverbindungen mit metallischen Komponenten. Diese Art der Verbindung beruht hauptsächlich auf einem Kraftschluss, der sich zwischen Klemmelement, Mantel und lasttragenden Kernseil einstellt. Diese Art der Klemmverbindung sind leicht und zeitsparend zu installieren, jedoch besteht im Falle eines Seilrisses die Gefahr, dass Metallteile der Endverbindung zu einem Geschoss werden.

Alle Klemmverbindungen (T5-T10) führten in den Zugversuchen nicht zu einem Seilbruch, sondern lediglich zu einem aufschieben der Mantellagen. In der Regel erreichen derartige Endverbindungen nicht die Größenordnungen der Seilbruchkräfte, allerdings können sie u. U. eine beginnende Überlastung anzeigen, ohne dass es zum Versagen des Seiles kommt.



Abbildung 13: Zugversuche mit Mantelaufschiebungen, kein Bruch

Abbildung 14 zeigt exemplarisch Schadensbilder einer genähten und einer geknoteten Endverbindung. Die untersuchten Endverbindungen ohne metallische Komponenten (T1-T4, ausgenommen T5) haben zu einem Seilbruch geführt. Die Gründe hierfür sind vielschichtig. Bei Verwendung von Kraftabbaurollen findet, wie bei den metallischen Klemmverbindungen, eine kraftschlüssige Übertragung zum Kernseil statt, jedoch

werden die Zugkräfte gleichmäßig über die Umschlingungen abgebaut, so dass auch die erforderlichen Querkräfte immer kleiner werden. Bei den Spleißen wird die Kraft direkt in das Kernseil eingeleitet und die Nähverbindungen realisieren eine Kombination aus Form- und Kraftschluss, deren Performance von der Festigkeit des Nähfadens limitiert wird.

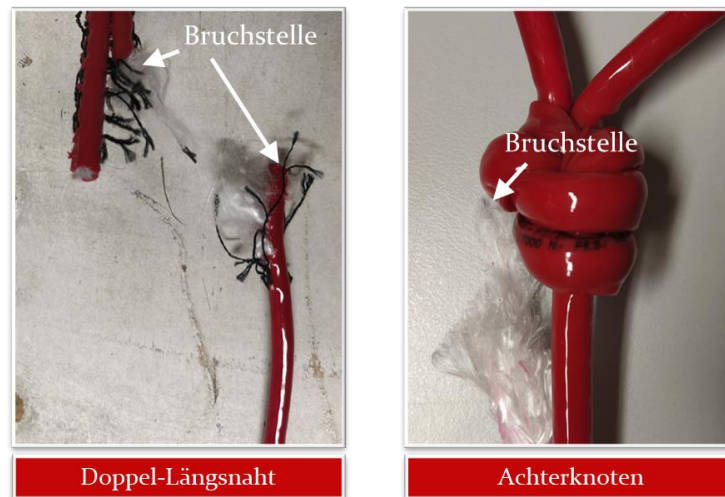


Abbildung 14: Zugversuche mit Seilbruch

In Tabelle 2 sind die relativen Zugkräfte der getesteten Endverbindungen aufgeführt.

Tabelle 2: Relative Zugkraftwerte verschiedener Endverbindungen

Prüfziffer	Bezeichnung	Seil I	Seil II	Seil III
T1	Seilumschlingung	100%	100%	100%
T2	Augspleiß	105%	95%	95%
T3	Doppel-Längsnaht	95%	95%	-
T4	Achterknoten	50%	45%	-
T5	Schrumpfschlauch	45%	-	-
T6	Drahtseilklemme	95%	65%	40%
T7	Edelstahlpresshülse	95%	60%	45%
T8	Duplexklemme	80%	55%	26%
T9	Schalenklemme	55%	-	-
T10	Simplexklemme	35%	-	-

Wie aus den Werten hervorgeht, liefern Umschlingungsklemmen und Augspleiß bei allen drei Seilvarianten sehr hohe Zugfestigkeiten. Daneben sind auch genähte Endverbindungen äußerst leistungsfähig, jedoch limitiert die max. Nadeldicke und der Nadelhub der eingesetzten Nähmaschinen/-automaten den konfektionierbaren Seildurchmesser. Seil III weist ferner eine derart hohe Quersteifigkeit auf, dass ein Vernähen mit der vorhandenen Nähtechnik nicht möglich war. Insbesondere die einfach ummantelten Seile I und II bieten ein hohes Potential für mechanische Endverbindungen, wie Presshülsen, Duplex- und Drahtseilklemmen. Es ist zu vermuten,

dass die gegenüber Seil III deutlich geringeren Quersteifigkeiten topologische Veränderungen an den Klemmstellen begünstigen und einen zusätzlichen Formschluss ermöglichen. Am Ende entscheiden die gestellten Anforderungen, der Preis, die Fertigungszeiten und die Gefährdungsbeurteilung darüber, welche Endverbindung in der jeweiligen Anwendung zum Einsatz kommt.

4. Zusammenfassung

Es wurden zehn verschiedene Endverbindungen an kunststoffummantelten Seilen untersucht. Für die Versuche wurden drei verschiedene Seiltypen mit unterschiedlichen Faserstoffen und Mantelkonstruktionen verwendet. Die Ergebnisse zeigen, dass die bei klassischen Hohlgeflechten und Kern-/Mantelseilen verwendeten Endverbindungen auch bei kunststoffummantelten Seilen realisierbar sind und dass nicht nur Spleißverbindungen sondern auch Nähverbindungen und metallische Klemmelemente großes Potential aufweisen. Müssen die Endverbindungen ebenfalls monolithisch ausgeführt werden, sind insbesondere metallische Klemmverbinder den klassischen Augspleißern deutlich überlegen. Dennoch konnte gezeigt werden, dass auch eine vollständige Oberflächenversiegelung von gespleißten Endverbindungen möglich ist.

References

- [1] Mc Kenna, H. A., Hearle, J. W. S., O'Hear, N.: Handbook of fibre rope technology. Woodhead publishing limited (2004)