

MASCHINENBAU

CHARAKTERISIERUNG VON MEERRETTICHFASERN FÜR DIE POTENTIELLE NUTZUNG IN NATURFASERVERSTÄRKTEN KUNSTSTOFFEN

Characterization of horseradish fibers for the potential use in natural fiber-reinforced polymers

Christopher Taudt*, Uwe Gieland, David Meyer, Holger Klose

Westfälische Hochschule Zwickau | Institut für Produktionstechnik | Dr.-Friedrichs-Ring 2a | D-08056 Zwickau

Eingegangen am 01.06.2012 ; Überarbeitet eingereicht am 27.01.2013

Reviewer: Jana Dörnchen-Neumann & Stefan Veigel | Verantwortlicher Redakteur: Wilfried Honekamp | Lektorat: Nikola Wiegeler

Zusammenfassung

Der Einsatz von naturfaserverstärkten Kunststoffen (NFK) bei der Herstellung von Fahrzeugteilen, insbesondere im Bereich des Fahrzeugexterieurs und -interieurs, hat in den letzten Jahren beständig zugenommen.

In der vorgestellten Arbeit wird die Suche nach Alternativen zu bekannten Naturfaserarten vorgeschlagen und mit Fasern aus der Sprossachse der Meerrettichpflanze (*Armoracia rusticana*) eine ausgewählte Faserart untersucht. Durch einen entsprechenden Faseraufschluss konnten Faserbündel mit einem Anteil von ca. 10 % extrahiert werden. Diese bestehen aus einer Ansammlung vielzähliger Einzelfasern. Diese Einzelfasern weisen ein ausgeprägtes Faserlumen (Durchmesser ca. 20 μm) bei einer vergleichsweise geringen Wandstärke von ca. 2 μm auf. Die Feinheit von aufgeschlossenen Faserbündeln beträgt 22,6 tex, während die Dichte der Faserbündel (inklusive Lumen) 0,6 g cm^{-3} beträgt. Durch Zugversuche an derartigen Faserbündeln konnte eine Zugfestigkeit von 26,9 cN tex^{-1} und eine maximale Dehnung von 1,89 % ermittelt werden.

In einer abschließenden Diskussion wird anhand dieser charakteristischen (mechanischen) Eigenschaften eine Einschätzung zur potentiellen Nutzung der Meerrettichfasern für den Einsatz als Verstärkungskomponente in Verbundkunststoffen getroffen. Es wird auf mögliche weitere Untersuchungs- sowie Anwendungsfelder dieser Faser eingegangen.

Schlüsselwörter: *Armoracia rusticana* | Fasercharakterisierung | regionale Naturfasern | alternative Naturfaserarten

Abstract

The application of natural fiber-reinforced polymers (NFRP) as in the design of automotive exterior and interior parts has made significant progress in recent years.

In preparation of this work alternatives to known natural fibers have been sought. In consequence fibers from the stem of the horseradish plant (*Armoracia rusticana*) were chosen and investigated. It could be found, that usable fiber bundles exist in nearly 10 % of the stem which also accomodate numerous single fibers. These single fibers persist

of a distinct lumen (approx. diameter 20 μm) and a wall thickness of about 2 μm . The fineness of pulped fiber bundles is 22,6 tex while the density (including the lumen) calculates to 0,6 g cm^{-3} . Through tensile tests the mechanical properties could be measured as 26,92 cN tex^{-1} for the tensile strength and 1,89 % for the elongation at break.

During a final discussion, the fibers are judged in consideration of their potential use for fiber-reinforced composites, possible steps of further fiber characterization and some fields of application.

Keywords: *Armoracia rusticana* | fiber characterization | regional natural fibers | alternative fibers

Im Vergleich zu klassischen Konstruktionswerkstoffen gewinnen faserverstärkte Kunststoffe (FVK) vor allem im Fahrzeugbau sowie in der Luft- und Raumfahrtindustrie an Bedeutung (Ehrenstein, 2006). Dies ist vorrangig auf ihre guten, gewichtsbezogenen mechanischen Eigenschaften sowie die Möglichkeiten einer anwendungsgerechten Konstruktion und Werkstoffmodifikation zurückzuführen. Neben diesen Vorteilen existieren jedoch bei Herstellung und Recycling von Bauteilen aus FVK verschiedene Nachteile. Im Besonderen sind dies der teils hohe Energiebedarf bei der Herstellung von synthetischen Fasern (bspw. Kohlenstofffasern, siehe Suzuki T, 2005), die Gesundheitsschädlichkeit einiger eingesetzter Werkstoffe (z. B. Epoxidharze, siehe Lithner et al., 2011) sowie die schwierige Trennung von Faser- und Matrixwerkstoffen zur Wiederverwertung (Yang et al., 2012).

