

# Prüfung der mechanischen Zeitstandfestigkeit von Filamentgarn bei heterogenen Wirkpaarungen

Dr.-Ing. Enrico Putzke<sup>1\*</sup>, Dipl.-Ing. Thomas Hühnel<sup>1</sup>, Dipl.-Ing. Karline Großer<sup>1</sup>, Prof. Dr. Frank Ficker<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Materialwissenschaften, Hochschule Hof, Kulmbacher Straße 76, 95213 Münchberg, Deutschland

\* Correspondence: [enrico.putzke@hof-university.de](mailto:enrico.putzke@hof-university.de); Tel.: +49 9281-409-8623

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

© 2022 by E. Putzke et. al. 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.

---

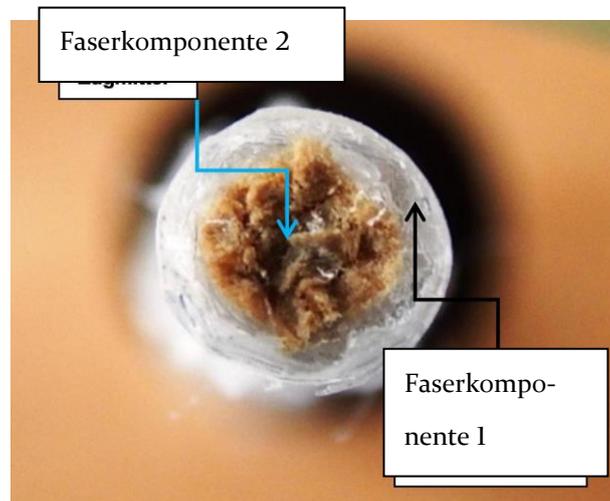
**ABSTRACT** Inhalt dieses Beitrages ist es, die Qualität und Eignung verfügbarer Mess- und Detektionstechnik im Zusammenhang mit der Garnprüfung darzustellen. Wie durch die Auswertung deutliche wurde, war es notwendig eine Konzipierung von Prüfständen und Prüfmethoden für neue Werkstoffe im Faserbereich und hybride textile Strukturen umzusetzen. Im Folgenden soll ein Prüfkonzept zur Garn / Garn Interaktion bei einer dynamischen, heterogenen Materialprüfung vorgestellt werden. Zur Ermittlung grundlegenden reibtechnischer Kennwerte wurden an den verschiedenen Fasermaterialien Dauerversuche bis zum Materialversagen durchgeführt. Nach den Vorversuchen zur Parametrisierung konnten sich die eigentlichen Reibversuchen zwischen Hochleistungs- und Massenfaser anschließen.

**KEYWORDS** Hochleistungsfasern, Reibung, Garn-auf-Garn, Amide, Multifilament, Polyamid, Polypropylen, Bruchzyklenzahl

## 1. Einleitung

Es kann festgehalten werden, dass besonders im Bereich der textilen Verbundwerkstoffe, die Forderung nach einem geringen Gewicht, bei gleichbleibend hohen Belastbarkeiten der Bauteile und Komponenten, zunimmt. Die, in diesem Zusammenhang, angebotenen Fasern sind in der Anschaffung kostenintensiv, da es zum Teil nur wenige oder nur einen Hersteller gibt und die Herstellungsverfahren zudem aufwendig sind. Die Durchdringung des Marktes wird aber nicht nur durch die Preisgestaltung oder Verfügbarkeit der unterschiedlichen Fasern begrenzt. Als Ausgangspunkt der vorliegenden Betrachtung wurden vielmehr Schwachstellen im Materialverhalten der Fasern selbst ausgemacht. So gilt unter Anwendern und Entwicklern z.B. der Verschleiß der Zug- und Tragmittel, bei Belastung auf Zug und Biegung, durch gegenseitiges Schädigen der Garne, als Haupthindernis zur weiteren Verbreitung von Zug- und Tragmitteln aus synthetischen Hochleistungspolymeren. Der hier angestrebte

