

Tieftemperatur-Dauerbiegeprüfung von Faserseilen (konstruktive Entwicklung eines Versuchstandes)

Dipl.-Ing. Uwe Metzner¹

¹Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V., Annaberger Straße 240, 09125 Chemnitz, Deutschland

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

© 2022 by U. Metzner. 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

Die Prüfung der sogenannten Dauerbiegewechselfestigkeit von Faserseilen ist eine Prüfung, um vorzugsweise die Verschleißbeständigkeit von Faserseilen zu quantifizieren. Die Prüfung der Biegewechselfestigkeit von Faserseilen wird zum gegenwärtigen Stand der Technik auf speziellen Prüfmaschinen durchgeführt, welche jedoch bisher nur Prüfungen bei Umgebungstemperatur ermöglichten. Um die Verschleißbeständigkeit von Faserseilen bei verschiedenen Temperaturen prüfen zu können, wurde eine Prüfeinrichtung entwickelt, welche über eine entsprechende Klimakammer verfügt, welche geregelte Prüftemperaturen in einem Bereich von -30 bis 20°C ermöglicht.

Der Beitrag hat die Problemstellung und die konstruktive Entwicklung der Gerätetechnik für die Tieftemperatur-Dauerbiegeprüfung von Faserseilen zum Gegenstand und geht abschließend auf die Ergebnisse erster Dauerbiegeprüfversuche ein. Die Technologie sowie die Versuchserätetechnik zur Tieftemperatur-Dauerbiegeprüfung von Faserseilen stehen nun ersten Anwendung zur Verfügung.

KEYWORDS

Faserseile, Dauerbiegeprüfung, Biegewechselfestigkeit, Ablegereife, Prüfversuchsstand

1. Einleitung

Zielstellung des Projektes war die Entwicklung eines neuartigen Prüfverfahrens und die Realisierung eines entsprechenden Prüfstandkonzeptes für die Dauerbiegeprüfung unter definiert einstellbaren Prüftemperaturen in einem Bereich von -30 bis 20°C. Als erster Scherpunkt des Forschungsprojektes wurde eine entsprechende Prüfvorschrift für Tieftemperatur-Dauerbiegeprüfungen an Faserseilproben erarbeitet. Auf der Grundlage der Prüftechnologie beziehungsweise der Prüfvorschrift wurde ein Prüfversuchsstand

zur Tieftemperatur-Dauerbiegewechselprüfung von Faserseilproben konzipiert. Danach erfolgten die konstruktive Entwicklung sowie die technische Realisierung und die Inbetriebnahme des Prüfversuchsstandes. Nach dessen Inbetriebnahme wurden am Prüfversuchsstand entsprechende Dauerbiegewechselprüfversuche bei Tieftemperaturen zur Verifizierung der entwickelten Prüftechnologie durchgeführt und anschließend ausgewertet. Die im Forschungsprojekt erarbeitete Prüftechnologie sowie der Prüfversuchsstand stehen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Verfügung. Dabei steht die Überführung der Projektergebnisse in eine industrietaugliche Prüftechnologie mit der zugehörigen Anlagentechnik im Mittelpunkt.

2. Konzipierung eines Versuchsstandes zur Tieftemperatur-Dauerbiegeprüfung

Zur Konzipierung eines Versuchsstandes zur Tieftemperatur-Dauerbiegeprüfung mussten folgende, einflussnehmende Größen und Faktoren qualifiziert, quantifiziert und in optimaler Art und Weise aufeinander abgestimmt werden, um ein entsprechendes Lösungskonzept für den Versuchstand zu erarbeiten:

- Parameter zur Auslegung der erforderlichen Kältetechnik für eine Kältekammer, wie beispielsweise das notwendige Volumen, die Isolation, die erforderliche Kühlleistung,
- Anordnung der erforderlichen Seilscheiben,
- Parameter für die benötigte Sensortechnik des Versuchsstandes,
- Parameter für das Gestell.

Nach der Qualifizierung und Quantifizierung der entsprechenden Parameter wurden Lösungsprinzipien entwickelt und bewertet. Danach konnte das Konzept des Versuchsstandes festgelegt werden, auf dessen Grundlage im nachfolgenden Arbeitspaket die konstruktive Entwicklung der entsprechend benötigten Bauteile und Komponenten erfolgen konnte. Im Ergebnis der Konzipierung konnte folgendes Konzept für den zu realisierenden Prüfstand festgelegt werden:

- Die Anordnung des Versuchsstandes erfolgt vertikal.
- Der Versuchsstand wird für eine Prüfbelastung von 5.000,00 N ausgelegt.
- Die Seilscheiben werden für einen maximalen Probendurchmesser von 8 mm ausgelegt.
- Die Größe der Biegezone der Seilproben beträgt mindestens 1.200,00 mm.
- Die Kältekammer wird im unteren Bereich angeordnet:
 - Prüfseilscheibe wird unten (innerhalb der Kältekammer) angeordnet,
 - Lagerung der Prüfseilscheibe erfolgt innerhalb der Kältekammer,
 - Abstützung der Lagerung erfolgt außerhalb der Kältekammer.
- Die Kältekammer muss innen so hoch sein, dass sich die Biegezone der Seilprobe (Bereich der Seilprobe, welcher über die Prüfseilscheibe wechselseitig hin und her läuft) stets innerhalb der Kältekammer befindet (mindestens 750 mm).

