DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

Multifunktionale und nachhaltige faserverstärkte Verbundwerkstoffe auf Basis des nachwachsenden Rohstoffs Cellulose

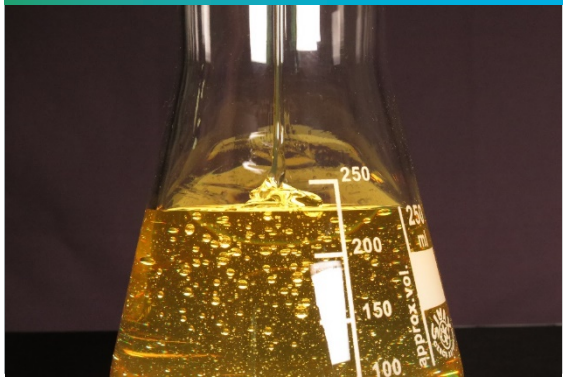
Tanja K. Schneck, Frank Hermanutz, Michael R. Buchmeiser

Laubholztage 2023, 23. Juni 2023

Kompetenzzentrum Biopolymerwerkstoffe

DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

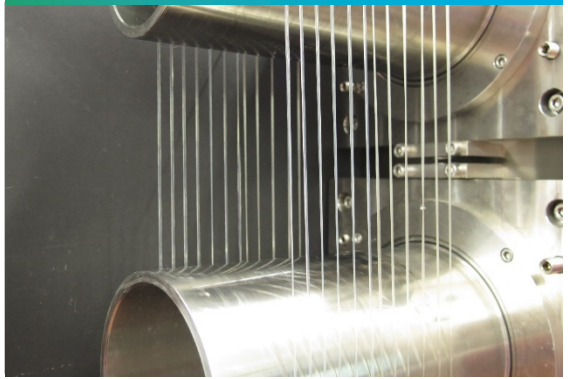
Biopolymere
Etablierung neuer Ansätze



Nutzung nachwachsender Rohstoffe

- Nachhaltige Materialen aus Cellulose, Chitin, Keratin, Alginat und Lignin
- Smarte, rezyklierbare Lösemittel

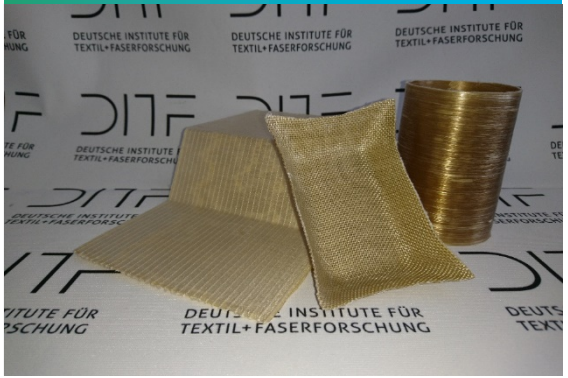
HighPerCell® Prozess
Moderne, flexible Spinnverfahren



Verarbeitung von Biopolymeren

- Herstellung von Biopolymerfasern für den textilen und technischen Einsatz
- Folien und Beschichtungen

Produktentwicklung
Leichtbau



Nachhaltigkeit und Recycling

- DAC-Filtermaterialien
- Carbonfasern aus Cellulose u. Lignin
- Sortenreine Verbundwerkstoffe

© DITF

HighPerCell®-Technologie

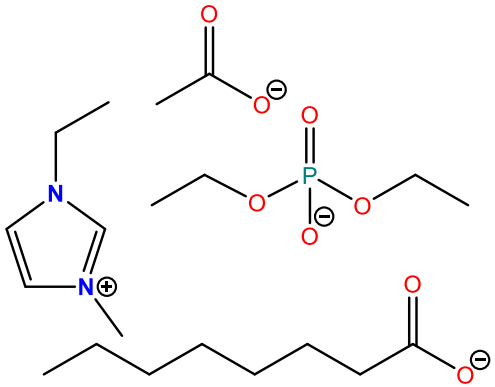
DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

Definition der ionischen Flüssigkeiten (*ionic liquids*, ILs)