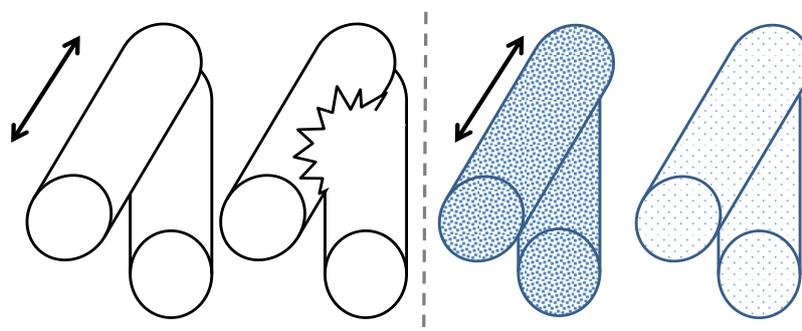
Lösungsansatz (vergl. Abbildung 1) mittels, in die Textilstruktur, implementierter und modifizierter Hilfsfasern soll dieses Materialverhalten verbessern. Zuvor ist es notwendig die Wissenslücke der Materialinteraktion auf Garnebene zu schließen.



**Abbildung 1:** modellhafter Zug- und Tragmittelaufbau am Beispiel Seil mit mehreren unterschiedlichen Fasern

## 2. Additive zur Modifizierung der Oberflächeneigenschaften

Die, für die vorliegende Problematik (mechanischen Zeitstandfestigkeit von Filamentgarn bei heterogenen Wirkpaarungen), interessante Wirkstoffgruppe sind die äußeren im Polymer (teil)unverträglichen Additive. Diffusionsprozesse sind es, die dazu führen, dass die Wirkstoffe während und nach der Verarbeitung an die Oberfläche des Kunststoffformteiles gedrängt werden. In Abbildung 2 wird der avisierte Unterschied im Reibverhalten von unbehandelten Garnen und solchen mit Gleitmitteladditiven versetzten Materialien dargestellt.



**Abbildung 2:** Garn-Garn Interaktion ohne Gleitmittel (a) und mit Depotwirkung (b)

Wichtige Vertreter der Gleitmittel sind die Fettsäureamide (FSA). Fettsäureamide sollen in der Blasfolienherstellung Gleit- und Antiblockeigenschaften an der Oberfläche bewirken. Womit dies einer möglichen Anwendung in thermoplastischen multifilen

Werkstoffen nahe kommt. Durch die Kombination der chemisch bedingten Unverträglichkeit mit der Polymermatrix und einer genügend hohen Zugabe zeichnen sich die FSA durch eine Reservoirwirkung aus. Der Diffusionsvorgang setzt in der Regel bereits kurz nach Beendigung der Formgebung ein. Als Ergebnis der zuvor genannten Effekte migriert das Amid dann zu einem fein verteilten und nicht sichtbarer Film an die Oberfläche des Formteiles. Gebräuchliche Vertreter dieser Amide sind Erucamid (vergl. Abbildung 3) und Ölamid.

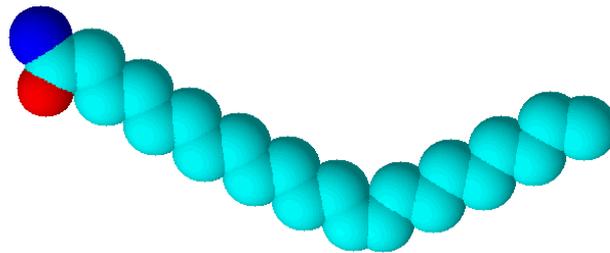


Abbildung 3: 3D Modell Erucamid

### 3. Auswahl der Versuchsmaterialien

Für die spätere Charakterisierung des mechanischen und reibtechnischen Verhaltens wurden, auf Seiten der Hochleistungsfasern, je eine Type der Fasern Vectran® (T150) und Technora® (T221) ausgewählt. Dem Ansatz der Arbeit folgend, wurden zur Ausrüstung mittels Additiven, die thermoplastischen Massenfaser aus Polypropylen und Polyamid 6 ausgewählt. Im Einzelnen wurden als Trägermaterial die Materialtypen Ultramid B27 (PA 6) und Moplen 462R (PP) verwendet. Die Tabelle 1 zeigt die Additivvarianten welche, dem Spinnprozess beider o.g. Massenfaser, zugesetzt wurden.