- Die Anordnung der Antriebsseilscheibe mit Antriebsmotor erfolgt außerhalb der Kältekammer.
 - Die Anordnung der Antriebsseilscheibe mit Antriebsmotor erfolgt auf einem linear geführten Support.
 - Durch lineares Verschieben des Supportes wird der Achsabstand der Seilscheiben verstellt, wodurch die jeweils festgelegte Prüfbelastung in die Seilprobe eingebracht wird.
 - Der Antrieb des Supportes erfolgt durch Druckluftzylinder.
 - Durch eine Druckregelung und Drucküberwachung wird die Prüfbelastung eingestellt.
 - Die Kältekammer wird mit Temperatursensoren zur Temperaturüberwachung ausgestattet.
 - Der Versuchsstand wird mit einer Steuerung für einen automatisierten Prüfablauf ausgerüstet.
 - Das Gestell wird als sogenanntes „O-Gestell“, auf der Basis einer Grundplatte ausgeführt.
-

3. Konstruktive Entwicklung des Versuchsstandes zur Tieftemperatur-Dauerbiegewechselprüfung

Auf der Grundlage des erarbeiteten Konzeptes erfolgte die konstruktive Entwicklung des Versuchsstandes. Dafür kam das CAD-System „PTC Creo Elements/Direct Modeling“ der Firma PTC Inc., Needham, Massachusetts (USA), zur Anwendung. Im Rahmen der konstruktiven Entwicklung wurden zwei Varianten für die Ausführung des Gestells untersucht. Dabei handelt es sich um eine Variante aus einer Stahl-Schweißbaugruppe und eine Variante aus verschraubten Aluminiumprofilen (siehe Abbildung 1).

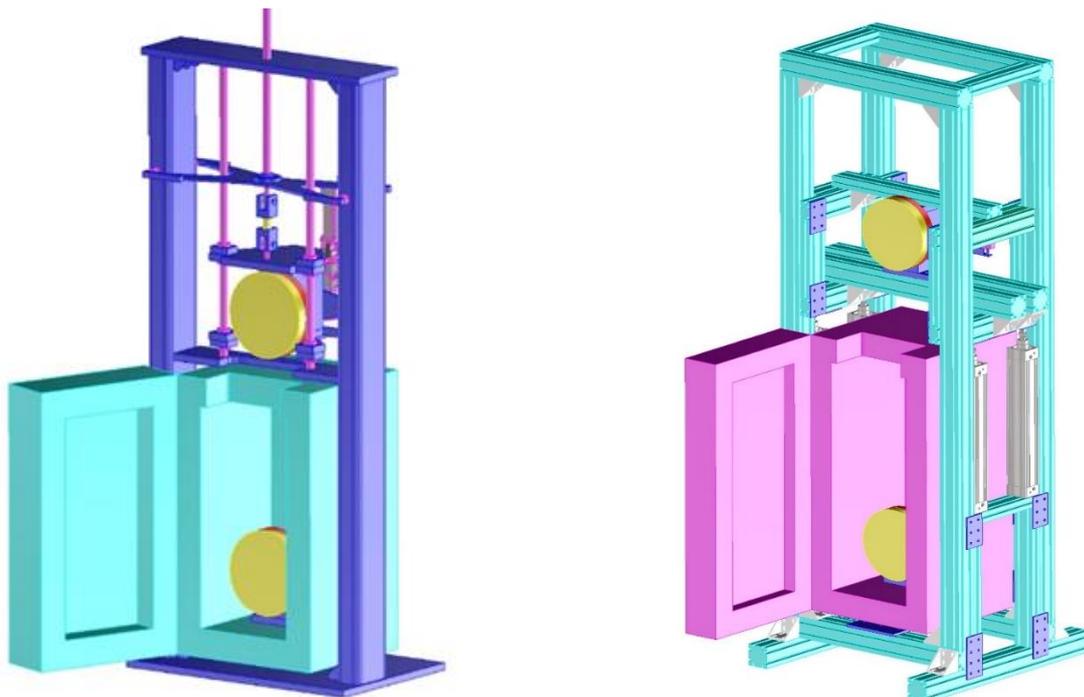


Abbildung 1: Gestellvarianten Stahl-Schweißbaugruppe (links) und verschraubte Aluminiumprofile (rechts)

Für beide Varianten wurde ein entsprechender CAD-Entwurf erarbeitet, so dass die Varianten bezüglich des jeweiligen Materialaufwandes sowie des Fertigungs- und Montageaufwandes miteinander verglichen werden konnten. Zur Realisierung wurde die Baugruppe bestehend aus verschraubten Aluminiumprofilen ausgewählt. Die Verwendung von standardisierten Aluminium-Profilen ermöglicht einen wesentlich flexibleren Aufbau des gesamten Versuchsstandes. Das ist vor allem im Hinblick auf die Verwendung des Versuchsstandes im Rahmen weiterführender Forschungsaufgaben nach dem erfolgreichen Projektabschluss von Vorteil.