- Salze mit einem Schmelzpunkt < 100 °C

Eigenschaften

- Thermisch stabil (nicht entflammbar, niedriger Dampfdruck)
- Ungiftig
- Hohe Löslichkeit von Biopolymeren
- IL-Recycling-Technologie ist vorhanden (> 99%)



1-Ethyl-3-methylimidazoliumacetat [EMIM][OAc]

1-Ethyl-3-methylimidazoliumpropionat [EMIM][OPr]

1-Ethyl-3-methylimidazoliumdiethylphosphat [EMIM][DEP]

1-Ethyl-3-methylimidazoliumoctanoat [EMIM][Oct]

F. Hermanutz, F. Gähr, E. Uerdingen, F. Meister, B. Kosan, *Macromol. Symp*, **2008**, 262, 23–27; D. Ingildeev, F. Effenberger, K. Bredereck, F. Hermanutz, *J. Appl. Polym. Sci*, **2012**, 4141–4150; D. Ingildeev , *Dissertation Universität Stuttgart*, Aachen: Shaker Verlag, **2011**; K. Mundsinger, A. Müller, R. Beyer, F. Hermanutz, M. R. Buchmeiser, *Carbohydr. Polym.*, **2015**, 131, 34–40; J. M. Spörl, A. Ota, S. Son, K. Massonne, F. Hermanutz, M. R. Buchmeiser, *Mater. Today Commun.*, **2016**, 7, 1-10; J. M. Spörl, *Dissertation Universität Stuttgart,* Cuvillier Verlag: Göttingen, **2016**; F. Hermanutz, M.P. Vocht, N. Panzier, M.R. Buchmeiser: *Macromol. Mater. Eng.*, **2019**, 304, 1800450. F. Hermanutz, M.P. Vocht, M.R. Buchmeiser, in: M.B. Shiflett (Ed.), Commercial Applications of Ionic Liquids, Springer International Publishing, Cham, **2020**, pp. 227-259; A. Ota, R. Beyer, U. Hageroth, A. Müller, P. Tomasic, F. Hermanutz, M.R. Buchmeiser, *Polym. Adv. Technol.* **2020,** 1-8.

© DITF

Faserverstärkte Kunststoffe (FVK)

- Spezifische Dichte: ρ (FVK) = $\frac{1}{4}$ ρ (Stahl); ρ (FVK) = $\frac{2}{3}$ ρ (Al)
- Höheres Festigkeits-Gewichts-Verhältnis im Vergleich zu Al oder Stahl

	Zugfestigkeit [N/mm²]	**Dichte [g/cm³]**
Glasfaser-verstärkter Kunststoff	3400	2.6
Carbonfaser-verstärkter Kunststoff	5600	1.5
Aluminium	400	2.7
Stahl	600	7.9

- Vielfältiger Anwendungsbereich: Luftfahrt, Schiffs- und Automobilbau, Energieerzeugung, Sport und Freizeit

K. Lechler, M. Menner, Faserverbundwerkstoffe Lehrerhandbuch, **2016**; F. Schweindl, C. Brand, *Kunststoffe* **2016**, *7*, 76-76; https://www.porsche.com/germany/accessoriesandservices/tequipment/specials/summer-tyres/carbon/.