Eine Alternative zur Vermeidung der genannten Nachteile ist der Einsatz von FVKs auf Basis nachwachsender Rohstoffe (naturfaserverstärkte Kunststoffe(NFK)) und speziell die Nutzung von Pflanzenfasern als Verstärkungskomponente (Cristaldi et al., 2010). Diese sind einerseits nachwachsend und ermöglichen andererseits, je nach verwendetem Kunststoff, die Herstellung von teilweise oder vollständig biologisch abbaubaren Verbundwerkstoffen (Endres & Siebert-Raths, 2009). Durch verschiedene Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die für Verbundwerkstoffe relevanten Kennwerte von Naturfasern wie Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul oder Dichte technischen Anforderungen genügen und teilweise zur Substitution

*Kontakt: +49 375 536 1972, christopher.taudt@fh-zwickau.de

anderer Werkstoffe, wie zum Beispiel glasfaserverstärkter Kunststoffe, geeignet sind (Sedlacik, 2003).

Um möglichst viele technische Anforderungen mit Hilfe dieser Werkstoffgruppe zu erfüllen, wird die Untersuchung bisher technisch ungenutzter Naturfasern bezüglich ihrer mechanischen Eigenschaften notwendig. Dementsprechend wird im Rahmen dieser Arbeit die Untersuchung der Fasern aus der Meerrettichpflanze (*Armoracia rusticana*) durchgeführt. Nach dem Aufschluss von Faserbündeln aus der Sprossachse der Pflanze werden die Dimensionen der Faserbündel sowie der darin enthaltenen Einzelfasern bestimmt. Außerdem erfolgt die Ermittlung der Dichte, der Faserfeinheit sowie der Bruchdehnung und Zugfestigkeit. In einer abschließenden Betrachtung werden die Ergebnisse in Hinblick auf die potentielle Nutzung der Fasern in NFKs diskutiert.

HINTERGRUND

Naturfasern werden im Bereich NFK sowohl als Kurz-/Lang- oder Endlosfasern als auch in Form von textilen Halbzeugen (z.B. Gewebe, Gelege, Vliese) eingesetzt. Aufgrund ihrer Eigenschaften, der Verfügbarkeit und des Preises werden vorrangig Bastfasern wie Hanf- und Flachfasern, teilweise auch Sisal-, Ramie- oder Kenaffasern genutzt (Herrmann et al., 1998). Im Sinne der anwendungsorientierten Konstruktion und nachhaltigen Ressourcennutzung gibt es vermehrt Bestrebungen, die Zahl der nutzbaren Naturfaserarten zu erweitern und damit möglichst die diversen Anforderungen des modernen Leichtbaus zu erfüllen (Mohanty et al., 2005). Bei der Suche nach alternativen Faserarten können neben den gewünschten Eigenschaften verschiedene andere Faktoren ausschlaggebend sein. So ist die Suche im regionalen Umfeld (Deutschland) sinnvoll, da somit sowohl eine Stärkung des jeweiligen Wirtschaftsraums erfolgen kann, als auch kurze Wege bei der Verarbeitung entstehen. Somit sind Zeit- und Energieeinsparungen in hohem Maße möglich. Darüber hinaus birgt die Verwendung bisher ungenutzter Pflanzenteile als Quelle zur Fasergewinnung ein großes Nachhaltigkeitspotential, da beispielsweise bei der Nahrungsmittelproduktion entstehender Abfall einer Nutzung zugeführt werden kann beziehungsweise ein Anbau von Pflanzen für technische Zwecke nicht anderen Zwecken (z.B. Ernährung) vorgezogen werden muss (Mohanty et al., 2005).

Eine Pflanze, welche die genannten Aspekte erfüllt, ist die Meerrettichpflanze. Zum einen ist die Pflanze mit einer Anbaufläche von circa 300 ha zum Beispiel in Bayern, Brandenburg und Baden regional verfügbar.¹ Zum anderen wird bisher im Wesentlichen die Wurzel der Pflanze in der Lebensmittelindustrie sowie in der pharmazeutischen Industrie genutzt (Dalmazzo & Santana-Lemos, 2011). Die Sprossachse der Pflanze, welche Fasern beinhaltet, verbleibt hingegen nach der Ernte auf dem Feld (Helmholz, 2006). Diese Sprossachse ist zum Erntezeitpunkt pro Wurzel jeweils mehrzählig (5-8 Stk.) vorhanden und beherbergt auf einer Länge von 60 bis 150 cm Fasern.

Die Anzahl und Eigenschaften dieser Fasern müssen ermittelt werden, da sie bisher nicht bekannt sind.

