

Analyse und Vergleich textilphysikalischer Eigenschaftsprofile von Garnen für Stahlseileinlagen

Josefine Hermine Kautzsch

Professur Förder- und Materialflusstechnik
Fakultät für Maschinenbau
Technische Universität Chemnitz

Stahldrahtseile sind zentrale Bauelemente in der Schachtfördertechnik, deren Leistungsfähigkeit maßgeblich von Konstruktion und Materialauswahl bestimmt wird. Neben den Stahllitzen übernehmen Fasereinlagen zentrale Funktionen wie die Schmierstoffspeicherung und die Abstützung der Litzen. Dennoch fehlen systematische Analysen zum Einsatz von Chemiefasern und zum Einfluss ihrer textilphysikalischen Eigenschaften auf die Funktionalität der Stahldrahtseile. Ziel der Arbeit ist die Untersuchung und vergleichende Bewertung von Natur- und Chemiefasergarnen für den Einsatz in Fasereinlagen. Dazu wurden Anforderungen an Garnmaterialien für Fasereinlagen abgeleitet und geeignete Prüfverfahren definiert. Die Untersuchung umfasste mechanische Werkstoffprüfungen, sowie Versuche zum Wassergehalt, zur Kapillarwirkung und zur spezifischen Garnoberfläche. Die Ergebnisse wurden in einer Bewertungsmatrix zusammengeführt, die den systematischen Vergleich der Garnmaterialien ermöglicht. Die Bewertungsmatrix bietet ein praxisnahes Werkzeug zur strukturierten Materialauswahl und lässt sich flexibel an Anwendungsszenarien anpassen.

[Schlüsselwörter: Drahtseil, Fasereinlage, Schachtfördertechnik, Textilphysikalische Eigenschaften, Garnprüfung]

Steel wire ropes are key components in mine hoisting technology, whose performance is largely determined by their design and the choice of materials. In addition to the steel strands, fibre cores perform key functions such as lubricant storage and strand support. However, there is a lack of systematic analyses on the use of synthetic fibres and the influence of their textile-physical properties on the functionality of steel wire ropes. The aim of this work is to investigate and comparatively evaluate natural and synthetic fibre yarns for use in fibre cores. To this end, requirements for yarn materials for

fibre cores were derived and suitable test methods defined. The investigation included mechanical material tests as well as tests on water content, capillary action and yarn surface area. The results were compiled in an evaluation matrix that enables a systematic comparison of the yarn materials. The evaluation matrix provides a practical tool for structured material selection and can be flexibly adapted to various application scenarios.

[Keywords: Wire rope, Fiber core, mine hoisting technology, textile physical properties, yarn testing]

1 EINLEITUNG

In der Schachtfördertechnik kommen u. a. Stahldrahtseile mit einem auf textilen Faserstoffen basierenden Kern zum Einsatz. Dieser wird als Fasereinlage bezeichnet und trägt neben den Stahllitzen entscheidend zur Leistungsfähigkeit des Stahldrahtseils bei [1]. Fasereinlagen übernehmen wichtige Aufgaben wie das Speichern und die Abgabe von Schmierstoffen, das Abstützen der Litzen und sie erhöhen die Biegsamkeit des Stahldrahtseils [1] [2].

Die Eigenschaften und Leistungsfähigkeit der Fasereinlage hängen direkt von den textilphysikalischen Merkmalen der eingesetzten Faserstoffe und Garne ab. Somit erfordert die Auswahl geeigneter Garnmaterialien eine detaillierte Analyse der textilphysikalischen Eigenschaften, um eine optimale Performance im späteren Einsatz zu gewährleisten. Zu den wichtigen textilphysikalischen Eigenschaften gehören z. B. Feinheit, Festigkeit und Saugfähigkeit des Garnmaterials.

Trotz der zentralen Bedeutung von Fasereinlagen für Stahldrahtseile wurden diese in den vergangenen Jahren kaum wissenschaftlich untersucht. Besonders der Einsatz von Chemiefasern als Alternative zu Naturfasern ist un-

zureichend erforscht. Es fehlt an systematischen Analysen, welche Chemiefasern sich für diesen Einsatzzweck eignen und wie sich ihre textilphysikalischen Eigenschaften auf die Funktionalität der Stahldrahtseile auswirken.

Nach aktuellen Normen werden für Schachtfördererseile langfaserige Hartfasern wie Sisal oder Manila sowie Chemiefasern eingesetzt [3]. Während Sisal und Manila traditionell als Standardmaterialien genutzt wurden, stellt ihre zunehmende Knappheit die Industrie vor Herausforderungen [4]. Die globale Produktionsmenge von Sisal ist in den letzten Jahren stark gesunken – bedingt durch veraltete Verarbeitungstechnologien und Maschinen, den Konkurrenzdruck durch Chemiefaserstoffe, klimatische Einflüsse und einen Mangel an Arbeitskräften in den Hauptanbaugebieten [4, 5]. Dies führt zu steigenden Kosten und einer eingeschränkten Verfügbarkeit, wodurch Alternativen dringend erforderlich sind [5].

Zudem weisen Naturfasern eine hohe Variabilität in ihren textilphysikalischen Eigenschaften auf, was zu Inhomogenitäten in der Seilperformance führen kann [6]. Gleichzeitig sind die Anforderungen an Stahldrahtseile hinsichtlich Lebensdauer und Zuverlässigkeit hoch. Daraus ergebend sich entsprechend hohe Materialanforderungen an Fasereinlagen [3].