© DITF

Nachteile von Faserverstärkten Kunststoffen

DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

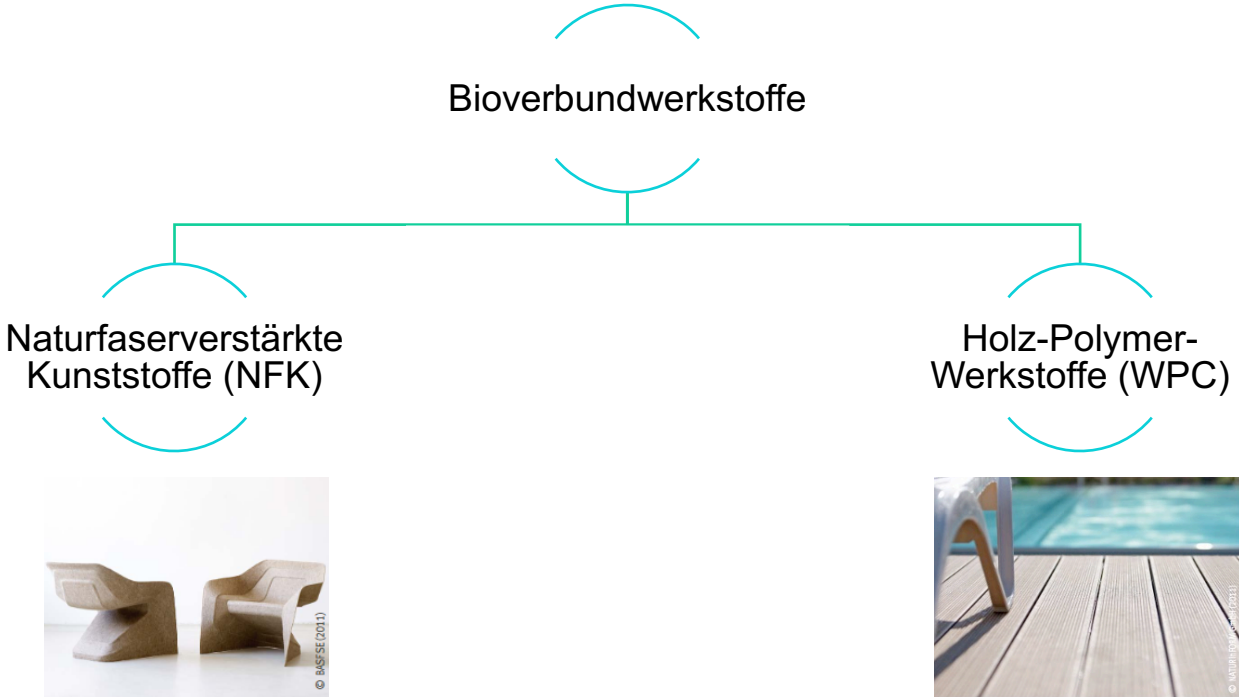
- Rohstoffe (Fasern und Matrizen) basieren größtenteils auf Erdöl
- Rohstoffpreise korrelieren mit dem Rohölpreis
- Teure Produkte
- Nachbehandlungen der Faseroberfläche für eine bessere Haftung zwischen Faser und Matrix erforderlich
  → zeitaufwendig + zusätzliche Kosten
- End-of-Life-Abfall: meist keine Möglichkeit eines vollständigen Recyclings

H. Zheng, W. Zhang, B. Li, J. Zhu, C. Wang, G. Song, G. Wu, X. Yang, Y. Huang, L. Ma, *Compos. B. Eng.***2022**, *233*, 109639; R. Scaffaro; A. Bartolo, N.T. Dintcheva, *Polymers* **2021**, *13*, 3817; D. Borjan, Z. Knez, M. Knez, *Materials* **2021**, *14*, 4191; https://klausandrews.com/technik-bootsbau.

© DITF

Bioverbundwerkstoffe

DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG



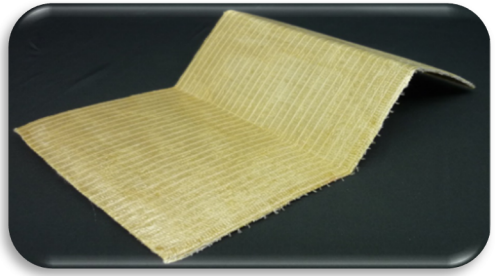
M. Carus, C. Gahle, C. Pendarovski, D. Vogt, S. Ortmann, F. Grotenhermen, T. Breuer, C. Schmidt, Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser-Werkstoffen (Deutschland und EU), *Vol. 26*, Fachagentur nachwachsender Rohstoffe e. V. (FNR), **2008**; M. Carus, A. Eder, L. Scholz, BIOVERBUNDWERKSTOFFE, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), **2015**; J. M. Spörl, F. Batti, M.-P. Vocht, R. Raab, A. Müller, F. Hermanutz, M. R. Buchmeiser, *Macromol. Mater. Eng.* **2018**, *303*, 1700335-1700343; F. Hermanutz, M. P. Vocht, N. Panzier, M. R. Buchmeiser, *Macromol. Mater. Eng.* **2019**, *304*, 1800450-1800457; Ş. Yıldızhan, A. Çalik, M. Ozcanli, H. Serin, *Eur. Mech. Sci.* **2018**, *2*, 83-91; B. Baghaei, M. Skrifvars, *Molecules* **2020**, *25*, 2836-2849.