MATERIAL UND METHODEN

Die Sprossachsen zur Gewinnung der Meerrettichfasern wurden im November 2011 im Bereich Ragow/Spreewald (Brandenburg, Deutschland) geerntet. Die Gewinnung der Fasern erfolgte durch die Kombination einer mehrtägigen Wasser- röste mit anschließendem mechanischen Aufschluss. Hierbei wurden die Sprossachsen halbiert und sieben Tage in einem Wasserbad (Temperatur 23° C) gelagert. Nach Ablauf der Röstzeit wurden die Faserbündel zunächst gespült, um lose Bestandteile abzulösen und danach mittels eines eigens hergestellten Aufbaus aus gegenläufig rotierenden Bürsten von den noch vorhandenen Pflanzenteilen separiert. Anschließend erfolgte eine Trocknung bei Raumtemperatur (3 Tage). Die Faserbündel wurden nach dem Aufschluss dauerhaft bei 23 °C und einer Luftfeuchte von ca. 60 % gelagert. Die Durchführung aller Versuche erfolgte bei vergleichbaren Bedingungen.

Die Faserfeinheit der derartig aufgeschlossenen Faserbündel wurde mit Hilfe der gravimetrischen Feinheitsbestimmung durchgeführt. Bei dieser Methode wird eine konkrete Anzahl Faserbündel N mit definierter Länge l ausgewogen. Anhand der bestimmten Masse m kann anschließend die gravimetrische Feinheit gf in tex errechnet werden (Müssig, 2001):

$$gf = \frac{m}{N \cdot l} \quad (I)$$

Bei den durchgeführten Versuchen betrug die Länge der Faserbündel durchweg 20 mm, wobei 1000 Proben ausgezählt und mit einer Feinwaage (Kern EW620-3 NM, Kern & Sohn GmbH, Balingen, Deutschland) gewogen wurden.

Außerdem erfolgte ein Einbetten von Sprossachsen und Faserbündeln in kreisrunden Probenträgern durch eine kalt- härtende Epoxidharzvergussmasse. Die Probenpräparation für die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen (JEOL JSM-840A, Jeol Ltd., Tokyo, Japan) erfolgte anschließend durch einen mehrstufigen Nassschleifprozess (Körnungen 400, 600 und 1000 jeweils für 3 min. mit anschließender Reinigung) an motorisierten Schleiftellern. Abgeschlossen wurde die Präparation durch einen 5-minütigen Polierprozess (3 µm Polierlösung; Buehler Automet, Lake Bluff, USA) und die Abscheidung von Gold auf der polierten Oberfläche.

Anhand der mikroskopischen Aufnahmen wurden mit Hilfe einer Bildanalysesoftware (*fiji*, Schindelin et al., 2012)) in mehreren Schritten (Kontraststeigerung, Entrauschen, Schwellwertbildung, Flächenbestimmung durch *Analyze Particles*-Algorithmus) die morphologischen Kennwerte von 10 Faserbündeln und jeweils circa 100 Einzelfasern im Querschnitt bestimmt.

Aus den derart ermittelten Daten, im Speziellen aus der Fläche des Faserlumens A_{FLm} und der Wandstärke b_{Wm} , lässt sich der äquivalente Einzelfaserdurchmesser d_{EF} wie folgt bestimmen:

$$d_{EF} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{FLm}}{\pi}} + 2 \cdot b_{Wm} \quad (II)$$

Zur Berechnung der Dichte wurden die Mittelwerte der gemessenen Faserbündelflächen, die Länge der Faserbündel (aus der Feinheitsbestimmung) sowie deren Masse herangezogen.

¹ Mich, R. – persönliche Mitteilung, 2011

Daraus ergibt sich im Kontrast zur Rohdichte des Zellmaterials die Reindichte des Faserbündels (Rohdichte inkl. Lumen, Verunreinigungen oder möglichen Einschlüssen) zu:

$$\rho_{FB} = \frac{m}{A \cdot l} \quad (III)$$

Die Bestimmung einiger zur Auslegung von FVKs relevanter Kennwerte wie Zugfestigkeit und Bruchdehnung wurden durch Zugversuche an Faserbündeln in Faserlängsrichtung mit einer Einspannlänge von 20 mm bei einer Verfahrensgeschwindigkeit von 1 mm min^{-1} mittels Universalprüfmaschine (Zwick-Roell Z 100, Ulm, Deutschland; Kraftaufnehmer 100 N; Vorkraft 0,5 N; Traversenwegaufnehmer) durchgeführt. Hierzu wurden 50 Proben untersucht. Außerdem wurde die gravimetrische Feinheit jeder Probe vor dem Versuch bestimmt und durch die Zuordnung der jeweils im Zugversuch erreichten Höchstzugkraft (bei Probenbruch) wurde die Zugfestigkeit in cN tex^{-1} ermittelt. Die Methoden zur Feinheits-, Zugfestigkeits- und Bruchdehnungsbestimmung und die Ergebnisse für andere Faserarten sind Carus (2008) entnommen.