In diesem Kontext stellt sich die Frage, ob andere Naturfasern, wie z. B. Hanf, eine Alternative darstellen können oder ob der verstärkte Einsatz von Chemiefasern zielführender ist. Die systematische Untersuchung dieser Optionen ist entscheidend, um fundierte Materialentscheidungen für zukünftige Anwendungen treffen zu können. Ziel der Arbeit ist die vergleichende Untersuchung verschiedener Garnarten hinsichtlich der für Fasereinlagen erforderlichen textilphysikalischen Eigenschaftsprofile und der Frage, inwieweit Natur- oder Chemiefasern diesen Anforderungen entsprechen. Die Betrachtung erfolgt aus werkstofftechnischer Sicht mit Fokus auf die textilphysikalischen Eigenschaften der Garne. Der Aspekt der ökologischen Nachhaltigkeit der Fasermaterialien wird nicht berücksichtigt. Ebenso bleiben weitergehende Untersuchungen zur Verarbeitung der Garne in Seilkonstruktionen außerhalb des Fokus dieser Arbeit. Es werden ausschließlich Fasereinlagen betrachtet. Stahleinlagen und Einlagen aus Massiv-Polymer werden nicht in die Forschung einbezogen. Es erfolgt die Betrachtung von gedrehten bzw. geschlagenen Stahldrahtseilen, geflochtene Stahldrahtseile werden nicht behandelt. Die Arbeit konzentriert sich auf den Anwendungsbereich der Schachtförderertechnik. Die Anwendung für Treibscheibenfördererseile findet dabei besondere Beachtung.

Es ergeben sich die folgenden Forschungsfragen:

1. "Welche textilphysikalischen Eigenschaften müssen Garne für den Einsatz als Fasereinlage in Stahldraht-

seilen erfüllen, und welche Fasermaterialien bieten das optimale Eigenschaftsprofil?" und

2. "Wie unterscheiden sich die Eigenschaftsprofile von Naturfasern im Vergleich zu Chemiefasern für die Verwendung als Fasereinlagen in Stahldrahtseilen?".

Im Folgenden wird der Stand der Technik dargestellt, um die bisherigen Erkenntnisse einzuordnen und die Relevanz der Untersuchungen zu verdeutlichen.

2 STAND DER TECHNIK

2.1 AUFBAU VON STAHLDRADHTSEILEN MIT FASEREINLAGE

Der Aufbau von gedrehten Stahldrahtseilen erfolgt aus drei Komponenten: den Drähten, den Litzen und der Einlage (siehe Abbildung 1). Jede dieser Komponenten übernimmt spezifische Funktionen, die für die mechanischen Eigenschaften und die Langlebigkeit des Seils entscheidend sind [7].

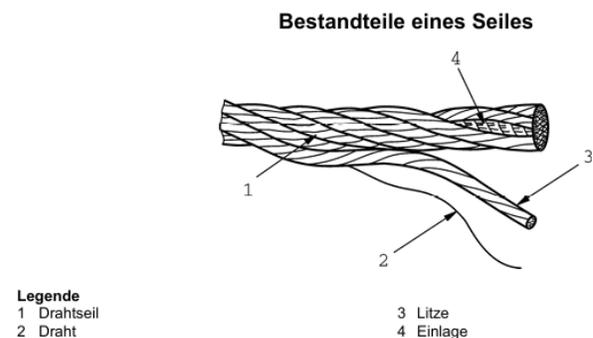


Figure 1: Bestandteile eines gedrehten Stahldrahtseils [7]

Drähte bilden die Grundlage des Stahldrahtseils und sind nach DIN EN 10264 Teil 1-4 genormt. Sie bestehen aus kaltgezogenen Stahldrähten mit einer Zugfestigkeit von $R_m = 1270 \text{ N/mm}^2$ bis $R_m = 2360 \text{ N/mm}^2$ [8]. Je nach Anwendungsbereich können Drähte verzinkt, dick verzinkt oder blank sein. In Sonderfällen kommen legierte Stähle zum Einsatz [9].

Litzen entstehen, wie in DIN EN 12385-2:2008-06 [7] definiert, durch das schraubenförmige Verseilen mehrerer Drähte um einen Kern. Die Drähte werden in gleicher Richtung verseilt. Es kann sich um eine oder mehrere Lagen von Drähten handeln. Litzen bilden die elementaren Stränge eines Stahldrahtseils und werden durch weiteres schraubenförmiges Verseilen um eine Einlage zum fertigen Stahldrahtseil verseilt [7]. Die Konstruktion der Litzen – in Bezug auf Anordnung, Anzahl und Durchmesser

der Drähte, sowie Anzahl der Drahtlagen – beeinflusst die mechanischen Eigenschaften des Stahldrahtseils wie Zugfestigkeit, Biegeeigenschaften und Verschleißverhalten [9]. Typische Litzenarten sind Rundlitzen, Dreikantlitzen, Ovallitzen und Flachlitzen (Siehe Abbildung 2) [7]. Eine weitere Unterscheidung von Rundlitzen ist in z. B. in [7] aufgeführt.

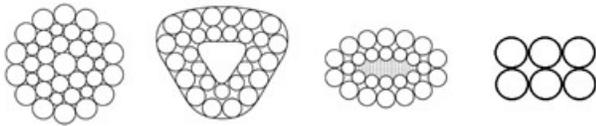


Figure 2: Litzenarten: Rundlitze, Dreikantlitze, Ovallitze, Flachlitze [7]

Die Einlage eines Stahldrahtseils kann entweder aus einem Seil oder einer Litze bestehen [9]. Gemäß DIN EN 12385-2:2008-06 können Einlagen aus verschiedenen Materialien gefertigt werden. Darauf basierend lassen sich die Einlagen in drei Hauptkategorien unterteilen: Fasereinlagen (FC), Stahleinlagen (WC) und Einlagen aus Massiv-Polymer (SPC) [7].