© DITF

Vorteile des ACCs PureCell

DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

- HighPerCell® Technologie ermöglicht erstmals den umweltfreundlichen Einsatz von Cellulose als Matrixpolymer



- Verstärkungsfasern & Matrix sind auf Basis **reiner** Cellulose
  - ➢ hergestellt aus 100% **nachwachsenden** Ausgangsmaterialien
  - ➢ sortenrein, somit **recyclebar**
  - ➢ optimale Faser-Matrix-Haftung
  - ➢ kein Mikroplastik!

Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU

techtextil
innovationaward.2017
new material

F. Hermanutz, “Textilverstärkter Formkörper, ein Verfahren zu dessen Herstellung sowie seine Verwendung”, Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf, DE 10 2011 122 560 B4, **2022**.

© DITF

Ausgangsmaterialien auf Basis von reiner Cellulose – PureCell

DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

Verstärkung

- Naturfasern (Hanf, Flachs, Baumwolle)
- Regeneratfasern: Viskose (Reifencord), HighPerCell®-Fasern

  … in Form von Endlosrovings/ -garne, Gewebe, Gewirke und Gestricke

Matrix

- Zellstoff (Reinheit, Polymerisationsgrad)
- Variation der Cellulosekonzentration in der Matrixlösung

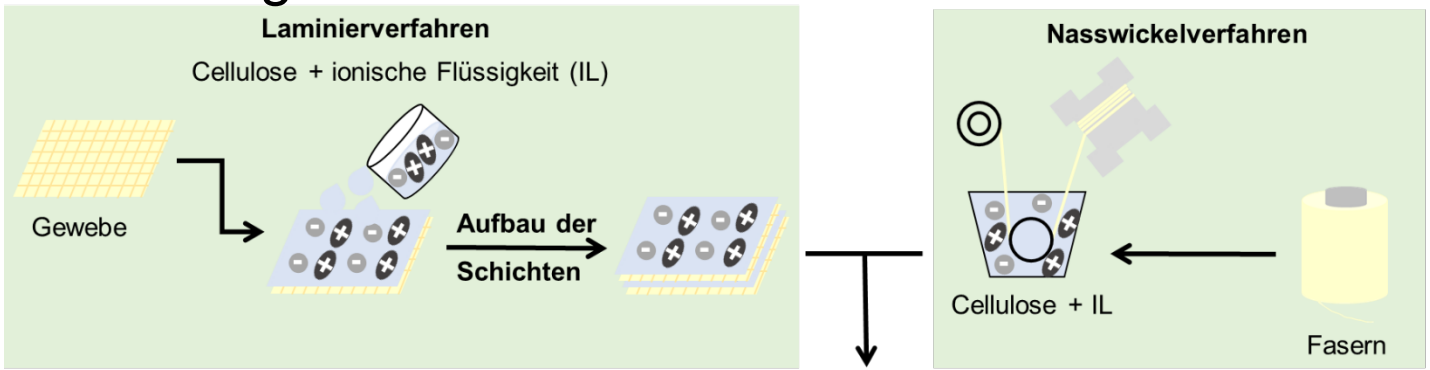
  … vollständig in der IL gelöst

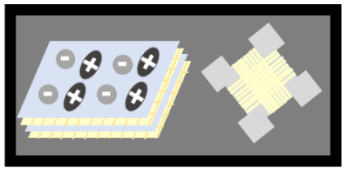
© DITF
F. Hermanutz, “Textilverstärkter Formkörper, ein Verfahren zu dessen Herstellung sowie seine Verwendung”, Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf, DE 10 2011 122 560 B4, **2022**.