ERGEBNISSE

Fasermorphologie

In Abb. 1a ist der Querschnitt einer eingebetteten Meerrettichsprossachse dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Faserbündel im Außenbereich mehrzählig vorhanden und sichelförmig verteilt sind. Der Anteil der Faserbündel beträgt etwa 10 % im Verhältnis zur gesamten Querschnittsfläche.

Mit entsprechender Vergrößerung (hier 1000-fach) von eingebetteten Faserbündeln ist zu erkennen, dass diese aus einer Vielzahl der Einzelfasern mit einem ausgeprägten Faserlumen bestehen, Abb. 1b, und eine polygonale Kontur aufweisen (Schnegelsberg, 1999). Durch die Nutzung der Bildanalysesoftware konnten folgende morphologische Kennwerte von aufgeschlossenen Faserbündeln beziehungsweise Einzelfasern innerhalb der Faserbündel ermittelt werden, Tab. 1.

Tab. 1: Wesentliche, durch Bildanalyse bestimmte morphologische Kennwerte von Meerrettichfasern/-faserbündeln.

Eigenschaft	Wert
mittlere Faserbündelfläche $A_{FB,m}$	$0,047 \pm 0,005 \text{ mm}^2$
Einzelfaserlumenfläche $A_{FL,m}$	$50 - 350 \mu\text{m}^2$
mittlere Einzelfaserwandstärke $b_{W,m}$	$2,15 \pm 0,5 \mu\text{m}$

Als wesentliche Größen wurden hierbei die Querschnittsfläche der aufgeschlossenen Faserbündel, die Querschnittsfläche des Lumens einzelner Fasern sowie die durchschnittliche Wandstärke einzelner Fasern herangezogen. Während die Wandstärke bei allen untersuchten Fasern in einem engen Wertebereich liegt, tritt bei der Größe des Faserlumens eine deutliche Streuung auf. Diese Streuung übt folglich auch bei der Berechnung des äquivalenten Einzelfaserdurchmessers aus Wandstärke $b_{W,m}$ und Faserlumen $A_{FL,m}$ einen deutlichen Einfluss aus. Es ergibt sich der Wertebereich $d_{EF} = 10 - 24 \mu\text{m}$.

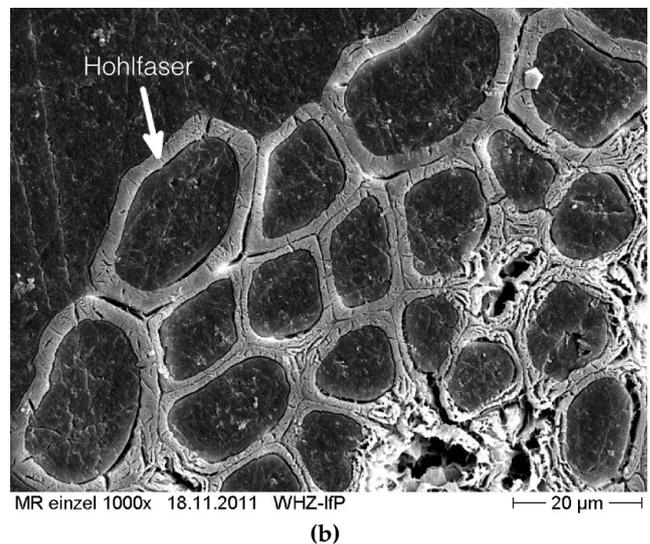
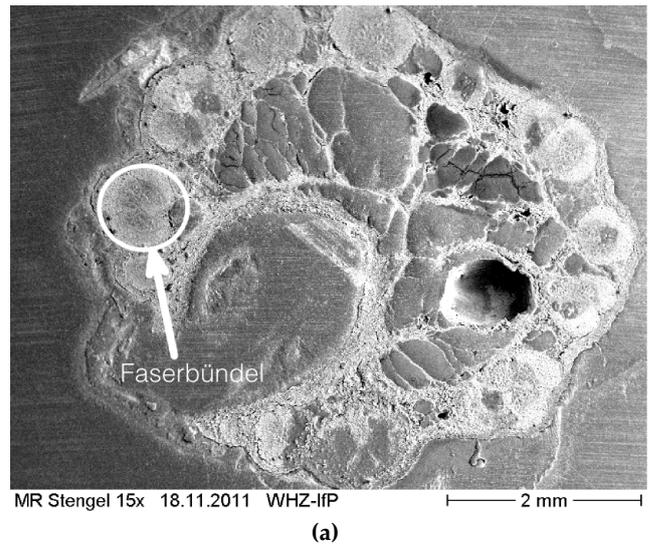