Die Aufnahmen der Antriebsseilscheibe sowie die Aufnahme der Prüfseilscheibe wurden so ausgeführt, dass beide Seilscheiben mit einem geringen Rüstaufwand ausgetauscht werden können, da für die Prüfung von Faserseilproben mit unterschiedlichen Durchmessern jeweils unterschiedliche Seilscheiben benötigt werden (siehe Abbildungen 2 und 3).

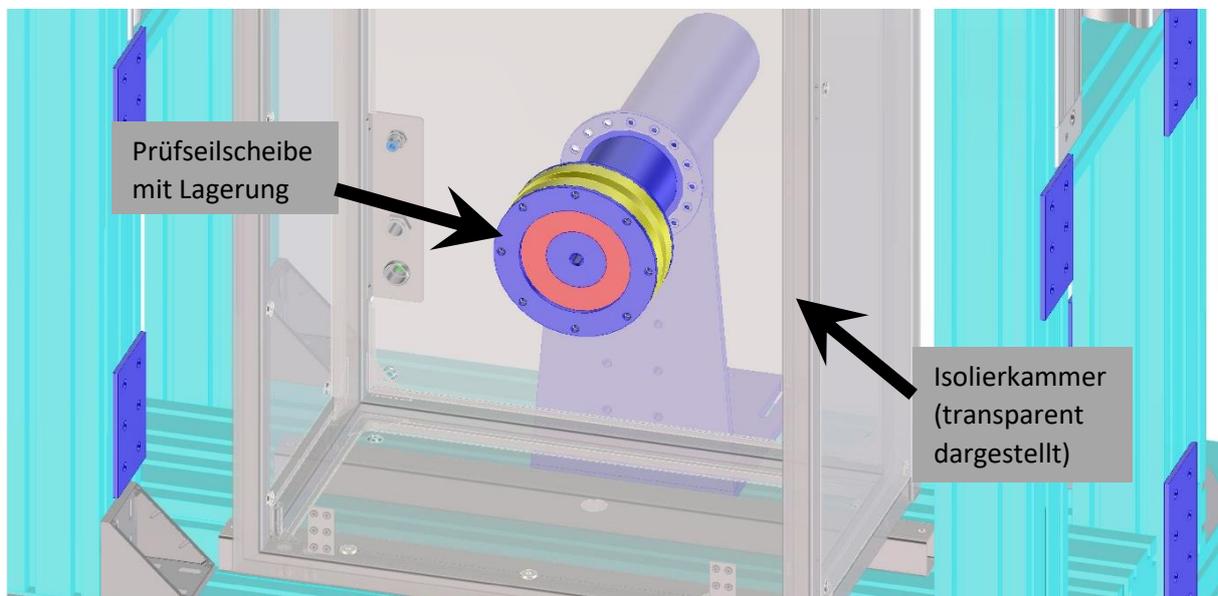


Abbildung 2: Prüfseilscheibe mit Lagerung innerhalb der Isolierkammer

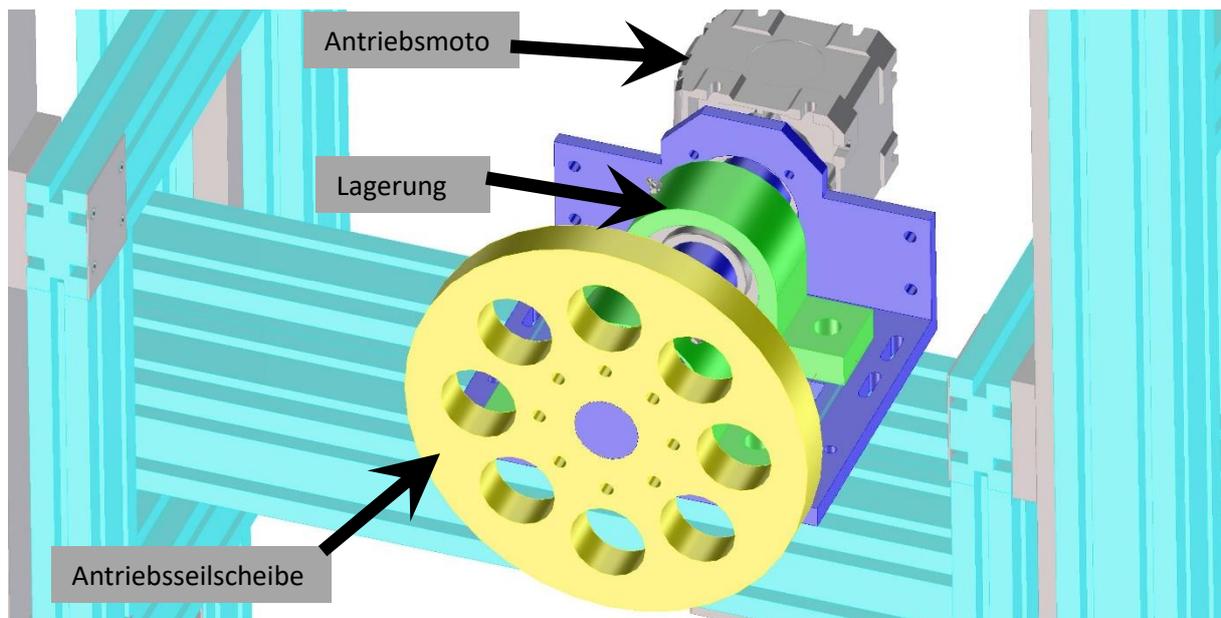


Abbildung 3: Antriebsseilscheibe mit Lagerung und Antriebsmotor

Die Antriebsseilscheibe sowie deren Antrieb und Lagerung sind auf einem vertikal verfahrbaren Support montiert, welcher durch die Druckluftzylinder bewegt wird. Diese Pneumatikzylinder weisen eine sogenannte theoretische Kraft bei 5 bar im Vorlauf von 2,513 kN auf. Die maximal mögliche Prüflast beträgt beim Einsatz von vier Zylindern 10,052 kN und liegt somit über dem ursprünglich vorgesehenen Wert von 5 kN (siehe Abbildung 4).