**Tabelle 1:** Übersicht Additivvarianten und Anwendungsgebiet

Bezeichnung	Wirkstoffklasse	Konzentration	Anwendung
Erucamid	Fettsäureamid	2 %	Gleitmittel
Crodamide ER	Fettsäureamid	2 %	Gleitmittel
Crodamide SR	Fettsäureamid	2 %	Anti - block
Crodamide BR	Fettsäureamid	2 %	Anti - block

### 4. Ermittlung der Zeitstandfestigkeit

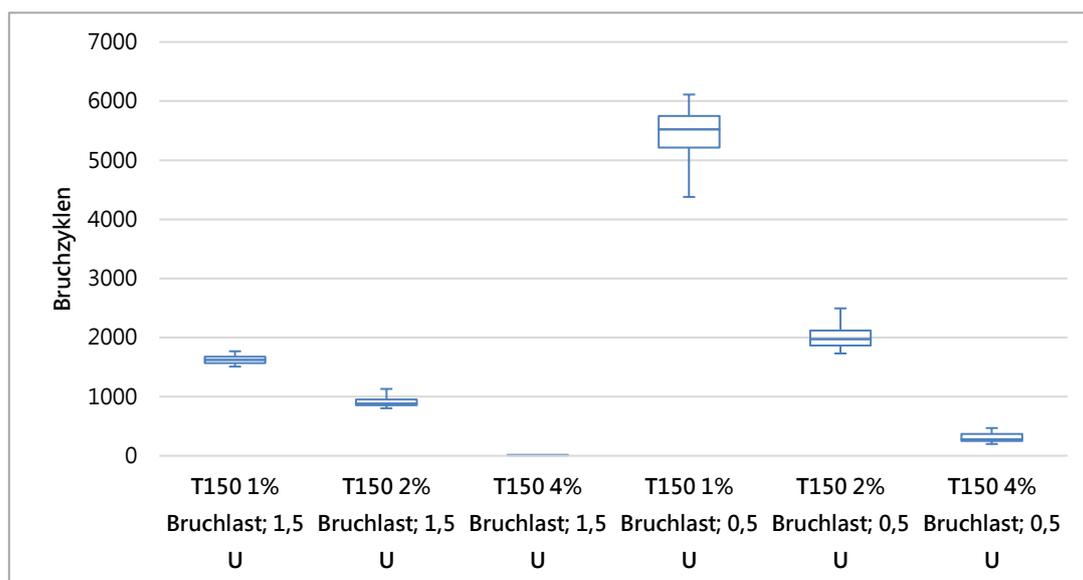
Im Rahmen dieser Untersuchung wurde das, in ASTM D 6611-00 beschriebene, Verfahren zur Untersuchung der Garn / Garn - Reibung in einem geeigneten Aufbau mit mechanischen, elektrischen und elektronischen Komponenten umgesetzt und gleichzeitig derart modifiziert, dass es nun möglich ist, unterschiedliche

Fasermaterialien in Wechselwirkung zueinander zu prüfen. Die für die späteren Materialuntersuchungen genutzte Apparatur ist in Abbildung 4 dargestellt.



**Abbildung 4:** Prüfstand für die Bestimmung der Bruchzyklenzahl

Nach den Vorversuchen zur Parametrisierung konnten sich die eigentlichen Messreihen anschließen. Zur Ermittlung grundlegender reibtechnischer Kennwerte wurden an den verschiedenen Garnmaterialien Dauerversuche bis zum Materialversagen durchgeführt. Die Abbildung 5 zeigt zunächst die entsprechenden Ergebnisse auf Seiten der Hochleistungsfaser Vectran® T150. Auf Seiten der Hochleistungsfasern kann festgehalten werden, dass sowohl Vectran® als auch Technora® in ihrem Materialverhalten eine Abhängigkeit von der Prüfkraft zeigen. So nimmt bei beiden Materialien die Zahl der ertragenen Lastwechsel mit zunehmendem Prüfgewicht ab. Wobei die geprüfte Type des Vectran®, im lastbezogenen Vergleich, hinter der Type von Technora® liegt.