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des Querschnitts (a) einer Meerrettichsprossachse und (b) eines Meerrettichfaserbündelquerschnitts

Faserfeinheit und Dichte

Als Basisparameter zur späteren Ermittlung anderer Eigenschaften (z. B. Zugfestigkeit) wurde die Feinheit der aufgeschlossenen Faserbündel nach der gravimetrischen Methode bestimmt. Sie beträgt im Mittel $22,6 \text{ tex}$ bei einer Standardabweichung von $9,5 \text{ tex}$, Abb. 2a.

Die Berechnung der Dichte basiert, entsprechend der in Abschnitt *Fasermorphologie* ermittelten Werte, auf einer mittleren Masse pro Faserbündel von $0,57 \text{ mg}$, einer Länge von 20 mm und einer mittleren Querschnittsfläche von $0,047 \text{ mm}^2$. Es ergibt sich folglich die Dichte zu $0,6 \pm 0,15 \text{ g cm}^{-3}$, Abb. 2b.

Zugfestigkeit und Bruchdehnung

Zur Einschätzung der potentiellen Eignung der Meerrettichfasern als Bestandteil von NFKs dienten Zugversuche an

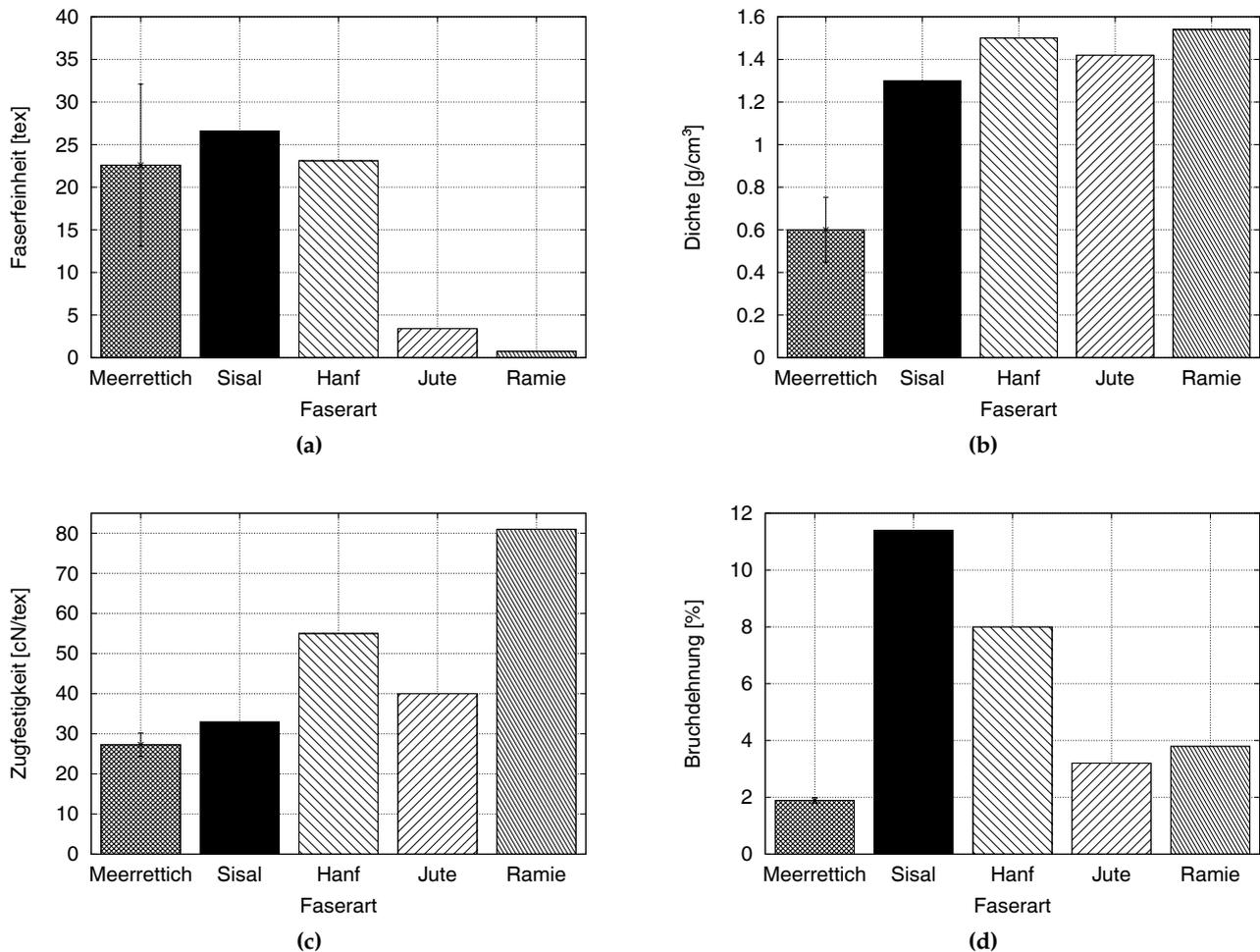


Abb. 2: (a) Mittlere Faserfeinheit, (b) mittlere Rohdichte, (c) mittlere Festigkeit ($n=50$) und (d) mittlere Bruchdehnung ($n=50$) von Meerrettichfasern im Vergleich zu anderen Naturfasern (Carus, 2008).

Faserbündeln. Die Ergebnisse der Versuche zeigen, dass die Zugfestigkeit $26,92 \text{ cN tex}^{-1}$ bei einer Standardabweichung von $3,7 \text{ cN tex}^{-1}$ beträgt, Abb. 2c.

Die Bruchdehnung der untersuchten Proben lag im Mittel bei $1,89 \% \pm 0,1 \%$, Abb. 2d.

DISKUSSION

Mit Hilfe mikroskopischer Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass nur etwa 10% einer Meerrettichsprossachse Fasern enthält. Die Berücksichtigung dieser Tatsache limitiert unter Umständen die Nutzung der Fasern, da unter Berücksichtigung der Anbaufläche von Meerrettich nur geringe Fasermengen zur Verfügung stehen. Im Vergleich zu Hanf ist die Anbaufläche mit 300 ha circa dreimal geringer (Nova-Institut-GmbH, 2009). Eine Möglichkeit, zusätzliche Faserressourcen zu erschließen, ist die Suche nach mit dem Meerrettich verwandten Fasern in der Gattung *Armoracia*. Auch eine Kombination mit anderen, bisher bekannten Faserarten ist vorstellbar.