- Fasereinlagen (FC): Fasereinlagen können aus Naturfasern (NFC) oder Chemie- bzw. Synthesefasern (SFC) bestehen. Die Herstellung von Fasereinlagen erfolgt in mehreren Schritten: Zunächst werden die Fasern zu Garnen versponnen. Diese Garne werden anschließend zu Faserlitzen verseilt, aus denen schließlich die Fasereinlage gefertigt wird [7].
- Stahleinlagen (WC): Stahleinlagen werden aus Stahldrähten hergestellt und können als Drahtlitze (WSC) oder als Drahtseil (IWRC) gestaltet sein [7].
- Einlage aus Massiv-Polymer (SPC): Diese Einlagen werden auf Basis eines Massiv-Polymerwerkstoffes hergestellt und haben eine zylindrische Form, die mit oder ohne Rillen ausgeführt sein kann. Diese Einlagen können ein Innenelement enthalten, das aus Fasern oder Drähten bzw. einem einzelnen Draht besteht [7].

2.2 AUFGABEN DER FASEREINLAGE

Die Fasereinlage übernimmt mehrere zentrale Aufgaben, die für die Funktionalität und Langlebigkeit des Stahldrahtseils entscheidend sind [1]. Diese Aufgaben umfassen:

1. Außenlitzen elastisch abstützen: Die Verseilung der Litzen lässt Hohlräume im Seilinneren entstehen, welche durch die Fasereinlage ausgefüllt werden. Die Fasereinlage stützt die Außenlitzen elastisch und radial ab und verhindert deren Einfallen (Korkenzieherbildung), was die strukturelle Integrität

des Stahldrahtseils gewährleistet. Sie muss dabei, den radialen Druck der Außenlitzen aushalten [2], [9].

2. Speicherung und Abgabe von Schmierstoff: Die Fasereinlage speichert den Schmierstoff im Inneren des Seils und gibt diesen während der Nutzung an die Drähte ab. So wird das Stahldrahtseil vor Innenkorrosion geschützt und die Reibung innerhalb des Seils verringert, was zu einem verminderten Verschleiß führt [2], [10].
3. Gewährleistung der Biegsamkeit: Durch die Fasereinlage wird die Biegsamkeit des Stahldrahtseils beeinflusst [2].

2.3 NORMEN UND VORSCHRIFTEN

Die Anforderungen an Fasereinlagen für Stahldrahtseile sind in nationalen und internationalen Normen und Richtlinien festgelegt. Im Folgenden wird ein Überblick über die wichtigsten Regelwerke gegeben.

Die International Organization for Standardization (ISO) hat Normen für Fasereinlagen in Stahldrahtseilen veröffentlicht. Zu den relevanten ISO-Normen gehören:

- ISO 3154 – "Litzenförderseile für den Bergbau; Technische Lieferbedingungen"
- ISO 3155 – "Litzenförderseile für den Bergbau; Faserbestandteile; Eigenschaften und Prüfungen"
- ISO 3156 – "Litzenförderseile für den Bergbau; Tränkungsmitel und Schmierstoffe sowie Fertigbearbeitung; Eigenschaften und Prüfungen"
- ISO 17893 – "Drahtseile aus Stahldraht - Begriffe, Bezeichnung und Klassifizierung"

Diese ISO-Normen sind in Deutschland gültig und deren Einhaltung ist zwingend erforderlich.

Das Deutsche Institut für Normung (DIN) hat ebenfalls mehrere Normen veröffentlicht, die für Fasereinlagen in Stahldrahtseilen relevant sind. Zu den wichtigsten DIN-Normen gehören:

- DIN EN 12385-1 bis DIN EN 12385-10 "Drahtseile aus Stahldraht": Diese Normenreihe behandelt allgemeine, sowie spezifische Anforderungen an Stahldrahtseile, einschließlich der Fasereinlagen.
- DIN 21258 – "Schmier- und Tränkungsstoffe für Treibscheiben-Förderseile im Bergbau - Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung"

Die DIN-Normen sind in Deutschland gültig und müssen für die vorliegende Arbeit berücksichtigt werden.

Die Einhaltung der gegebenen Vorschriften zu Fasereinlagen ist zwingend erforderlich.

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat die Richtlinie VDI 2358 "Drahtseile für Fördermittel" veröffentlicht. Diese fasst wichtige Anforderungen und Informationen zum Thema Drahtseile zusammen. Es ist wichtig zu beachten, dass VDI-Richtlinien keine Vorschriften sind und einen ausschließlich informativen Charakter haben [11].

Ein wichtiges Regelwerk im Bereich der Schachförderanlagen bilden die Technischen Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen (TAS). Das Blatt 6 der TAS zeigt Anforderungen an Stahldrahtseile im Bergbau auf. Diese Anforderungen sind für die vorliegende Arbeit relevant und müssen verpflichtend Anwendung finden [12].

2.4 TEXTILPHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN

Die textilphysikalischen Eigenschaften der Garne bestimmen die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Fasereinlagen. Dazu gehören u. a. die Garnfeinheit, die Garndrehungszahl, das Benetzungsverhalten und die Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen.

2.4.1 GARNFEINHEIT

Die Garnfeinheit ist eine textile Kenngröße zur Darstellung der Faser- bzw. Garnquerabmessung. Sie wird "als Masse bzw. Gewicht je Längeneinheit definiert" [13, S. 163]. Die Angabe der Garnfeinheit erfolgt z. B. im Tex-System ($1 \text{ tex} = 1 \text{ g}/1000 \text{ m}$) [13].