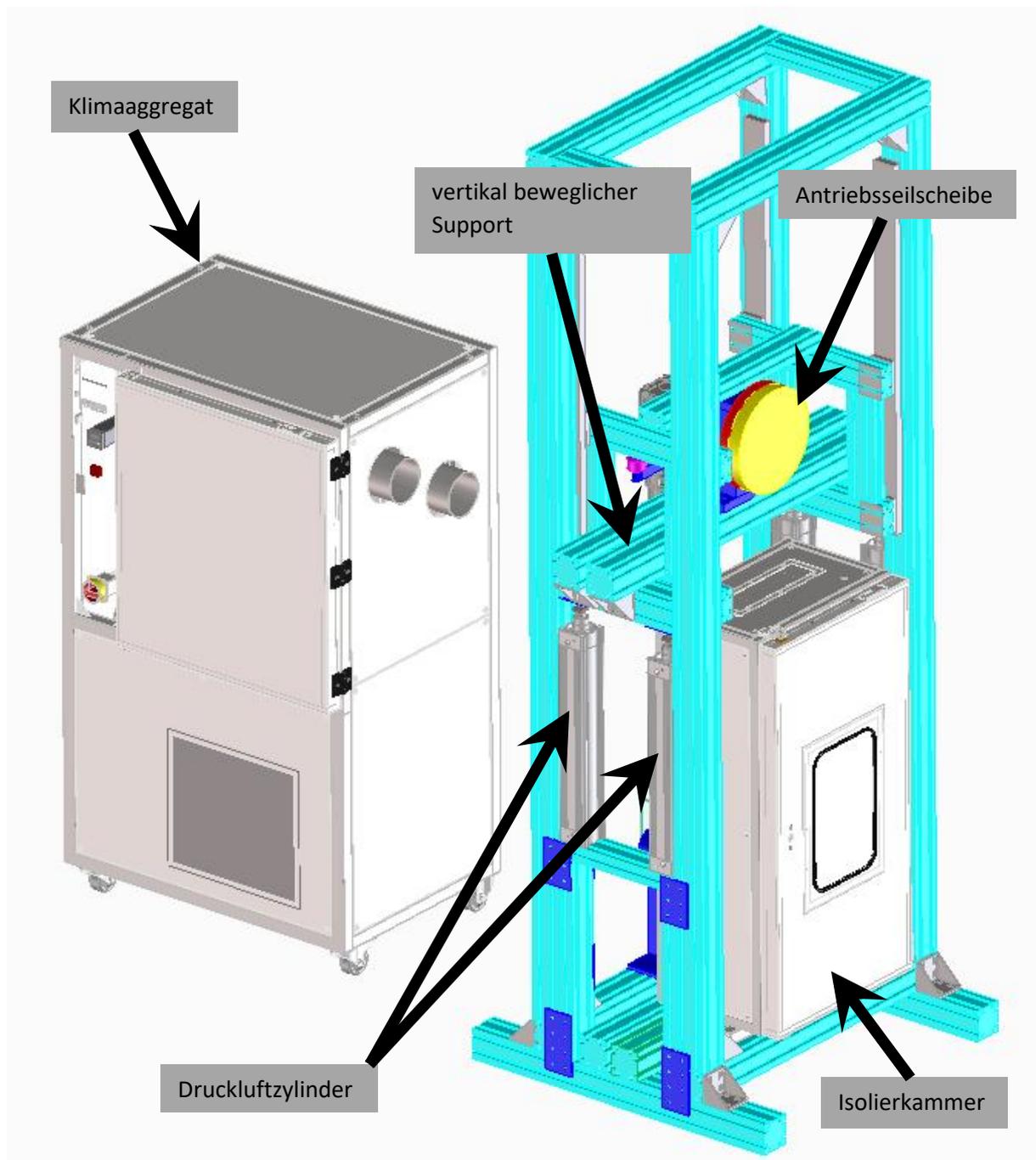


Abbildung 4: Gesamtentwurf des Prüfstandes mit Isolierkammer und Klimaaggregat

Die Konzipierung sowie die Entwicklung der Kälteanlage sowie der isolierten Prüfkammer erfolgten in Leistung Dritter.

4. Herstellung und Montage des Versuchstandes zur Tieftemperatur-Dauerbiegewechselprüfung

Zunächst wurden die benötigten Bauteile und Komponenten hergestellt. Danach erfolgte die Montage der Baugruppen und Komponenten des Versuchstandes sowie die

Endmontage des Versuchstandes im Technikum des STFI. Dabei wurden auch die erforderlichen Energie- und Medienanschlüsse herangeführt. Nach der Endmontage des Prüfversuchsstandes im Technikum des STFI erfolgte dessen Inbetriebnahme. Dazu wurden erste Prüfversuche gefahren (siehe Abbildung 5).



Abbildung 5: Endmontage des Prüfversuchsstandes im Technikum des STFI

5. Dauerbiegewechselprüfversuche bei Tieftemperaturen zur Verifizierung der Prüftechnologie

Nach der Inbetriebnahme des Prüfversuchsstandes konnte mit den Versuchsreihen zur Verifizierung der entwickelten Prüftechnologie und des realisierten Prüfversuchsstandes begonnen werden. Dafür wurden zunächst Faserseilproben aus Technora®, Vectran™ und Dyneema® hergestellt. Die nachfolgende Tabelle 1 enthält eine Übersicht der Prüfmuster und der relevanten technischen Parameter.

Tabelle 1: Herstellungsparameter der Faserseilproben

| Prüfmuster | Material | Durchmesser | Flechttyp | Flechtlänge | U/min | Fäden pro Litze |
|------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------|-----------------|
| 1 | Technora® | 5,9 mm | 12 / 2-1 | 36 mm | 24,3 | 11 |
| 2 | Vectran™ | 5,7 mm | 12 / 2-1 | 36 mm | 24,3 | 11 |
| 3 | Dyneema® | 5,8 mm | 12 / 2-1 | 36 mm | 25,8 | 7 |

Danach wurden die entsprechenden Versuchsreihen zur Prüfung der Biegegewecheelfestigkeit der jeweiligen Faserseilprüfmuster durchgeführt. Dazu wurden die Proben auf den Prüfversuchsstand gebracht und die Versuche gestartet (siehe Abbildung 6).