Die Feinheit der untersuchten Faserbündel zeigte eine sehr große Streubreite, wobei der Wert auf dem Niveau von Faserarten wie Sisal und Hanf liegt. Da die Feinheit eine im Wesentlichen vom Faseraufschluss bestimmte Größe darstellt, ist die Optimierung des Aufschlussprozesses zur Verringerung der Feinheit zielführend. Dies ist sowohl für eine textile Weiterverarbeitung, als auch für die zu erwartenden mechanischen Eigenschaften erstrebenswert, da diese nachweislich mit größerer Feinheit zunehmen (Müssig et al., 2006).

Die Morphologie der Einzelfasern in den Faserbündeln unterscheidet sich von anderen Naturfasern. So ist der Durchmesser der Fasern zwar auf einem ähnlichen Niveau mit anderen Naturfasern (Baley, 2002), unterliegt allerdings einer sehr großen Streuung. Bei der Analyse der Mikroskopaufnahmen, bspw. Abb. 1, wird der Grund hierfür deutlich. Es ist zu erkennen, dass sich eine große Anzahl an Fasern mit kleinem Durchmesser im Zentrum der Faserbündel befindet. Einzelfasern mit einem vergleichsweise großen Durchmesser sind eher im Außenbereich der Faserbündel angeordnet. Diese Tatsache liegt im Vorhandensein unterschiedlicher Zelltypen innerhalb

des Faserbündels begründet (Evert, 2009). Charakteristisch für die Meerrettichfasern ist allerdings das relativ zu anderen Fasern große Faserlumen (Baley, 2002). Es bestimmt maßgeblich den Durchmesser der Fasern, während die Wandstärke der einzelnen Fasern nahezu konstant bei $2,15 \mu\text{m}$ bleibt.

Das große Lumen der Einzelfasern eines Faserbündels führt im Vergleich zu anderen Naturfasern zu einer sehr geringen Dichte von $0,6 \text{ g cm}^{-3}$, vgl. Abb. 2 (b). Diese Dichte ist deutlich geringer, als die in Carus (2008) angegebenen Werte vergleichbarer Faserarten, da dieser Wert statt der Reindichte des Zellmaterials die Dichte des Faserbündels inklusive des Lumens berücksichtigt (Rohdichte). Um die geringere Dichte technisch, beispielsweise in einem Verbundwerkstoff, nutzen zu können, muss gewährleistet sein, dass der Lumenbereich während der Verarbeitung weder kolabiert noch mit anderen Stoffen gefüllt wird.