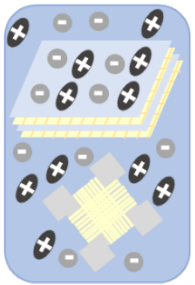
Herstellung von PureCell

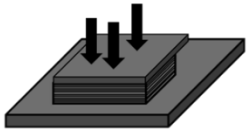
DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

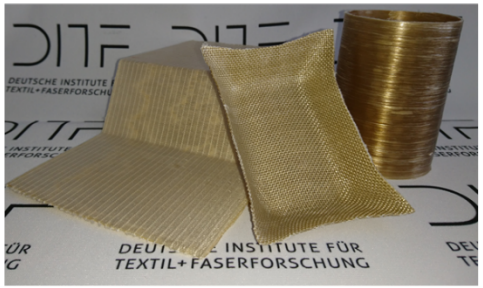
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
FORSCHUNGS KURATORIUM textil





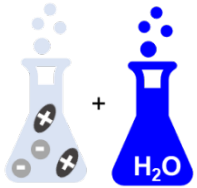






Verbundwerkstoffe auf Basis reiner Cellulose

Trennung



© DITF

Eigenschaftsprofil von PureCell

DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

Technische Parameter	PureCell[1]		GFK[2]
	Laminieren*	Nasswickeln**	PP mit 30% GF
Zugfestigkeit [MPa]	68	55	40 - 70
E-Modul [GPa]	2.2	1.7	5.5 – 6.5
Bruchdehnung [%]	7	11	< 5
Biegemodul [GPa]	7.6	5.0	5.5
Charpy Schlagzähigkeit [kJ/m²]	67	80	40

[1]Verstärkungsgewebe aus Reifencord* (5 Lagen mit einer 90° Orientierung; horizontal = 3 Lagen in Zugrichtung) oder Verstärkungsfasern** (6 Lagen mit einer 90° Orientierung); [2]Glasfaser(GF-) verstärkter Kunststoff: Lagen mit einer 0° Orientierung 0°.

- Mechanische Eigenschaften vergleichbar zu GFK
- PureCell erreicht eine signifikant höhere Charpy Schlagzähigkeit als GFK

http://www.l-kt.de/Liedtke3-Werkstoffdatenblaetter.html; www.materialdatacenter.com; www.matbase.com; http://data.polyquick.de/product/Datenblatt_PP_GF_30.pdf.

© DITF

Anwendungsfelder für PureCell

Verpackungsmaterial:

- ✓ Wiederverwendbar dank abwischbarer OF
- ✓ Flexible Nassumformung
- ✓ Hohe Stoß- und Bruchfestigkeit

- Weitere Anwendungsfelder

Gefördert durch
Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ

© DITF

Anwendungsorientierte Optimierung

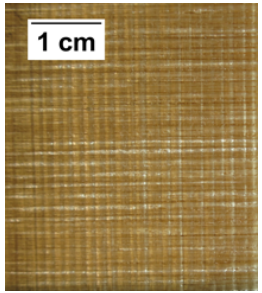
DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

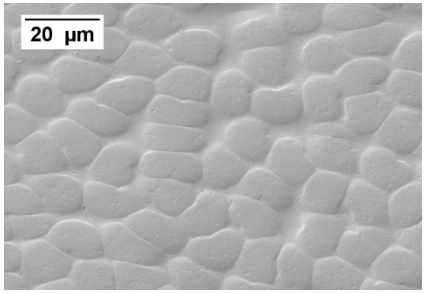
Herausforderung

- Ähnlich zu anderen bio-basierten Verbundwerkstoffen und andern FVK (z.B. GFKs) → hohe Affinität der Cellulose zu Wasser
- Entfärbung von PureCell bedingt durch die Bewitterung
- Quellungsverhalten der Cellulose aufgrund des absorbierten Wassers

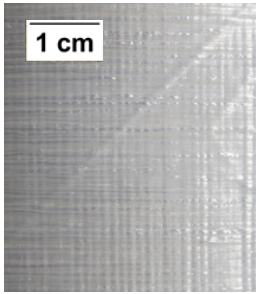
  → Rissbildung in der Mikrostruktur

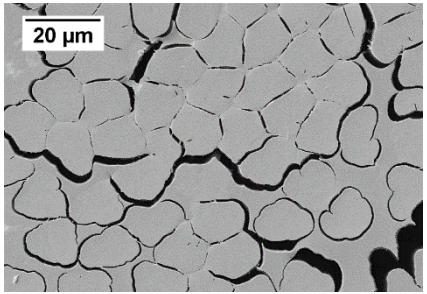
  → Abnahme des Eigenschaftsprofils





Vor der Bewitterung.