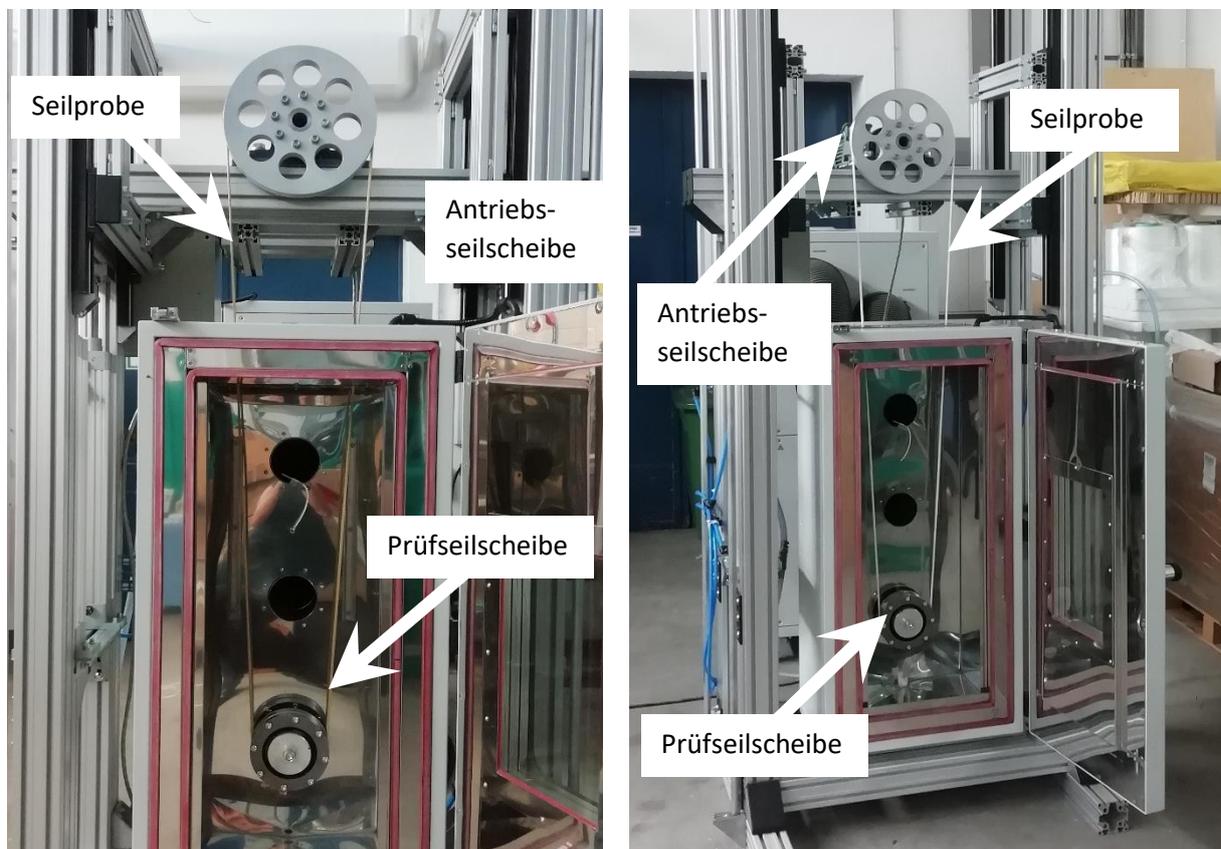


Abbildung 6: Faserseilprobe aus Technora® (links) und aus Dyneema® (rechts) bei 25 °C

6. Erste Versuchsergebnisse

Um die Dauer der Verifizierungsversuche für die jeweiligen Proben abzukürzen, wurden die einzelnen Proben nicht bis zum Versagen mit Prüfzyklen beaufschlagt. Die Faserseilproben aus Technora®, Vectran™ und Dyneema® wurden bei einer jeweils gleichen Belastung von 10 kN einer jeweils gleichen Prüfdauer von 8 Stunden unterzogen. Diese Versuchsreihen wurden sowohl bei einer Temperatur von 25 °C als auch bei -30 °C durchgeführt. Somit wurde an den Faserseilproben durch die Biegewechselversuche eine Faserschädigung infolge der inneren Seilreibung und des dadurch auftretenden Verschleißes an den einzelnen Fasern hervorgerufen. Anschließend wurden die Faserseilproben auf die jeweils ertragbare Restbruchkraft geprüft. Dafür wurden die Seilproben jeweils einem Zugversuch nach DIN ISO 2307 unterzogen. Versuchsreihen, bei welchen die Proben der Biegewechselbelastung jeweils bis zum Bruch ausgesetzt sind, werden im Rahmen der Überführung der Projektergebnisse in ein industrietaugliches Prüfverfahren durchgeführt und die dann gewonnenen Ergebnisse entsprechend abgeglichen.

