



**Institut für Kunststoff-  
und Kreislauftechnik**  
Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres

## Recycling von Fasercomposites – Markt, Abfallmengen, Recyclingtechnologien


Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres


27. November 2022





1

## Beruflicher Werdegang






© Guido Manschall




**1991**  
Dipl.-Ing.

»»»




**1991 - 1999**  
Bereichsleiter




**1999**  
Professor

»»»




**2011**  
Institutsleiter





**2013**  
Abteilungsleiter

»»»



**2019**  
Institutsleiter

© Leibniz Universität Hannover, IKK, Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres  
Seite 2 | FNR- Webinar „Biovorbundwerkstoffe – Recycling“ | 23.11.2022

2

## Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover (LUH)



### Fakten und Statistiken

#### Gründung

- 1831
- TU9 Universität
- **Gesamtbudget (2019)**
  - 266,7 Mio. EUR
- **Studierende (WiSe 2019/20)**
  - 30.196
- **Studiengänge**
  - 84 Studiengänge
  - 9 Fakultäten
- **Mitarbeiter**
  - 5.138 Mitarbeiter
    - 3.320 Forschungsmitarbeiter und Lehrkräfte einschl. 348 Professoren
    - 1.744 technische und Verwaltungsmitarbeiter
    - 74 Auszubildende
- **Gebäude**
  - Grundfläche von 325.720 m<sup>2</sup>
  - 167 Gebäude



© Daniel Vogl, LUH

Hauptgebäude der Leibniz Universität Hannover

© Leibniz Universität Hannover, IKK, Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres  
Seite 3 | FNR- Webinar „Bioverbundwerkstoffe – Recycling“ | 23.11.2022



Leibniz  
Universität  
Hannover



Produktionstechnisches  
Zentrum Hannover

3

## Fakultät für Maschinenbau Fakten und Statistiken



- 20 Institute
- 900 Mitarbeiter
- Finanzierung der Forschung: 75 Mio. Euro p.a.
- 75 Dissertationen p.a.
- 5.000 Studenten



© Doreta Silivoni

Das Produktionstechnische Zentrum Hannover (PZH)



© Jan Schlegel | FFA/ULH

Fakultät für Maschinenbau



Campus Maschinenbau der Leibniz Universität Hannover (2020)

© Leibniz Universität Hannover, IKK, Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres  
Seite 4 | FNR- Webinar „Bioverbundwerkstoffe – Recycling“ | 23.11.2022