2.4.2 GARNDREHUNGSZAHL

Die Garndrehungszahl, auch als Drehung bezeichnet, beschreibt die auf einen Meter Garnlänge bezogene Drehungsanzahl [13]. Der Drehungsbeiwert stellt ein Maß für die Drehungshärte dar [14]. Er ermöglicht den Vergleich der Drehungen von Garnen verschiedener Feinheit [13]. "Er gibt die auf 1 m Länge bezogene Anzahl der Drehungen an, die ein Vergleichsgarn der Feinheit $T_t = 1000 \text{ tex}$ bei gleicher Drehungshärte aufweisen würde [13, S. 266]."

2.4.3 GARNUNGLEICHMÄßIGKEIT

Die Ungleichmäßigkeit von Garnen wird in die innere und die äußere Ungleichmäßigkeit unterteilt [13]. Der Grad der Ungleichmäßigkeit der verwendeten Garne beeinflusst direkt die Ungleichmäßigkeit der fertigen Fasereinlage. Die innere Ungleichmäßigkeit bezeichnet Schwankungen nicht sichtbarer Eigenschaften, wie z. B. Festigkeit und Dehnung der Garne. Die äußere Ungleichmäßigkeit bezieht sich auf visuell erfassbare Eigenschaftsabweichungen, z. B. in Bezug auf die Feinheit oder den Garndurchmesser [13].

2.4.4 ZUG-DEFORMATIONS-VERHALTEN (FESTIGKEIT UND DEHNUNG)

Das Zug-Deformationsverhalten beschreibt, wie sich Garne unter Zugbelastung verhalten. Es ist besonders bedeutend bei der Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften von Textilien [13].

Den wichtigsten Versuch zur Bestimmung des Zug-Deformationsverhaltens stellt der einfache Zugversuch (DIN 53815:1989-05 und DIN EN ISO 2062:2010-04) dar. Dabei wird die Probe bis zum Bruch (Zerreißen) einachsigt auf Zug beansprucht [13].

2.4.5 BENETZUNGSVERHALTEN UND KAPILLARWIRKUNG

Die Kapillarwirkung spielt eine entscheidende Rolle für den Einsatz von Garnen als Fasereinlagen. Der Kapillareffekt beeinflusst den Flüssigkeitstransport – insbesondere von Schmierstoffen – innerhalb der Garne. Seine Ausprägung wird durch die Oberflächenspannung der Flüssigkeit sowie durch die Kapillargeometrie im Garn und die Oberflächenenergie des Garnes bestimmt [15].

In Garnen existieren Kapillaren in den Faserzwischenräumen und an den Berührungsflächen der Fasern. Diese Kapillaren nehmen Flüssigkeiten auf und transportieren sie mittels Kapillarkräften. Die transportierte Menge hängt vom Benetzungsverhalten ab – je hydrophiler das Fasermaterial, desto leistungsfähiger der Kapillareffekt. Die Kapillarwirkung wird außerdem durch die Garnkonstruktion beeinflusst. Aus den Parametern der Garnkonstruktion ergibt sich die Geometrie der Kapillaren und damit die Stärke der Kapillarwirkung. Durch die Kapillarwirkung können die Schmierstoffe effizient in die Fasereinlagen aufgenommen und transportiert werden [15].

2.4.6 VERROTTUNG UND UMWELTEINFLÜSSE

Der Verrottungsprozess von Fasereinlagen und daraus resultierend die Korrosion von Stahldrahtseilen werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Dazu gehören materialbezogene Einflussfaktoren und umweltbezogene Einflussfaktoren – wie z. B. Feuchtigkeit und Temperatur. Der Einsatz von Schmier- und Konservierungstoffen ist entscheidend, um die Fasereinlagen zu konservieren und den korrosionsfördernden Einflüssen entgegenzuwirken. Diese Mittel erhöhen die Beständigkeit gegen Verrottung und tragen zur Langlebigkeit der Fasereinlagen bei [16].

2.4.7 THERMISCHE BESTÄNDIGKEIT

Die thermische Beständigkeit des Fasermaterials ist insbesondere beim Schmierprozess von Fasereinlagen von zentraler Bedeutung [3]. Zu den relevanten thermischen Kennwerten zählen u. a. die Glasübergangstemperatur, die Schmelztemperatur, die Zersetzungstemperatur, die Selbst-

stentzündungstemperatur, die Verkohlungstemperatur sowie die Dauertemperaturbeständigkeit. Diese Parameter geben Aufschluss darüber, bis zu welchen Temperaturen das Fasermaterial formstabil und einsatzfähig bleibt.

2.4.8 QUELLVERHALTEN

Durch die Aufnahme von Wasser kommt es bei Naturfasern und bestimmten Chemiefasern zur Faserquellung. Das Quellverhalten beschreibt die dimensionsverändernden Effekte, die infolge von Feuchteinwirkung auftreten. Dabei verändern sich Breite und Länge der Fasern, woraus eine Volumenänderung folgt. Da Längen- und Breitenquellung in unterschiedlichem Maß erfolgen, liegt Anisotropie vor [13].

Bei stark quellenden Fasern kann dies zu einer Veränderung des Gesamtquerschnitts des Drahtseils führen. Dieser Effekt ist bei der konstruktiven Auslegung von Stahldrahtseilen mit Fasereinlage zu berücksichtigen.