**Abbildung 5:** Bruchzyklen von Vectran® T150

Als nächstes sollen die Auswirkungen der Additivierung der Polyamid- und Polypropylengarne betrachtet werden. Im Fokus dieser Untersuchung stand zunächst die Klärung der Frage, ob die zugesetzten Wirkstoffe, einen Einfluss auf die Zeitstandfestigkeit der Garne ausüben. Als Basis fungieren dabei die Werte der nicht modifizierten Ausgangsmaterialien. Die getesteten Garne sind jeweils ohne Schlichte oder Appretur ausgeführt, um einen möglichst direkten Einfluss, der oberflächenaktiven Wirkstoffe erfassen zu können. Im Falle des Polypropylens konnte mit allen Fettsäureamiden eine signifikante Erhöhung der Bruchzyklenzahl erreicht werden, wobei sich die Rezeptur unter Verwendung von Erucamid deutlich absetzt (vergl. Abbildung 6). Unter Beachtung der Bruchzyklenzahl, der nicht modifizierten Polypropylenvariante, war davon auszugehen, dass auch für Polyamid Steigerungsraten auszumachen sind. Dies konnte in den Versuchsreihen der additivierten Varianten nicht bestätigt werden. So sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Rezepturvarianten wenig ausgeprägt und es ist in einzelnen Fällen ein Abfall der Bruchzyklenzahlen unter den Wert der nicht modifizierten Variante zu beobachten. Die dabei beteiligten Fettsäureamide, Steramid und Behenamid, werden ihrer Funktion nach eher den Anti-block Mitteln zugeordnet. Ihre Wirkungsweise ist für die beaufschlagte Belastungssituation daher scheinbar nicht geeignet.

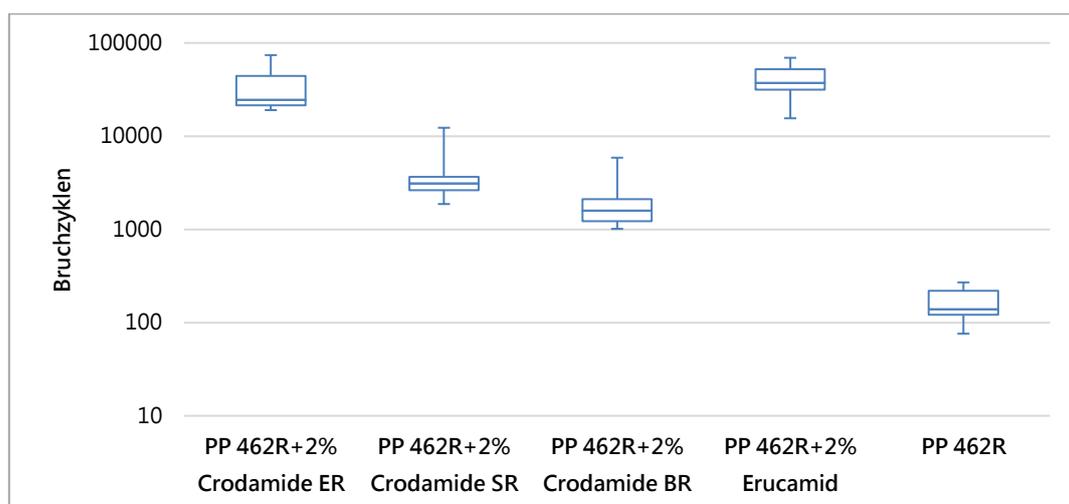
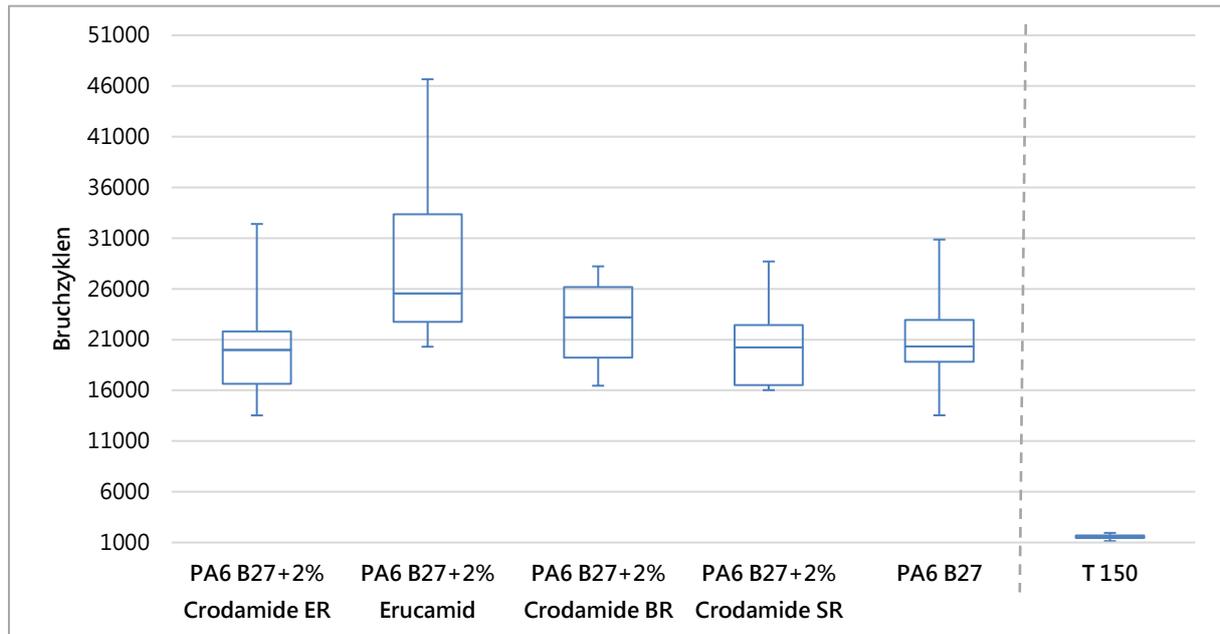