Nach der Bewitterung: entspricht Globalstrahlung in Deutschland innerhalb eines halben Jahres simuliert.

V. K. Thakur, A. S. Singha, M. K. Thakur, *Int. J. Polymer Anal. Char.* **2013**, *18*, 64.
Determination of UV and climate stability (DIN EN ISO 4892-2, procedure A). UV-radiation + sprinkling during a weathering period of 595 h.

© DITF

Anwendungsorientierte Optimierung

DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

Lösung

- Hydrophobierung der PureCell-Oberfläche mit Ukasol*
- Anwendung weiterer Beschichtungen (Klarlack, pigmentierter Gelcoat)

PureCell-Oberfläche mit (links), ohne (rechts) einer Ukasol-Beschichtung.

✓ Homogene Auftragung der Beschichtung

✓ Beschichtete Oberflächen sind kratzfest

✓ **Effektiver Schutz gegenüber Umwelteinflüssen**

PureCell-Oberfläche mit pigmentiertem Gelcoat bzw. Klarlack beschichtet.

*Von der Firma Schill+Seilacher GmbH, Böblingen zur Verfügung gestellt bekommen; Farben und Lacke – Gitterschnitttest (ISO 2409:2020); EN ISO 2409:2020.

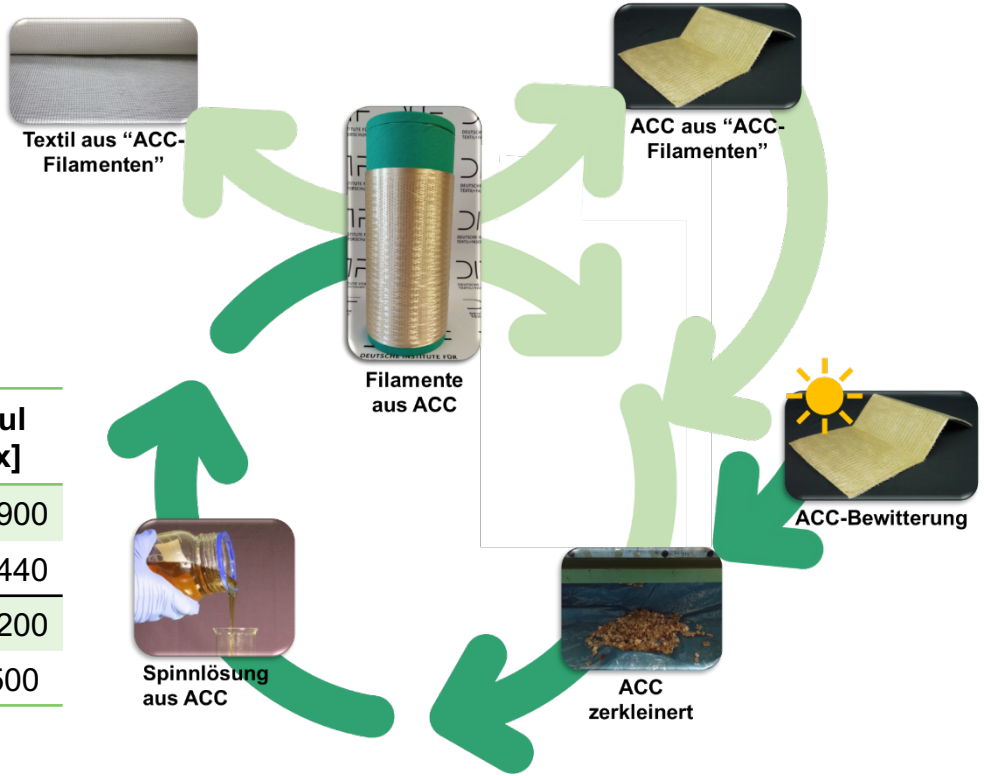
© DITF

Zukunftsorientiert: Vollständiges Recycling von PureCell

- **Wiederverwendung End-of-Life** Abfälle mittels der HighPerCell®-Technologie zu **neuen Endlos-Filamenten**
- Herstellung von Fasern in **technischer (F_z) und textiler Qualität (F_x)**

		Dehnung [%]	Zugfestigkeit [cN/tex]	E-Modul [cN/tex]
Filamente aus bewitterten ACC	F_z	5 - 7	28 - 31	1870 - 1900
	F_x	12 - 14	26 - 27	1410 - 1440
Filamente aus komm. Zellstoff	F_z	4 - 12	30 - 45	1400 - 2200
	F_x	7 - 12	9 - 25	700 - 1500

F_Z: Filamente mit technischer Qualität; F_X: Filamente mit textiler Qualität.