Die Bestimmung des Quellverhaltens erfordert einen hohen apparativen Aufwand und ist mit beträchtlicher Messunsicherheit verbunden [13]. Aus diesem Grund wird auf Literaturwerte verwiesen. Eine tabellarische Aufführung der Quellung ausgewählter Faserstoffe befindet sich u. a. in [13].

Nach der Darstellung der technischen Grundlagen und normativen Anforderungen folgt die Beschreibung der methodischen Vorgehensweise der Untersuchung.

3 METHODIK

3.1 AUSWAHL DER FASERSTOFFE FÜR DIE UNTERSUCHUNG

Für die experimentellen Untersuchungen wurden verschiedene Garne auf Basis von Naturfasern und Chemiefasern ausgewählt. Die Naturfaserstoffe werden entweder in aktuellen Normen genannt – Siehe DIN EN 12385-6: Sisal – oder wurden wegen ihrer hohen Produktionsmenge (Baumwolle, Jute) oder lokaler Verfügbarkeit (Hanf) ausgewählt. Für die Auswahl der Chemiefaserstoffe – Polypropylen (PP), Polyamid (PA) und Polyester (PES) – wurde die Richtlinie VDI 2358 herangezogen.

Ein PP-Hanf-Garn (MC07) wurde aufgenommen, um den Einfluss der Garnkonstruktion (Stapelfasergarn vs. Multifilamentgarn) zu analysieren. Ein Spleißgarn (MC04) wurde aufgenommen, da es kostengünstig ist und häufig für geschlagene Seile eingesetzt wird. Ergänzend wurden PP-Garne mit verschiedenen Querschnittsformen (MC01 bis MC03) in das Versuchsprogramm aufgenommen, um deren Einfluss auf Saugfähigkeit und spezifische Oberfläche zu untersuchen.

Faser-material	Spezifikation	Materialkennung	Feinheit in tex
Naturfasern			
Sisal	100 % Sisal	MN01	1000
Hanf	100 % Hanf	MN02	117,6
Baumwolle	100 % Baumwolle	MN03	41,7
Jute	100 % Jute	MN04	1666,7
Chemiefasern			
Polypropylen (PP)	Y-Querschnitt; 44486	MC01	176
Polypropylen (PP)	Δ-Querschnitt; 44487	MC02	176
Polypropylen (PP)	o-Querschnitt; 44488	MC03	176
Polypropylen (PP)	Spleißgarn, natur	MC04	110
Polyamid 6 (PA6)	18880 f 280	MC05	190,5
PES	NA.	MC06	NA.
PP-Hanf	100 % PP, Stapelfasergarn, fibrilliert	MC07	NA.

Table 1: Ausgewählte Garnmaterialien

3.2 DURCHGEFÜHRTE VERSUCHE

Grundlage für das Versuchsprogramm ist eine Zusammenfassung der Anforderungen aus den Normen und Vorschriften (DIN EN 12385-6, ISO 3155, TAS Blatt 6,

VDI 2358) und den Aufgaben von Fasereinlagen. Diese ergibt folgenden Prüfablauf:

1. Bestimmung der Garnfeinheit nach DIN EN ISO 2060:1995-04 (Weifverfahren)
2. Bestimmung der Garndrehungszahl nach DIN EN ISO 2061:2015-12
3. Zugversuch im normklimatisierten Zustand nach DIN EN ISO 2062:2010-04
4. Zugversuch im nassen Zustand nach DIN EN ISO 2062:2010-04
5. Knotenzugversuch im normklimatisierten Zustand nach DIN 53842-1:1976-04
6. Zugversuch nach Temperatureinwirkung (90°C) nach DIN EN ISO 2062:2010-04
7. Bestimmung der inneren Ungleichmäßigkeit anhand der Variationskoeffizienten der Höchstzugkraft im trockenen Zustand, im Knotenzugversuch, sowie im Zugversuch nach Temperatureinwirkung
8. Bestimmung des Wassergehalts mithilfe der Titration nach Karl-Fischer-Verfahren – ISO 15512:2019-09
9. Bestimmung der Säugfähigkeit nach DIN 53924:2020-09 (Steighöhenverfahren)
10. Bestimmung der Größe der Garnoberfläche mittels optischer Vermessung und Berechnung

4 ERGEBNISSE

Die Einzelergebnisse der Messreihen sind in der Mater-
Thesis dokumentiert.

Die Bewertung der Materialvarianten erfolgt anhand ausgewählter, aussagekräftiger Garneigenschaften. Diese sind in der Kopfzeile von Tabelle 2 aufgeführt. Den Messwerten wird jeweils eine Punktzahl von eins bis fünf zugeordnet. Der schlechteste Messwert innerhalb einer Garneigenschaft erhält die Bewertung eins. Die Bewertung fünf erhält der Messwert, welcher das für den Einsatzzweck optimale Verhalten zeigt. Für die übrigen Messwerte wird die Bewertung (b) berechnet. Diese Berechnung erfolgt anhand der unten dargestellten Formeln. Formel 1 wird eingesetzt, wenn für die Garneigenschaft ein hoher Messwert ideal ist und Formel 2 wird eingesetzt, wenn für die Garneigenschaft ein niedriger Messwert ideal ist. Die Ergebnisse werden auf ganze Zahlen gerundet.

$$b_h = \frac{\text{Messwert}_n - \text{Min}}{\frac{\text{Max} - \text{Min}}{4}} + 1 \quad (1)$$

$$b_n = \frac{\text{Messwert}_n - \text{Max}}{\frac{\text{Min} - \text{Max}}{4}} + 1 \quad (2)$$

Für die Gesamtbewertung wird der arithmetische Mittelwert aller Einzelbewertungen für ein Material gebildet.