Abbildung 6: Bruchzyklenzahlen der unter 4 % BL getesteten PP Garne

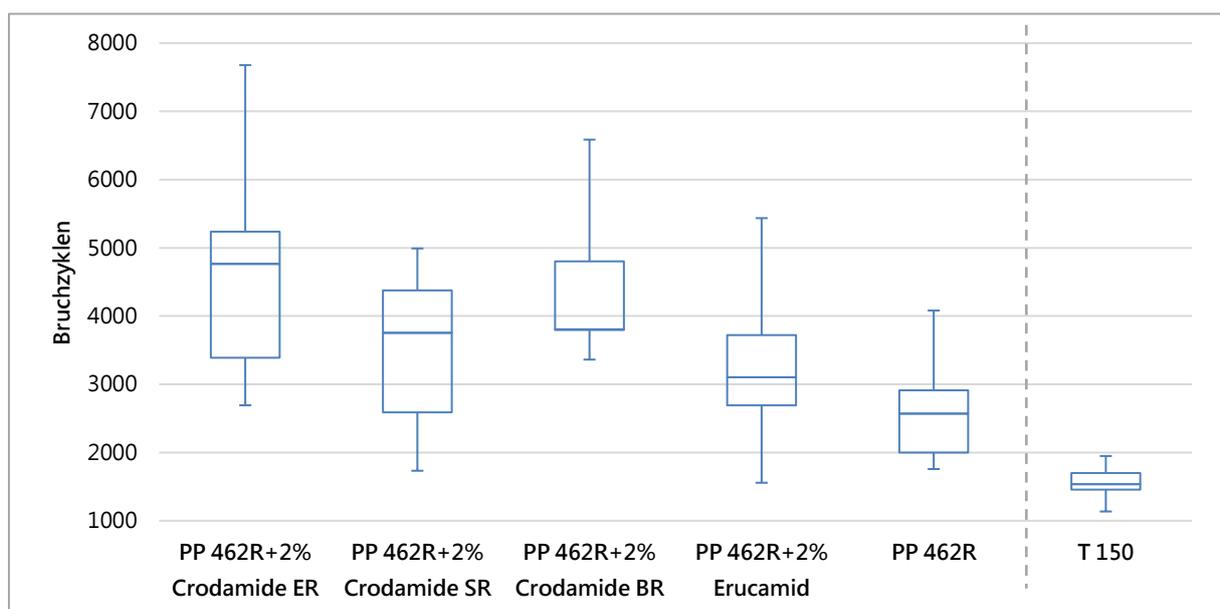
## 5. Zeitstandfestigkeit bei heterogenen Wirkpaarungen

Aus den Untersuchungen der Einzelgarnprüfung in homogenen Wirkpaarungen ist bekannt, dass die Hochleistungsfasern auf Basis aromatischer Polyamide und flüssigkristalliner Polymer, in dem Belastungskollektiv aus Reib- und Biegebeanspruchung, bereits bei geringen Prüfkraften nur wenige Bruchzyklen ertragen. Dem Ansatz dieser Arbeit entsprechend soll, im folgenden Schritt, die Entwicklung der Bruchzyklenzahl beim Austausch des Reibpartners betrachtet werden. In Abbildung 7 und Abbildung 8 sind die Bruchzyklenzahlen der heterogenen Wirkpaarung aus Vectran® und den Massenfäsern Polyamid und Polypropylen dargestellt. In dieser

heterogenen Materialpaarung kann insbesondere das Materialverhalten vom getesteten Vectran® verändert werden. Musste aus den homogenen Materialversuchen noch geschlussfolgert werden, dass die Technora® Faser für dieses Belastungskollektiv besser geeignet ist, konnten bei allen heterogenen Wirkpaarungen die Bruchzyklen von Vectran® wesentlich stärker und über das Niveau von Technora® gesteigert werden. Dies könnte bei einer geeigneten Kombination aus Vectran® und Hilfsfaser zu einer Ausweitung des Anwendungsbereiches führen, bei einem vergleichsweise niedrigen Präparationsaufwand.