© DITF

Zusammenfassung PureCell

- **HighPerCell® Technologie** ermöglicht den Einsatz von Cellulose als Matrix
- Verstärkungsfaser & Matrix auf Basis von **reiner Cellulose**
  - ➢Einsatz von 100% **nachwachsender Ausgangsmaterialien**
- **Sortenrein**, somit **recyclebar**
- **Exzellentes Eigenschaftsprofil** → nachhaltige Alternative zu GFK
- Exzellente Weiterverarbeitungseigenschaften
- **Vollständiges chemisches Recycling** möglich

© DITF

CELLUN – Eckpunkte zum Projekt

- Gefördert über das Technologietransfer-Programm Leichtbau des BMWK
- Laufzeit: 01.01.2022 – 31.12.2024
- Verbundprojekt bestehend aus 6 Projektpartnern & 1 assoziierten Partner

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

JÜLICH FORSCHUNGSZENTRUM

im Unterauftrag

manaomea

assoziierter Partner

PORSCHE

DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

Verbundpartner

CG TEC Innovative Faserverbund Technologie

CORDENKA premium rayon reinforcement

DITF DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

elringklinger

Fiber Engineering GmbH Fasertechnologie Sondermaschinen und Werkzeuge

TLH TECHNIKUM LAUBHOLZ

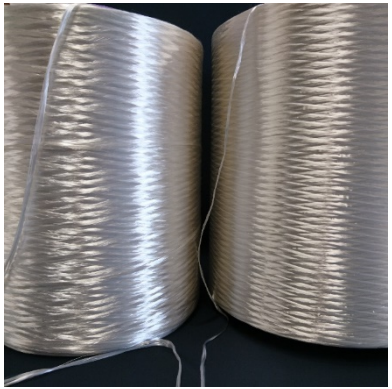
© DITF

Ausgangsmaterialien

DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

Verstärkungskomponente

- Viskose-Reifencordfaser: Cordenka® Rayon 700
- IL-gesponnene Faser, technische Qualität (HighPerCell®-Prozess, DITF)



Cordenka® Rayon 700

IL-gesponnene Faser

Matrix **THERMOPLAST**

- chemisch modifizierte Cellulosefasern (thermoplastische Cellulosederivate)

Granulat

Matrixfasern

F. Hermanutz, Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf, DE 102011122560, “Textilverstärkter Formkörper”, **2013**.

© DITF

Herstellung von CELLUN

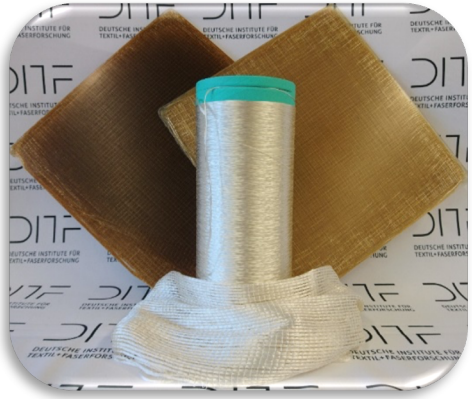
Hybridtextil

Hybridroving

Heißpresse

Pultrusion

Fasereinblasen



Erste CELLLUN-Verbundplatten

In Kooperation mit dem KPZ Polymere & Faserverbunde der DITF und weiteren Verbundpartner aus der Industrie.