Ausreißer werden mit einem oder fünf Punkten bewertet, um eine unverhältnismäßige Verzerrung der Skalenabstufung zu vermeiden. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 2 mit einem Stern (*) markiert. Die Bewertung der Saugfähigkeit erfolgt qualitativ. Materialien, bei denen es zur Saugwirkung kommt, werden mit fünf bewertet und Materialien, welche keine Saugwirkung zeigen werden mit eins bewertet.

Die aufbereiteten Ergebnisse bilden die Grundlage für die nachfolgende Auswertung, in der die Forschungsfragen gezielt beantwortet werden.

5 AUSWERTUNG

5.1 BEANTWORTUNG DER ERSTEN FORSCHUNGSFRAGE

Im Folgenden wird Hilfe der Bewertungsmatrix (siehe Tabelle 2) die zu Beginn der Arbeit gestellte Forschungsfrage beantwortet. Diese lautet: "Welche textilphysikalischen Eigenschaften müssen Garne für den Einsatz als Fasereinlage in Stahldrahtseilen erfüllen, und welche Faser-materialien bieten das optimale Eigenschaftsprofil?".

Auf Basis der Gesamtbewertung ergibt sich die folgende Rangfolge: MC06 (3,7) → MN03 (3,5)/ MC04 (3,5) → MC05 (3,4) → MC02 (3,2) → MN02 (3,0) → MN01 (2,9)/ MC07 (2,9) → MC01 (2,8)/ MC03 (2,8) → MN04 (2,6)

Die Materialvariante MN01 (Sisal) stellt den aktuellen Stand der Technik im Bereich der Fasereinlagenherstellung dar. Aus diesem Grund dient MN01 für die Betrachtung als Null-Alternative. Es erfüllt die an Fasereinlagen gestellten Anforderungen in ausreichendem Maße und dient als Referenz für die Eignungsbewertung. Daraus folgt, dass alle Materialvarianten, deren Gesamtbewertung unterhalb der von MN01 liegt, als ungeeignet für den Einsatzzweck eingestuft werden. Dies betrifft MN04 (Jute), MC01 (PP mit Y-Querschnitt) und MC03 (PP mit rundem Querschnitt). Alle verbliebenen Materialvarianten übertreffen die Null-Alternative oder haben die gleiche Bewertung erhalten. Daraus folgt, dass sie für den Einsatz als Fasereinlage in Frage kommen.

Materialkennung	Gesamtbewertung	Feinheitsbezogene Höchstzugkraft (Normklima) (R_H)	Höchstzugkraftdehnung (Normklima) (ϵ_H)	Nasshöchstzugkraftverhältnis (q_{HN})	Knotenhöchstzugkraftverhältnis (q_{HK})	Temperaturhöchstzugkraftverhältnis (q_{HT})	Innere Ungleichmäßigkeit ($V_{FH, Normklima}$)	Wassergehalt	Saugfähigkeit	Spezifische Garnoberfläche (a_s)
MN01	2,9	1	5	3	4	4	1	2	5	1
MN02	3,0	2	5	1	4	1	3	3	5	3
MN03	3,5	2	4	5	5	2	4	3	1	5
MN04	2,6	1	5	1	3	1	3	1	5	NA.
MC01	2,8	1	1*	3	5	3	5	5	1	2
MC02	3,2	1	1*	3	5	3	5	5	5	2
MC03	2,8	1	1*	3	5	3	5	5	1	1
MC04	3,5	4	4	3	4	2	5	5	1	NA.
MC05	3,4	5	1	1	3	4	5	4	5	2
MC06	3,7	4	3	3	3	5	4	5	5	2
MC07	2,9	2	3	3	3	2	4	5	1	NA.

Table 2: Bewertungsmatrix

In Hinblick auf die Eigenschaften, wird ersichtlich, dass mit abnehmender Gesamtbewertung die Einschränkungen hinsichtlich der Eignung der Materialvarianten für den Einsatz als Fasereinlage steigen. MC06 (PES) stellt eine wirtschaftlich attraktive Variante dar, wenn ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den Garneigenschaften und dem Preis gefordert ist [17]. MN01 (Baumwolle) stellt die Naturfaser mit dem laut Bewertungsmatrix besten Eigenschaftsprofil dar. Der Praxiseinsatz von Baumwolle erfordert weitere Prüfungen, insbesondere in Bezug auf das Verrottungsverhalten, den Gehalt an extrahierbaren Stoffen, wasserlöslichen aggressiven Säuren und Chlorid-Ionen (siehe Anforderungen aus ISO 3155).

Die Auswahl geeigneter Materialien für den Praxiseinsatz erfordert eine anwendungsbezogene Abwägung der jeweiligen Garneigenschaften. Die entwickelte Bewertungsmatrix dient als praxisorientiertes Werkzeug für die zukünftige Materialauswahl. Durch die Wichtung der Bewertungskriterien kann die Matrix anwendungsspezifisch angepasst werden. So kann z. B. die Höchstzugkraftdehnung geringer gewichtet oder ausgeschlossen werden, sollte sie für die Anwendung nicht von Bedeutung sein. Außerdem kann die Bewertung z. B. auf eine Skala von 0 bis 10 Punkten ausgedehnt werden, wodurch sich Unterschiede zwischen den Materialvarianten differenzierter darstellen lassen. Dies ist besonders bei einer Erweiterung des Materialportfolios sinnvoll.