Weitere Eigenschaften zur technischen Nutzung von Meerrettichfasern wurden im Zugversuch ermittelt. In Relation zu bisher technisch genutzten Naturfasern zeigen die analysierten Meerrettichfasern mit $1,89 \%$ eine teils deutlich geringere Bruchdehnung, Abb. 2d. Allerdings ist die ermittelte Zugfestigkeit von $26,92 \text{ cN tex}^{-1}$ nahezu auf dem Niveau von Sisal, während die Werte anderer Fasern teils deutlich höher sind, Abb. 2c.

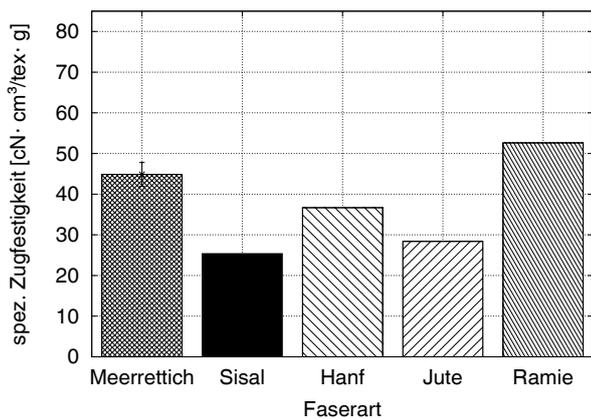


Abb. 3: Errechnete spezifische Zugfestigkeit (Rohdichte-bezogen) von Meerrettichfasern im Vergleich zu anderen Faserarten (Reindichte-bezogen; Carus, 2008).

Die geringe Dichte der Meerrettichfasern führt bei einer spezifischen Betrachtung der Festigkeitswerte zu einem Vorteil gegenüber anderen Fasern, vgl. Abb. 3. Außerdem ist, wie vorher beschrieben, zu erwarten, dass eine Verbesserung der Feinheit zu einer Steigerung der Festigkeit führen kann.

Insgesamt deuten die ermittelten Kennwerte darauf hin, dass die untersuchten Fasern für Anwendungsfälle mit leichtbaulichen Anforderungen geeignet sind. Allerdings ist aufgrund einiger ermittelter Eigenschaften, zum Beispiel der geringen Zugfestigkeit, eine Kombination mit anderen Faserarten gewinnbringend. Außerdem sind weitere Eigenschaften, wie die Reindichte, noch zu ermitteln, was zu einer Neubewertung im Vergleich zu anderen Naturfasern führen wird.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

In der vorliegenden Arbeit konnten einige grundlegende Eigenschaften der Meerrettichfaser in Hinblick auf eine Nutzung als Verstärkungskomponente in NFK bestimmt werden.

Die Ergebnisse, im speziellen die Zugfestigkeit in Verbindung mit der geringen Dichte, stellen eine potentielle Nutzung im Bereich Verbundwerkstoffe in Aussicht. Hierbei bleibt allerdings die Art der Nutzung (Kurz- oder Langfasern bzw. Einsatz als textiles Halbzeug) zunächst offen. So sind Möglichkeiten der Weiterverarbeitung von Meerrettichfasern (z. B. Fadenspinnerei, Verwebung, Gelegeherstellung) zukünftig zu untersuchen. Außerdem sind wichtige Kennwerte für die Verarbeitung als Kurz- oder Langfasern, zum Beispiel für Spritzgussanwendungen wie die Rheologie und thermische Eigenschaften der Fasern, noch zu ermitteln.

Abschließend lässt sich sagen, dass einerseits die untersuchten Meerrettichfasern aus ökologischer und ökonomischer Sicht eine sinnvolle Alternative zu bisher bekannten Naturfasern bilden können, da sie sowohl regional verfügbar sind, als auch aus bisher ungenutzten Pflanzenteilen extrahiert werden können. Andererseits legen die mechanischen Eigenschaften eine Nutzung in Verbundwerkstoffen nahe. Dies kann sowohl in der Automobilindustrie, aber auch in anderen leichtbau-relevanten Anwendungsgebieten, wie der Architektur, der Fall sein. Die relativ geringe Verfügbarkeit der Pflanzen deutet auf eine Kombination mit anderen Naturfasern statt einer Substitution dieser hin.

Danksagung: Die Autoren danken dem Sächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) für die finanzielle Unterstützung des Projektes „Entwicklung gewichtsoptimierter Karosseriebauteile auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen - Bio-NFK“ (Fkz. 4-7531. 60-02-5160-11/2) sowie den Mitarbeiterinnen des Instituts für Textil- und Ledertechnik der WHZ (Reichenbach) und Herrn R. Mich (Lübbenau) für die technische beziehungsweise materielle Unterstützung.