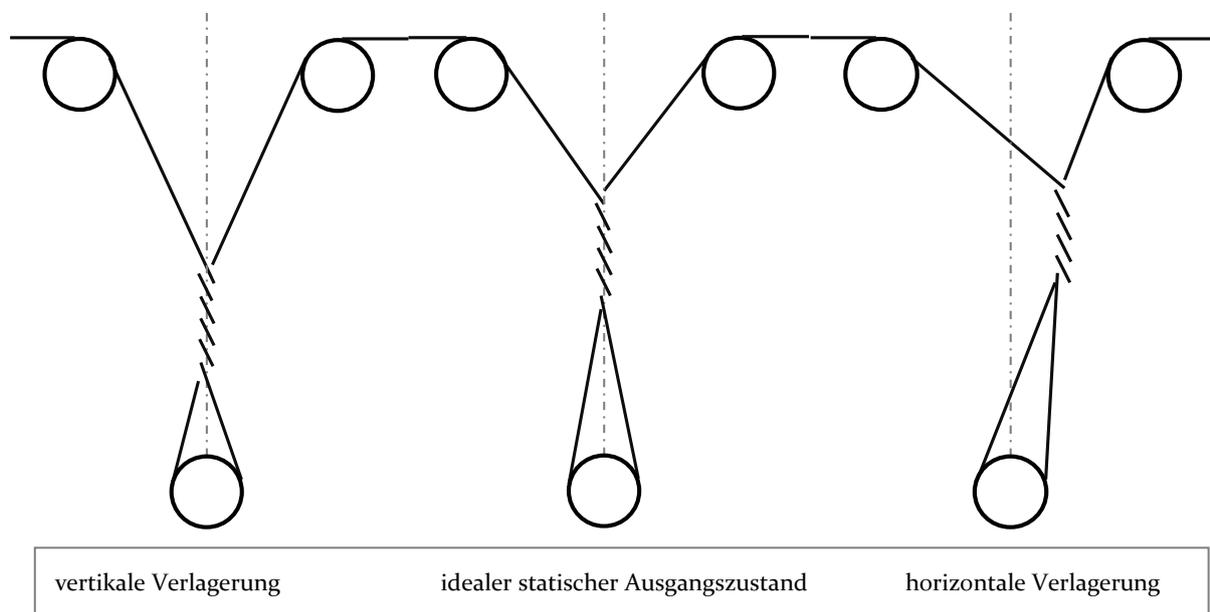
**Abbildung 7:** Bruchzyklenzahlen der Wirkpaarung Vectran® 2% BL // PA6 B27 8% BL, 0,5 U



**Abbildung 8:** Bruchzyklenzahlen der Wirkpaarung Vectran® 2% BL // PP 462R 8% BL, 0,5U

## 6. Ergebnisse

Wie bereits in den Punkten zur Versuchsdurchführung der Garn-auf-Garn Versuche erwähnt und auf Grund von Vorarbeiten begründet [2], können die Materialtests nur als in Anlehnung an die ASTM D 6611-00 aufgeführt werden. So soll an dieser Stelle angemerkt werden, dass der in der Normung skizzierte Garnverlauf, sich stark am statischen Zustand orientiert. So wurden im Verlauf dieser und in noch nicht veröffentlichter Arbeit beobachtet, dass sich im dynamischen Zustand dieser Garnverlauf und die geometrischen Verhältnisse am Überkreuzungspunkt bedeutend verändern können (vergl. Abbildung 9). Es wurde beobachtet, dass dieses Verhalten, zum Teil mit dem Verschleißverhalten der Garne in Verbindung steht. So tritt die Verlagerung der Wirkstelle besonders dann in den Vordergrund, wenn das Material z.B. zur Pill-Bildung neigt. Das sonst überlaufende oder übergleitende Garn verhängt sich dann an diesen Knoten und die Wirkstelle wird als Ganzes in ihrer Position verschoben, was beim Losreißen eines dieser Blockadestellen wiederum zu einem dynamischen Lasteintrag durch, die als Realmasse aufgebrachte, Prüfkraft führt. Bereits nach nur wenigen Bruchzyklen zeigte das verwendete Technora® Material dieses Verhalten, aber auch die lang-laufenden additivierten Hilfsfasern neigen zum Ende der Bruchzyklen zu diesem Verhalten.