5.2 BEANTWORTUNG DER ZWEITEN FORSCHUNGSFRAGE

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage: "Wie unterscheiden sich die Eigenschaftsprofile von Naturfasern im Vergleich zu Chemiefasern für die Verwendung als Fasereinlagen in Stahldrahtseilen?" wurden die Daten in

Tabelle 3 zusammengeführten In Spalte eins der Tabelle werden die textilphysikalischen Eigenschaften aufgetragen und in Zeile eins sind die Materialvarianten aufgeführt. Zur Verbesserung der Vergleichbarkeit wurden die Bewertungen farbig hinterlegt (dunkelgrün – beste Bewertung (5) bis rot – schlechteste Bewertung (1)).

Die vergleichende Untersuchung von Natur- und Chemiefasergarnen zeigt, dass Chemiefasern bei Eigenschaften wie der feinheitsbezogenen Höchstzugkraft und Gleichmäßigkeit Vorteile gegenüber Naturfasern aufweisen. Außerdem verfügen sie über eine geringere Wasseraufnahme und sind beständig gegenüber Verrottung [16]. Naturfasern erreichen bessere Werte bei der Knotenhöchstzugkraft, sind jedoch insgesamt anfälliger gegenüber Feuchtigkeit und äußeren Einflüssen. Dies kann zur Verrottung der Fasereinlage und Innenkorrosion führen [16]. Chemiefasern können als funktionaler Ersatz für Naturfasern betrachtet werden, wobei für eine abschließende Bewertung weitere Untersuchungen auf Litzen- und Seilebene erforderlich sind.

5.3 HINWEISE FÜR DIE ZUKÜNFTIGE MATERIALAUSWAHL

5.3.1 EINFLUSS DER GARNKONSTRUKTION

Filamentgarn) beeinflusst die Garneigenschaften, auch bei gleichem Grundmaterial. Dies ist bei der Auswahl von Garnen für den Praxiseinsatz zu berücksichtigen. Sie beeinflusst unter anderem die Zugfestigkeit, die innere Ungleichmäßigkeit, die Kapillarwirkung und damit das Schmiermittelaufnahmevermögen der Garne. Dies wird in Hinblick auf Tabelle 2 deutlich.

Materialkennung Eigenschaft	MN 01	MN 02	MN 03	MN 04	MC 01	MC 02	MC 03	MC 04	MC 05	MC 06	MC 07
R_H	1	2	2	1	1	1	1	4	5	4	2
ε_H	5	5	4	5	1	1	1	4	1	3	3
q_{HN}	3	1	5	1	3	3	3	3	1	3	3
q_{HK}	4	4	5	3	5	5	5	4	3	3	3
q_{HT}	4	1	2	1	3	3	3	2	4	5	2
VFHNormklima	1	3	4	3	5	5	5	5	5	4	4
Wassergehalt	2	3	3	1	5	5	5	5	4	5	5
Saugfähigkeit	5	5	1	5	1	5	1	1	5	5	1
as	1	3	5	NA.	2	2	1	NA.	2	2	NA.

Table 3: Vergleich von Natur- und Chemiefaserstoffen

Es empfiehlt sich, die Garnkonstruktion in Abhängigkeit von anwendungsspezifischen Anforderungen auszuwählen – insbesondere in Bezug auf die Festigkeit und Dehnung, die Gleichmäßigkeit und damit Maßhaltigkeit der Fasereinschlüsse und die Schmierstoffaufnahme.

5.3.2 WIRTSCHAFTLICHKEIT

Die Wirtschaftlichkeit des ausgewählten Materialportfolios wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausschließlich sekundär betrachtet. Ausschlaggebend hierfür sind die eingeschränkte Datenlage sowie die Preisschwankungen von Chemiefaserstoffen. Die monetäre Bewertung der erzielbaren Eigenschaften der Fasereinschlüsse erfordert eine vertiefte Analyse der Wirtschaftlichkeit, zumal die zukünftige Preisentwicklung der Materialien nicht zuverlässig prognostiziert werden kann.

Aus den aufgeführten Forschungsergebnissen, ergeben sich weiterführende Forschungsansätze, die im Ausblick zusammengefasst werden.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In der vorliegenden Arbeit wurden textilphysikalische Eigenschaftsprofile verschiedener Natur- und Chemiefasergarne für den Einsatz als Fasereinschlüsse in Stahldrahtseilen untersucht und bewertet. Ziel war es, die Eignung unterschiedlicher Garnmaterialien zu analysieren und auf dieser Grundlage fundierte Aussagen zur Materialauswahl für Fasereinschlüsse zu treffen.

Die Ergebnisse zeigen, dass Chemiefasern insbesondere bei Eigenschaften wie Zugfestigkeit, Gleichmäßigkeit und Beständigkeit gegenüber Verrottung Vorteile gegenüber Naturfasern aufweisen [16]. Naturfasern wie Baumwolle oder Hanf erreichen zwar in einzelnen Parametern, etwa bei der Knotenzugfestigkeit, bessere Werte, sind jedoch deutlich anfälliger gegenüber Feuchtigkeit und umweltbedingten Einflüssen. Die entwickelte Bewertungsmatrix erweist sich hierbei als praxisnahes Werkzeug, das durch Anpassung der Gewichtungsfaktoren auf spezifische Einsatzbedingungen übertragen werden kann.

Die Ergebnisse bilden die Grundlage zur Bewertung von Garnen zur Herstellung von Fasereinschlüssen für Stahldrahtseile. Aufbauend darauf ergeben sich Potentiale für weiterführende Untersuchungen.