LITERATUR

- Baley C (2002):** *Analysis Of the Flax Fibres Tensile Behaviour and Analysis of the Tensile Stiffness Increase.* Composites Part A 33: 939–948, composites Part A 33.
- Carus M. e. a, Hg. (2008):** Gülzower Fachgespräche Band 26. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow.
- Cristaldi G, Latteri A, Recca G & Cicala G (2010):** Woven Fabric Engineering., Kap. Composites Based on Natural Fibre Fabrics. InTech.
- Dalmazzo L. F. F & Santana-Lemos B. A (2011):** *Antibody-targeted Horseradish Peroxidase Associated with Indole-3-acetic Acid Induces Apoptosis in Vitro in Hematological Malignancies.* Leukemia Research 35: 657–662.
- Ehrenstein G. W (2006):** Faserverbundkunststoffe – Werkstoffe, Verarbeitung, Eigenschaften. Hanser, München.
- Endres H. J & Siebert-Raths A (2009):** Technische Biopolymere. Hanser, München.
- Evert R. F (2009):** Esaus Pflanzenanatomie: Meristeme, Zellen Und Gewebe Der Pflanzen – Ihre Struktur, Funktion Und Entwicklung. Walter de Gruyter, Berlin.

- Helmholz F. K (2006):** *Noch Viel Handarbeit Erforderlich - Meerrettich-Anbau Im Spreewald.* Monatschrift 2: 90–92, monatschrift 2;.
- Herrmann A. S, Nickel J & Riedel U (1998):** : *Construction Materials Based Upon Biologically Renewable Resources - from Components to Finished Parts.* Polymer Degradation and Stability 59: 251–261.
- Lithner D, Larsson A & Dave G (2011):** *Environmental And Health Hazard Ranking and Assessment of Plastic Polymers Based on Chemical Composition.* Science of The Total Environment 409(18): 3309–3324.
- Mohanty A. K, Misra M & Drzal L. T, Hg. (2005):** Natural Fibers, Biopolymers, And Biocomposites. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Müssig J (2001):** Untersuchung der Eignung heimischer Pflanzenfasern für die Herstellung von naturfaserverstärkten Duroplasten – vom Anbau zum Verbundwerkstoff. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf.
- Müssig J, Cescutti G & Fischer H (2006):** Le chanvre industriel production et utilisations., Kap. Le management de la qualité appliqué à l’emploi des fibres naturelles dans l’industrie. Groupe France Agricole, Paris.
- Nova-Institut-GmbH (2009):** *Naturfasern aktuell: Preise und Anbauflächen.* [http://www.nachwachsende-rohstoffe.info/nachricht.php?id= \(16.02.2009\)](http://www.nachwachsende-rohstoffe.info/nachricht.php?id= (16.02.2009)).
- Schindelin J, Arganda-Carreras I, Frise E, Kaynig V, Longair M, Pietzsch T, Preibisch S, Rueden C, Saalfeld S, Schmid B, Tinevez J.-Y, White D. J, Hartenstein V, Eliceiri K, Tomancak P & Cardona A (2012):** *Fiji: An Open-source Platform for Biological-image Analysis.* Nature Methods 9(7): 676–682.
- Schnegelsberg G (1999):** Handbuch Der Faser – Theorie und Systematik der Faser. Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main.
- Sedlacik G (2003):** Beitrag zum Einsatz von unidirektional naturfaserverstärkten thermoplastischen Kunststoffen als Werkstoff für großflächige Strukturbauteile. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Technische Universität Chemnitz.
- Suzuki T T. J (2005):** *Prediction Of Energy Intensity of Carbon Fiber Reinforced Plastics for Mass - Produced Passenger Cars.* Proc. of the Ninth Japan International SAMPE Symposium, 14–19.
- Yang Y, Boom R, van Heerden B. I. D.-J, Kuiper P & de Wit H (2012):** *Recycling Of Composite Materials.* Chem Eng Process 51: 53–68.
- Zu zitieren als:* **Taudt C, Gieland U, Meyer D & Klose H (2012):** Charakterisierung von Meerrettichfasern für die potentielle Nutzung in naturfaserverstärkten Kunststoffen. *Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler* 2012/1
- Please cite as:* **Taudt C, Gieland U, Meyer D & Klose H (2012):** Characterization of horseradish fibers for the potential use in natural fiber-reinforced polymers. *German Journal for Young Researchers* 2012/1
-

URL: <http://www.nachwuchswissenschaftler.org/2012/1/30/>
URN: urn:nbn:de:0253-2012-1-305