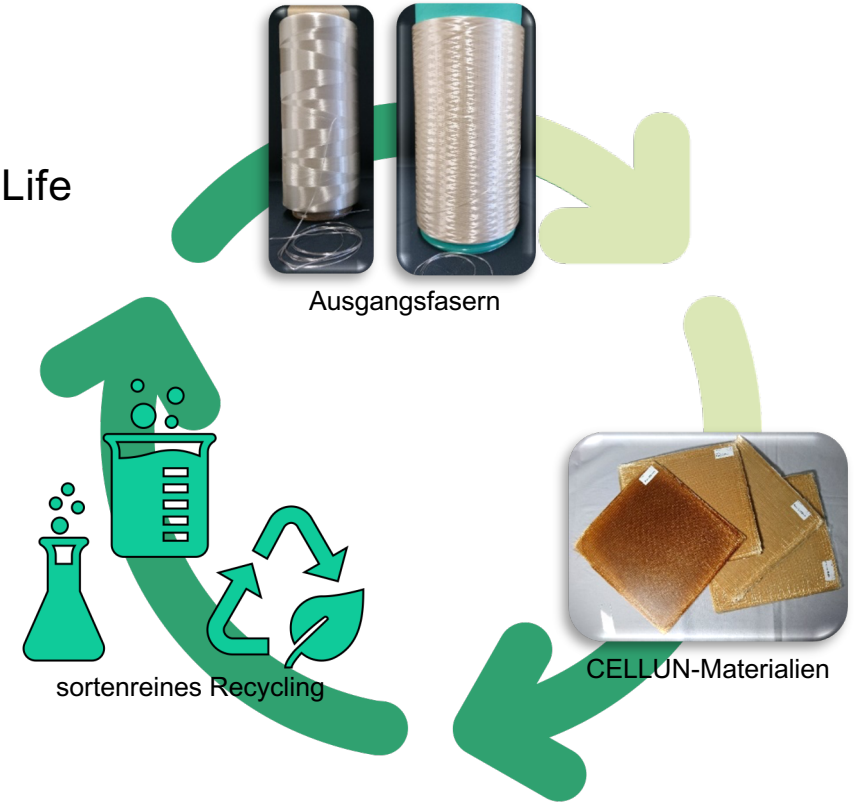
© DITF

Recyclingkonzept von CELLUN

DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

Ziele

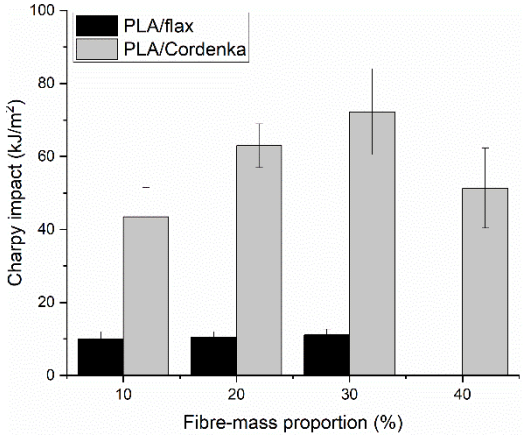
- Vollständige Kreislaufführung nach dem End-of-Life
- Sortenreine Auftrennung in die einzelnen Komponenten
- Zurückführung der Komponenten in den Herstellungsprozess der Ausgangsmaterialien (Verstärkungs- und Matrixfasern)



© DITF

Highlights von CELLUN

- Nachwachsende Rohstoffe als Ausgangsmaterialien
- Vielversprechendes Eigenschaftsprofil aufgrund der eingesetzten cellulosischen Verstärkungsfasern
- Erhöhte Materialeffizienz durch flexible Textilverarbeitung und 3D-Formgebung
- Potential zur Verringerung des CO_2-Ausstoßes



B. Bax, J. Müssig, *Compos. Sci. Technol.* ***2008***, *68*, 1601–1607; N. Müllner, Einfluss der Faserarchitektur auf die mechanischen Eigenschaften von Cellulose-Cellulose-Verbundwerkstoffen, Stuttgart Universität Stuttgart, **2019**.

© DITF

DEUTSCHE INSTITUTE FÜR TEXTIL+FASERFORSCHUNG

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

tanja.schneck@ditf.de; frank.hermanutz@ditf.de

PureCell gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

AiF FORSCHUNGS KURATORIUM textil

CELLUN gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

JÜLICH FORSCHUNGSZENTRUM