Eine Möglichkeit zur weiteren Forschung bildet die Erweiterung des untersuchten Materialportfolios. Neben etablierten Naturfasern wie Flachs sollten alternative Faserstoffe wie z. B. Nesselfasern untersucht werden, insbesondere in Hinblick auf deren regionale Anbaumöglichkeiten und darauf basierende Verfügbarkeit (siehe [18]). Ebenfalls können weitere Chemiefasern wie z. B. Polyethylen geprüft werden.

Naturfasern sind darüber hinaus hinsichtlich des Gehalts an extrahierbaren Stoffen, wasserlöslichen aggressiven Säuren und Chloridionen – insbesondere bei nicht normativ geregelten Materialien wie MN02 und MN03 – zu analysieren. Zusätzlich sind Prüfungen zur Materialdegradation unter realen Umweltbedingungen erforderlich. Bei sowohl Natur- als auch Chemiefaserstoffen ist die

Prüfung der Beständigkeit gegenüber Schmier- und Konservierungsmitteln erforderlich.

Abschließend sind die Laborergebnisse an fertig konfektionierten Fasereinlagen und Stahldrahtseilen zu validieren. Es sind Untersuchungen im Seilverbund durchzuführen, um Wechselwirkungen mit Drähten und Schmier- und Konservierungsmitteln zu erfassen. Auf diese Weise können sich daraus ergebende Einflüsse auf die mechanischen, tribologischen und strukturellen Eigenschaften der Fasereinlage in die Bewertung einbezogen werden.

REFERENCES

- [1] K. Feyrer and K.-H. Wehking, *FEYRER: Drahtseile: Bemessung, Betrieb, Sicherheit*, 3rd ed. Springer Berlin Heidelberg, suchbegriff: Schachtförderseil.
- [2] D. G. Shitkow and I. T. Pospechow, *Drahtseile*. VEB Verlag Technik Berlin. [Online]. Available: https://books.google.de/books/about/Drahtseile.html?id=KB1yxwEACAAJ&redir_esc=y
- [3] “DIN EN 12385-6:2004-05, drahtseile aus stahldraht.- sicherheit.- teil.6: Litzenseile für schachtförderanlagen des bergbaus; deutsche fassung EN_12385-6:2004.” [Online]. Available: <https://www.dinmedia.de/de/-/164618555>
- [4] D. Jensen. Comeback in ostafrika. [Online]. Available: <https://flurundfurche.de/comeback-in-ostafrika/>
- [5] “Marktbericht sisal april 2025,” p. 10. [Online]. Available: <https://www.wgc.de/de/produkte/sisal>
- [6] “Vliesstoffe: Rohstoffe, herstellung, anwendung, eigenschaften, prüfung.”
- [7] “DIN EN 12385-2:2008-06, stahldrahtseile.- sicherheit.- teil.2: Begriffe, bezeichnung und klassifizierung; deutsche fassung EN_12385-2:2002+a1:2008.” [Online]. Available: <https://www.dinmedia.de/de/-/107301667>
- [8] “DIN EN 10264-3:2024-02, stahldraht und drahterzeugnisse.- stahldraht für seile.- teil.3: Runder und profilierter draht aus unlegiertem stahl für hohe beanspruchungen; deutsche fassung EN_10264-3:2023.” [Online]. Available: <https://www.dinmedia.de/de/-/374976406>
- [9] “Dubbel taschenbuch für den maschinenbau 3: Maschinen und systeme.”
- [10] P. Gräbner and A. Hübner, “Schmierstoffaufnahme von ausgewählten drahtseilfasereinlagen,” vol. 31, no. 10, pp. 391–393.
- [11] VDI-Fachbereich Technische Logistik, “VDI 2358 - drahtseile für fördermittel,” herausgeber: VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik. [Online]. Available: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2358-drahtseile-fuer-foerdermittel>
- [12] Bezirksregierung Arnsberg, “Technische anforderungen an schacht- und schrägförderanlagen (TAS) - blatt 6.” [Online]. Available: <https://esb.bra.nrw.de/2-technische-richtlinien-und-rundverfuegungen/210-schachtfoerderung-seilfahrt-aufzugsanlagen/technischen-anforderungen-schacht-und/tas-konsolidierte-fassung-als-fliesstext/blatt-6>
- [13] “Prüfverfahren in der textil- und bekleidungstechnik.”
- [14] “DIN EN ISO 2061:2015-12, textilien.- bestimmung der drehung von garnen.- direktes zählverfahren (ISO.2061:2015); deutsche fassung EN_iso_2061:2015.” [Online]. Available: <https://www.dinmedia.de/de/-/1239203105>
- [15] J. Mecheels, *Körper, Klima, Kleidung: Grundzüge der Bekleidungsphysiologie*. Schiele & Schön.
- [16] B. Naumann and G. Gedecke, “Einfluß von seilschmierstoffen auf synthese-fasereinlagen für stahldrahtseile,” vol. 22, no. 8, pp. 542–545. [Online]. Available: <https://katalog.bibliothek.tu-chemnitz.de/Record/0-129593540>
- [17] D. Veit, *Fasern: Geschichte, Erzeugung, Eigenschaften, Markt*. Springer Berlin Heidelberg. [Online]. Available: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-662-64469-0>
- [18] Fasernessel: Die nächsten schritte auf dem weg zurück in die praxis. [Online]. Available: <https://news.fnr.de/fnr-pressemitteilung/fasernessel-die-naechsten-schritte-auf-dem-weg-zurueck-in-die-praxis>

Josefine Hermine Kautzsch, B.Eng., Wissenschaftliche Hilfskraft an der Professur Förder- und Materialflusstechnik, Technische Universität Chemnitz.

Adresse: Professur Förder- und Materialflusstechnik, Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz, Deutschland
E-Mail: herminekautzsch@gmail.com