

## SEV – ENTWICKLUNG EINER SEILENDVERBINDUNG AUS HOCHFESTEM FASER-MATERIAL MITTELS WARMUMFORMUNG FASERVERSTÄRKTER THERMOPLASTE

Projektleiter: Dipl.-Ing. (FH) Tobias Djoleff

Laufzeit: 10/17 – 03/20

### Ausgangssituation

Für traditionelle maritime Verankerungssysteme wie z. B. bei Bohrrinseln, zum Festmachen von Schiffen und für ozeanografische Anwendungen werden traditionell Seile aus Stahldraht oder Polyesterfasern eingesetzt. Mit zunehmender Wassertiefe erreichen diese Materialien jedoch schnell ihre technischen Grenzen. Erschwerend kommt hinzu, dass nur wenige Materialien die benötigte Kombination aus mechanischen Eigenschaften, Preis und vorhandener Produktionskapazität aufweisen, um für den kommerziellen Einsatz geeignet zu sein. Aramidfasern führen aufgrund ihrer hohen Steifigkeit sowie Temperaturbeständigkeit zu einer Eigenschaftsverbesserung der Verankerungssysteme. Dem gegenüber stehen Nachteile der traditionellen Seilherstellung (Flechten, Verseilen). Der größte Nachteil besteht jedoch in der Notwendigkeit, Endverbindungen durch Spleißen herzustellen. Spleiße lassen sich nur bedingt konfektionieren und benötigen für die Herstellung ausgebildetes Fachpersonal.

### Forschungsziel

Ziel des Forschungsprojektes war die Entwicklung einer neuartigen SeilEndVerbindung aus hochfestem Fasermaterial mittels Warmumformung faserverstärkter Thermoplaste. Die Endverbindung soll eine automatisierbare Herstellungstechnologie ermöglichen und den besonderen Belastungsbedingungen maritimer Anwendungen gerecht werden. Dazu müssen zunächst Matrixmaterialien auf ihre Anwendungseignung geprüft sowie die Materialpaarungen mit der bestmöglichen Faser-Matrix-Haftung entwickelt werden. Die größte Kraftübertragung zwischen Matrix und Faserseil kann nur dann erzeugt werden, wenn die Flechtstruktur des Seils aufgebrochen wird, sodass die Fasern parallelisiert und gestreckt in der Matrix eingebettet sind. Zur reproduzierbaren Herstellung der Seilstruktur soll eine Musteranlage mit Modulen entwickelt und umgesetzt werden.

### Forschungsergebnis

Die entwickelte Herstellungstechnologie vereint die Fertigungsverfahren Ur- und Umformen. Als ein klassischer Vertreter des Urformens ist das Pressformen ein diskontinuierliches Verfahren, bei welchem meist duroplastische Pressmassen in Pulver oder tablettierter Form zum Einsatz kommen. Beim Thermoformen werden thermoplastische Halbzeuge unter erhöhter Temperatureinwirkung zu Formteilen verarbeitet. Thermoplastische Halbzeuge werden mit Hilfe von Druck und Temperatur zum Fließen gebracht. Durch die Verwendung von vorkonfektionierten Matrixhalbzeugen können Fertigungsfehler wie die Über- bzw. Unterdosierung von Matrixmaterial bei der Endverbindungsherstellung vor Ort vermieden werden.