In Gegenüberstellung zu den Proben ohne Biegewechselbelastung, konnte bei allen Faserseilproben aus Technora® und Vectran™ nach der Versuchsdurchführung auf dem Biegewechselprüfversuchsstand eine signifikante, optisch sichtbare Schädigung der Fasern festgestellt werden (siehe Abbildung 7). Im gegenüberstellenden Vergleich zwischen Faserseilproben Technora® und Vectran™, welche bei 25°C einer Biegewechselbelastung unterzogen wurden und Faserseilproben, welche bei -30°C einer Biegewechselbelastung unterzogen wurden, konnten hingegen keine signifikanten Unterschiede bezüglich dieser optisch sichtbaren Schädigung der Fasern beobachtet werden. Es wird davon ausgegangen, dass der Grund dafür die verkürzte Zeitdauer der Biegewechselprüfversuche ist.



Abbildung 7: Seilprobe aus Vectran™ ohne Biegewechselbelastung (oben) und nach einer Biegewechselbelastung (unten)

Im Ergebnis der Biegewechselprüfversuche an Seilproben aus Dyneema[®], trat keine optisch sichtbare Faserschädigung auf. Das Erscheinungsbild der Dyneema[®]-Proben (nicht in Abhandlung enthalten) lässt jedoch den Schluss zu, dass es infolge der Biegewechselbeanspruchung unter der Prüflast von 10 kN zu einer Verreckung der Fasern der Seilproben gekommen ist. Es wird davon ausgegangen, dass signifikante Faserschädigungen infolge von Biegewechselbelastungen bei Faserseilproben aus Dyneema[®] erst nach einer längeren Versuchsdauer auftreten.