**Abbildung 9:** Verlagerung der Wirkstelle im Betrieb des Garn-auf-Garn Tests

Zunächst könnte davon ausgegangen werden, dass der im vorherigen Abschnitt erwähnte unruhige Garnverlauf und die damit verbundenen Lastspitzen, zu einem früheren Versagen der Garne führen. In Auswertung der bisherigen Versuche kann diese Annahme nicht bestätigt werden, vielmehr muss vom gegenteiligen Fall ausgegangen

werden. Der rein optische Zustand der Garne lässt nur schwer auf deren ertragbaren Restbruchzyklen im Versuchsverlauf schließen. Eine Erklärung für dieses zunächst widersprüchliche Materialverhalten lässt sich zum Teil in der eigentlichen Reiblänge der Garne während der Versuchsdurchführung finden. So wurde beobachtet, dass sich der Interaktionsbereich der getesteten Faser von 50 mm auf bis zu 75 mm verlängert, was einer Steigerung von 50 % entspricht. Folglich erhöht sich auch der Bereich, der die Reibarbeit aufnehmen muss bzw. kann, um denselben Wert. Im Gegensatz dazu ist der Interaktionsweg einer Faser mit sehr ruhigem Garnverlauf während des Prüfvorganges wesentlich kürzer. Ein Beleg dafür ist auch die nur geringe Abweichung vom vorgegebenen Hubweg 50 mm auf lediglich bis zu 55 mm, bei modifizierten PA - Typen. Der für Hochleistungsfasern stark auftretende Garnabrieb konnte auch für die hier untersuchten Fasern beobachtet werden. Dieser Garnabrieb wird bei Zug- und Tragmitteln als Teil des Versagensmusters betrachtet, da sich dieser Abrieb im Zug- und Tragmittel anreichert, und als Abrasivmittel fungiert. Bei der Prüfung der mechanischen Zeitstandfestigkeit von Filamentgarn bei heterogenen Wirkpaarungen konnte festgestellt werden, dass es beiden Massenfasern gelingt die Zeitstandfestigkeit des Gesamtverbundes zu erhöhen. Dabei zeigte sich erneut, dass die Varianten mit Polyamid als Matrix, eine signifikantere Entwicklung zulassen. Neben der Ermittlung der Bruchzyklenzahl, ist beim Messaufbau für die heterogenen Wirkpaarungen, auch die Erfassung des Versagensortes von Bedeutung. So gilt wiederum für Polyamid, dass hier stets ein Bruch der Hochleistungsfaser erfolgte. Das Maximum an Bruchzyklenzahl konnte mit der Variante unter Zusatz von 2 w% Erucamid erzielt werden, die naturbelassene Variante steht dem aber nur gering nach. Im Fall von Polypropylen als Reibpartner von Technora® versagte zudem fortwährend zuerst das Polypropylengarn. Der, bei der homogenen Wirkpaarung beobachtet, Steigerungseffekt der additivierten Varianten gegenüber der naturbelassenen Variante ist hier nicht mehr feststellbar. Insbesondere die Versuche mit Polyamid verdeutlichen die kaum mit Verschleiß belegte Wirkstelle und somit die prinzipielle Richtigkeit des Ansatzes, dass ein Austausch des Reibpartners eine Verschiebung der Zeitstandfestigkeit des Verbundes auf Garnebene zulässt.

## 7. Diskussion

Dass es eine grundsätzliche Abhängigkeit des Verschleißverhaltens der Faserstoffe von deren polymeren Ausgangsstoffen gibt wurde bereits von Niehiporehik und Kaminskii untersucht [1]. Es wurde die Abriebbeständigkeit von Polyamid, Polyester und Polypropylen durch Verschlaufen mit sich selbst bestimmt. Dabei wurde für alle Fasern eine lineare Abnahme der Lastwechselzahl bei Erhöhung der Prüfkraft festgestellt, eine Beschreibung der Versuchseinrichtung und -bedingungen fehlen hierbei. Das, in textilen Zug und Tragmitteln oft verwendete, Polyester war hier um ein vielfaches schlechter im Zeitstandverhalten als Polyamid. Die Ursache hierfür wurde von den Autoren in einer hohen Steifheit des Materials ausgemacht. Als abschließender Schritt wurden die modifizierten Hilfsfasern in die Seilstruktur eingearbeitet. Auch die Verwendung der abgeänderten Garne in Form eines Zwischenmantels hat sich augenscheinlich bewährt. Die Modifizierung des Fasermaterials sollte vorzugsweise