Die Endverbindung wurde in Varianten mit unterschiedlichen, definierten Öffnungswinkeln hergestellt und Zugprüfungen unterzogen. Die Endverbindung mit einem Faseröffnungswinkel von  $34^\circ$  hatte eine Zugfestigkeit von 92 % im Vergleich zur reinen Seilzugkraft. Diese Vorzugsvariante erfüllt im arithmetischen Mittel die Forderung einer Festigkeit von wenigstens 90 % der Seilbruchkraft. Zusätzlich wurden Dauerversuche mit Zug-Schwell-Belastung durchgeführt. Da für hochfeste Faserseile im Allgemeinen und für eine derartige Endverbindung im Speziellen kein einheitliches genormtes Prüfprogramm existiert, wurde die dynamische Dauerfestigkeit wie folgt definiert: Gefordert wird das Erreichen einer Grenzschwingspielzahl von  $3 \cdot 10^6$  Lastwechseln im Dauerschwingversuch sowohl bei einer zyklischen Zugkraft, welche zwischen 2,5 % und 30 % der statischen Mindestbruchkraft des Seiles sinusoidal alterniert, als auch bei zyklischen Zugkräften zwischen 10 % und 40 % der Seilmindestbruchkraft. In beiden Prüfscenarien gilt die Probe dann als dauerhaft, wenn diese nach Erreichen der Grenzschwingspielzahl in einem anschließend durchzuführenden quasistatischen Zugversuch eine Restbruchkraft von mindestens 80 % der statischen Seilmindestbruchkraft eines unbeanspruchten Seiles erreicht. Die Forderung einer Unterkraft von maximal 2,5 % der Seilmindestbruchkraft

charakterisiert dabei eine Belastung aus dem unbelasteten Zustand. Dies stellt einen Kompromiss dar, der der begrenzten Leistungsfähigkeit der Steuerungstechnik von kommerziellen Pulsatoren (Prüfmaschinen) Rechnung trägt. Um den Einfluss nicht zu prüfender Effekte zu minimieren, wird die Prüffrequenz auf maximal 5 Hz und die maximal zulässige Temperatur an der Seiloberfläche auf 50°C begrenzt. Angestrebt wurde darüber hinaus eine dynamische Dauerfestigkeit der entwickelten Endverbindung bei einer zyklischen Zugbeanspruchung zwischen 2,5 % und 50 % der Seilmindestbruchkraft.

Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Auszug der im Zug-Schwell-Versuch ermittelten Kenngrößen. In Testreihe 1 wurde die Abbruchschwingspielzahl erreicht und die Restbruchkraft lag im arithmetischen Mittel mit 83,34 % der Seilbruchkraft oberhalb des geforderten Schwellwertes. Diese Testreihe bildet das typische Einsatzspektrum laufender Seile ab, sodass hierfür eine hohe Eignung der Endverbindung nachgewiesen werden konnte.

Testreihe	Unterkraft $F_u$ in % von $F_B$	Unterkraft $F_u$ in % von $F_B$	Schwingspielzahl $N$ (arithmetisches Mittel)	Restbruchkraft in % von $F_B$ (arithmetisches Mittel)
1	2,5	30	$3 \cdot 10^6$	83,43
2	10	40	$3 \cdot 10^6$	68,85
3	2,5	50	604.520	-



Werkzeug der Gebrüder Ficker GmbH mit hergestellter Endverbindung

### Anwendung und wirtschaftliche Bedeutung

Die komplexen Effekte, die durch die Kombination der verschiedenen Materialien mittels eines verhältnismäßig komplexen Fertigungsprozesses entstehen, führen zu einer relativ starken Streuung der Ergebnisse. Es ist davon auszugehen, dass diese Streuung durch die weitere Erprobung des Fertigungsprozesses verringert werden kann. Das Versagen der Verbindung erfolgte teilweise im Austrittsbereich des Seiles, teilweise in der Endverbindung selbst. Für den aktuellen Entwicklungsstand wurde das faserverstärkte POM (Polyoxymethylen) der Endverbindung optimal hinsichtlich seiner Festigkeit dimensioniert. Weiteres Potenzial besteht hinsichtlich der elastischen Eigenschaften.

Potenzielle Anwendungsgebiete für diese Endverbindung bilden traditionelle maritime Anwendungen (Bohrinseln, Festmachen von Schiffen). Die Befestigungsseile können direkt vor Ort automatisiert konfektioniert werden.

### Projektpartner

- S&F Maschinen- und Werkzeugbau GmbH
- GEBRÜDER FICKER GMBH Formen- und Werkzeugbau
- Technische Universität Chemnitz, Professur Fördertechnik