Nach der Durchführung der Biegewechselversuche wurde die Faserseilproben auf die jeweils ertragbare Restbruchkraft geprüft. Dafür wurden die Seilproben jeweils einem Zugversuch nach DIN ISO 2307 unterzogen. Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt das Kraft-Dehnungsdiagramm einer Faserseilprobe aus Technora[®] ohne Biegewechselbeanspruchung.

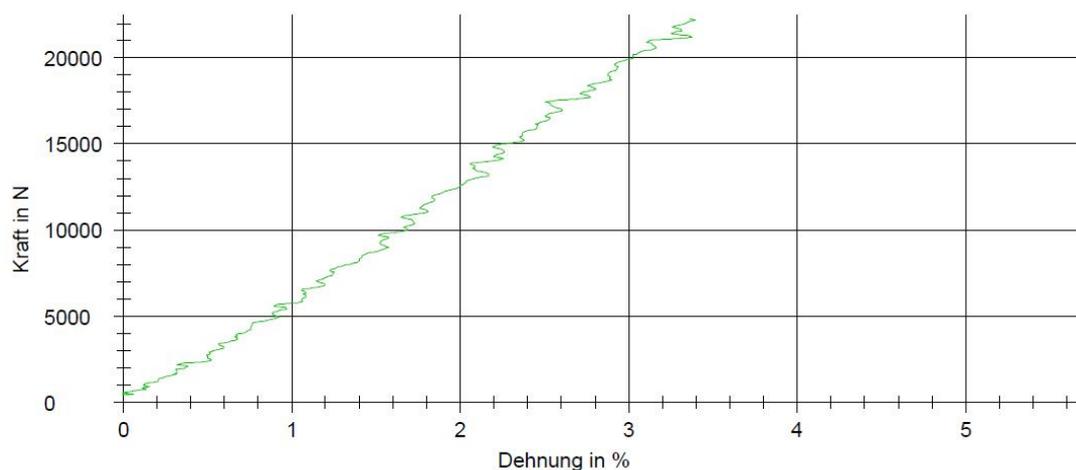


Abbildung 8: Kraft-Dehnungsdiagramm einer Faserseilprobe aus Technora[®] ohne Biegewechselbeanspruchung

Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt das Kraft-Dehnungsdiagramm einer Faserseilprobe aus Technora[®] nach Biegewechselbeanspruchung bei einer Temperatur von 25 °C und einer Prüflastung von 6 kN.

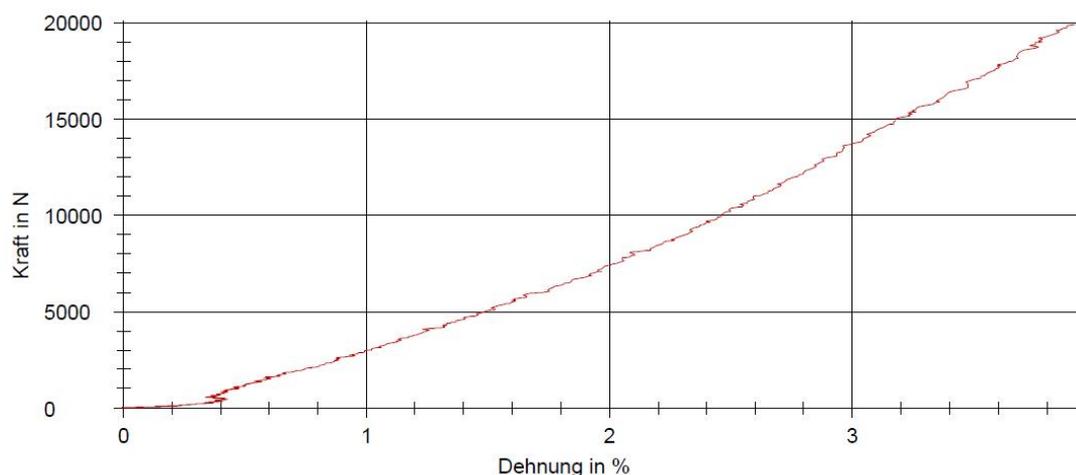


Abbildung 9: Kraft-Dehnungsdiagramm einer Faserseilprobe aus Technora[®] nach einer Biegewechselbeanspruchung bei 24 °C und einer Prüflastung von 6 kN

Die nachfolgende Tabelle 2 enthält die jeweils ermittelte durchschnittliche Restbruchkraft der Faserseilproben aus Technora[®], Vectran[™] und Dyneema[®] ohne eine vorherige Biegewechselbelastung und nach einer Biegewechselbelastung bei einer Prüfbelastung von 10 kN und Prüftemperaturen von 25 °C sowie -30 °C.