anhand der zuvor erlangten Erkenntnisse am Einzelgarn umgesetzt werden, die notwendigen Additive sind dann in Masterbatchform einzuarbeiten gewesen. In dem Zusammenhang wurde geprüft, ob die Fertigung eines Materiales möglich ist, welches sowohl im Zwischenmantel, als auch als Hilfsfaser im Kern verwendet werden kann. Dass die Reibpaarung zwischen Hochleistungsfasern im Kern und dem Material des Zwischenmantels bereits sehr gut ist, belegt Abbildung 10: selbst nahe der Versagensstelle finden sich, nach einem Biegewechselstest bis zum Seilbruch, kaum Garnabriebspuren auf dem Mantel wieder.



**Abbildung 10:** Kontaktfläche HMHT-Kern zu Zwischenmantel (50x)

## 8. Zusammenfassung und Ausblick

Die in Aussicht gestellten Effekte durch das Einbringen von Gleitmitteladditiven in thermoplastisches Garnmaterial sind nur dann messtechnisch belegbar, wenn das Ausgangsmaterial in einer geeigneten Form vorliegt. Zu geringe Garnfeinheit in Verbindung mit der geringen Garnfestigkeit, machen die Materialien teilweise anfällig für vorzeitige mechanische Beschädigungen. Es wurden daher Anstrengungen umgesetzt, wonach entsprechende Massenfaser, für die weiterführenden Untersuchungen, mit einer genügenden Grundstabilisierung zur Verfügung standen. Nicht abschließend zu klären war das Verhältnis von Prüf- zu den Pausenzeiten für die unterschiedlichen Wirkpaarungen, was von den individuellen Eigenschaften der Matrix-Additiv-Kombination abhängig zu sein scheint. Aus den durchgeführten Untersuchungen kann resultierend festgehalten werden das folgende Grundanforderungen erfolgreich erfüllt werden konnten:

- Verwendung bekannter, in der Kunststoffverarbeitung erprobter Gleitmitteladditive, auch in thermoplastischem Multifilamentgarnen,
- teilweise signifikante Erhöhung der Zeitstandfestigkeit der Massenfaser in homogenen Wirkpaarungen durch den Zusatz von Gleitmitteladditiv,

- in Bezug auf die mechanischen Zeitstandfestigkeit von Filamentgarn bei heterogenen Wirkpaarungen konnte mit Polyamid eine Steigerung der Bruchzyklenzahlen um ca. 300 % erzielt werden. Wird Polypropylen als Reibpartner verwendet kann im günstigsten Fall eine Steigerung der Bruchzyklenzahl um ca. 225 % erreicht werden,
- Umsetzung einer Prüfvorrichtung (Garnabrasionsprüfstand) für die Bestimmung der Bruchzyklenzahl voneinander unterschiedlicher (heterogener) Garne.

Neben der Materialentwicklung hat sich aber auch gezeigt, dass die Probenpräparation und die genutzten Prüfvorrichtungen selbst, weiterentwickelt werden müssen. So lassen sich der Moment und die Ursache des Garnbruches, nach dem aktuellen Prüfaufbau, nicht hundertprozentig zurückverfolgen. Als besonders kritisch wird die Detektion zu hoher Bruchzyklenzahlen durch die sogenannte Spleißbildung an der Bruchstelle angesehen. Auch ist die Handhabung besonders feiner Garne durch den hohen manuellen Eingriff bei Probenzuschnitt und -befestigung mit vorzeitiger Materialschädigung verbunden, was zu entsprechend längeren Rüstzeiten führt.

## References

- [1] L. Niehiporehik und V. Kaminskii, „PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES AND PROCESSING OF MAN-MADE FIBRES ABRASION FAILURE OF SYNTHETIC MONOFIL,“ *Khimicheskie Volokna*, Nr. 3, pp. 55-56, May-June 1977.
- [2] E. Putzke, Untersuchungen von Polymermodifikatoren für deren Einsatz in synthetischen Fasern, T. Chemnitz, Hrsg., Chemnitz, 2011.
- [3] J. Olsen, „Frictional Behavior of Textile Yarns,“ *Textile Research Journal*, p. 91 ff, Januar 1969.