Tabelle 2: Durchschnittliche Bruchkraft bzw. Restbruchkraft von Faserseilproben

| Prüf- muster | Material | Durch- messer [mm] | Biege- wechsel- prüflast [kN] | Biege- wechsel- temp. [°C] | Biege- wechsel- dauer [h] | Rest- bruch- kraft [kN] |
|-----------------|-----------------------|--------------------------|--|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Technora [®] | 5,9 | 0 | - | 0 | 32,64 |
| 1 | Technora [®] | 5,9 | 10 | 25 | 8 | 17,52 |
| 1 | Technora [®] | 5,9 | 10 | -30 | 8 | 18,84 |
| 2 | Vectran [™] | 5,7 | 0 | - | 0 | 35,28 |
| 2 | Vectran [™] | 5,7 | 10 | 25 | 8 | 33,48 |
| 2 | Vectran [™] | 5,7 | 10 | -30 | 8 | 34,80 |
| 3 | Dyneema [®] | 5,8 | 0 | - | 0 | 28,20 |
| 3 | Dyneema [®] | 5,8 | 10 | 25 | 8 | 30,72 |
| 3 | Dyneema [®] | 5,8 | 10 | -30 | 8 | 30,96 |

Bei den Faserseilproben aus Technora[®] und Vectran[™] konnte eine Abnahme der Restbruchkraft infolge einer Biegewechselbeanspruchung festgestellt werden. Die jeweils ermittelten durchschnittlichen Restbruchkräfte der untersuchten Faserseilproben aus Technora[®] und Vectran[™] bestätigen die optischen Erscheinungsbilder der Faserschädigungen an den Seilproben. Die Auswertung der durchschnittlichen Restbruchkraft der jeweiligen Faserseilproben aus Technora[®] und Vectran[™] lässt darüber hinaus den Schluss zu, dass die Faserschädigung infolge einer Biegewechselbelastung bei tiefen Temperaturen geringer ausfällt, als bei höheren Temperaturen. Dabei ist festzuhalten, dass die Unterschiede der jeweiligen durchschnittlichen Restbruchkräfte zwischen den Faserseilproben, welche einer Biegewechselbelastung bei 25 °C ausgesetzt waren und den Faserseilproben, welche einer Biegewechselbelastung bei -30 °C ausgesetzt waren, bezogen auf die jeweilige Bruchkraft von Proben ohne Biegewechselbelastung, für Technora[®]-Seilproben 4,04 % und für Vectran[™]-Seilproben 3,74 % betragen. Diese eher geringen Unterschiede zwischen den durchschnittlichen Restbruchkräften der Tieftemperaturproben und der Raumtemperaturproben wird durch die optischen Erscheinungsbilder der jeweiligen Faserseilproben gestützt. Das optische Erscheinungsbild sowie die jeweils ermittelten durchschnittlichen Restbruchkräfte der Faserseilproben aus Dyneema[®] lassen den

Schluss zu, dass die Dyneema®-Seilproben während der Biegewechselbelastung bei 10 kN einem Verreckungsprozess unterlagen. Die ermittelten durchschnittlichen Restbruchkräfte der Proben nach einer Biegewechselbelastung liegen jeweils höher als die durchschnittliche Bruchkraft der Seilproben ohne Biegewechselbelastung. Die durchschnittliche Restbruchkraft der Dyneema®-Seilproben, welche einer Biegewechselbelastung bei -30 °C ausgesetzt waren, ist höher als die durchschnittliche Restbruchkraft der Dyneema®-Seilproben, welche einer Biegewechselbelastung bei 25°C ausgesetzt waren.

7. Zusammenfassung

Die gesetzten Zielstellungen des Forschungsprojektes wurden erreicht. Die Grundlagen für die Technologie zur Prüfung der Dauerbiegewechselfestigkeit an Faserseilproben in einem Temperaturbereich von -30 °C bis 20 °C sowie für die entsprechend zugehörige Versuchsanlagentechnik wurden erfolgreich erarbeitet sowie ein entsprechender Prüfversuchsstand entwickelt und realisiert.

. Es wurden Faserseilproben aus Technora®, Vectran™ und Dyneema® bei einer jeweils gleichen Belastung von 10 kN einer jeweils gleichen Prüfdauer von 8 Stunden unterzogen. Diese Versuchsreihen wurden sowohl bei einer Temperatur von 25 °C, also bei der eingestellten Raumtemperatur des Technikums, als auch bei -30 °C durchgeführt. Somit wurde an den Faserseilproben durch die Biegewechselversuche eine Faserschädigung infolge der inneren Seilreibung und des dadurch auftretenden Verschleißes an den einzelnen Fasern hervorgerufen. Anschließend wurden die Faserseilproben auf die jeweils ertragbare Restbruchkraft geprüft. Dafür wurden die Seilproben jeweils einem Zugversuch nach DIN ISO 2307 unterzogen.

Gegenwärtig erfolgt die Überführung der entwickelten Prüftechnologie sowie der zugehörigen Anlagentechnik in ein industrietaugliches Prüfverfahren. Dabei werden auch weiterführende Versuchsreihen durchgeführt, bei denen die Proben der Biegewechselbelastung jeweils bis zum Bruch ausgesetzt sind.