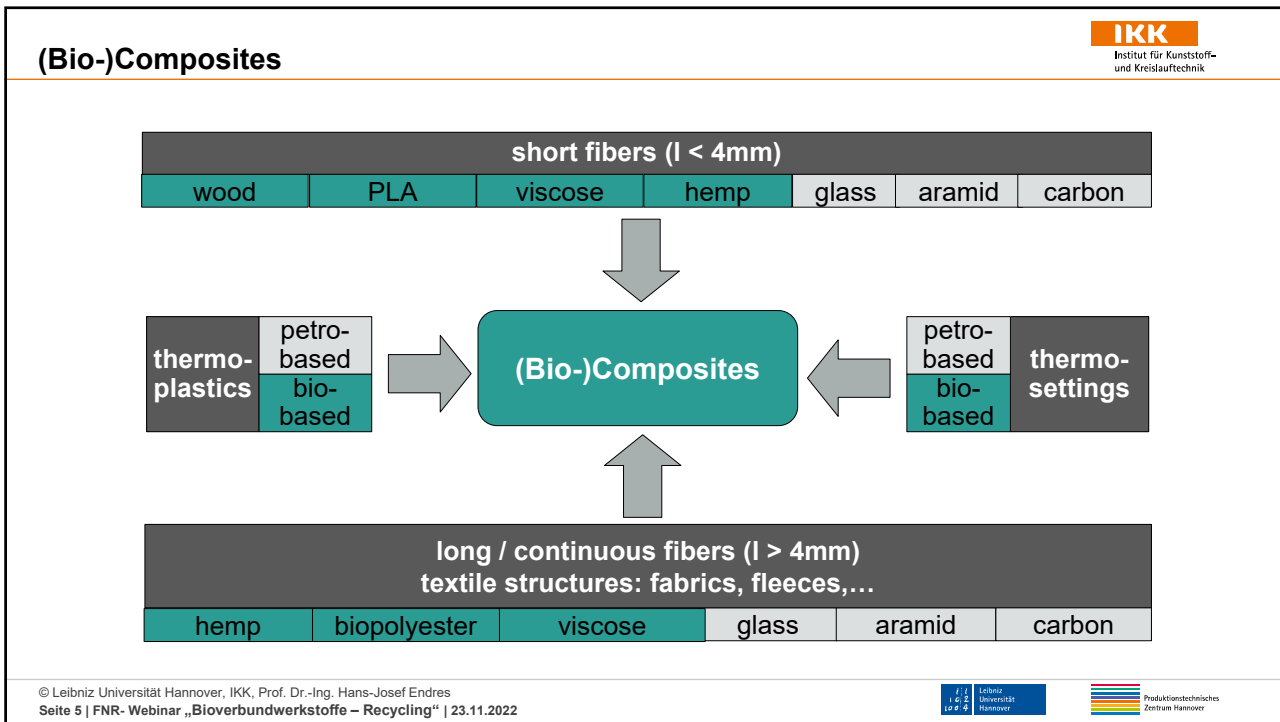


Leibniz  
Universität  
Hannover

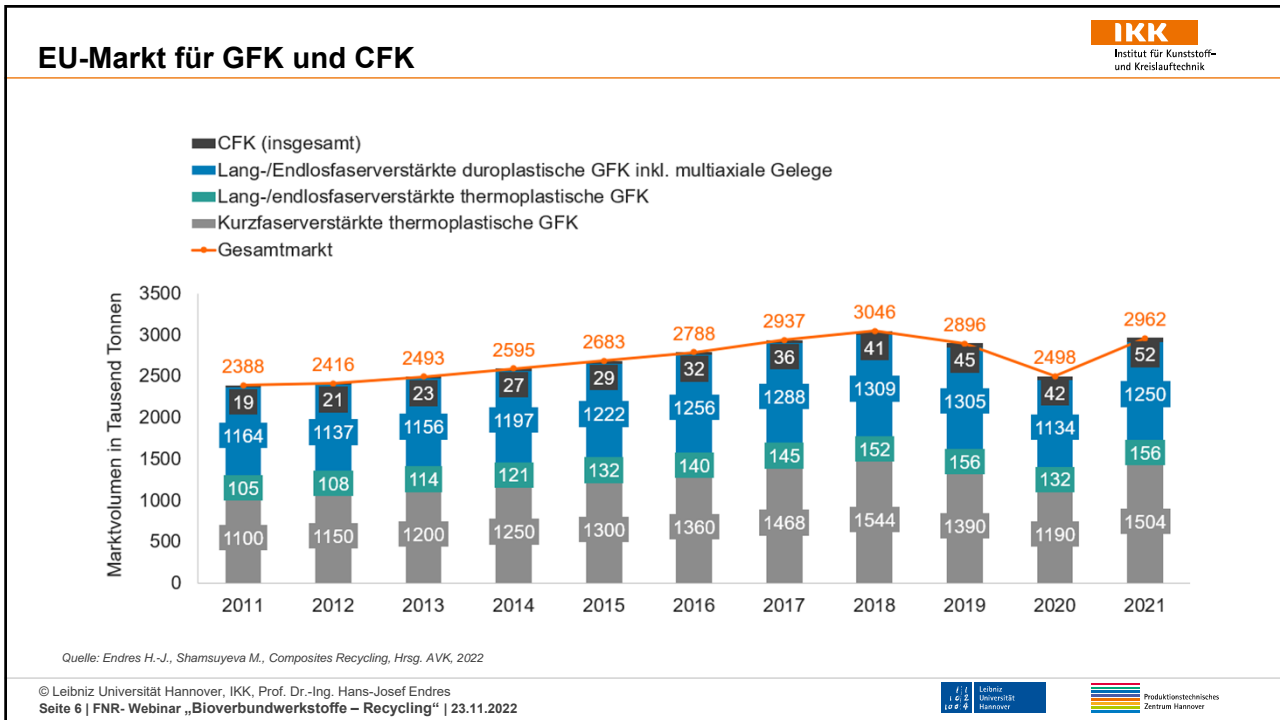


Produktionstechnisches  
Zentrum Hannover

4




5



6

## Hauptanwendungsgebiete für CFK- und GFK-Composites





**IKK**  
Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik

(Wind-)Energie	E&E	Konstruktion	Marine
<ul style="list-style-type: none"> <li>Windenergie</li> <li>Ölversorgung (Pipes, Tanks)</li> <li>...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektrische Gehäuse PCB</li> <li>Elektronische Verbindungen</li> <li>Zählerkästen</li> <li>Schalttafeln</li> <li>...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Infrastruktur</li> <li>Wohngebäude (Versorgungsmasten, Brücken, strukturelle Rahmensysteme, Geländer, Laufstege, ...)</li> <li>Wasserversorgung (Rohre, Behälter)</li> <li>...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Motorboote</li> <li>Segelboote</li> <li>...</li> </ul>
Konsumgüter inkl. Sport- und Freizeit	Transport	Luft- und Raumfahrt	Sonstige
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fahrräder</li> <li>Golfschläger</li> <li>Angelruten</li> <li>Skier</li> <li>Tennisschläger</li> <li>Servietabletts</li> <li>Möbel</li> <li>Haushaltsgeräte</li> <li>...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lastkraftwagen</li> <li>Automotive</li> <li>Anhänger</li> <li>Busse</li> <li>Züge</li> <li>U-Bahnen</li> <li>Motorräder</li> <li>...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verkehrsflugzeuge</li> <li>Düsenflugzeuge</li> <li>Militärische Flugzeuge</li> <li>Satelliten</li> <li>...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industriemaschinen</li> <li>Medizinische Ausrüstung</li> <li>Gehäuse</li> <li>Werkzeuge</li> <li>Schutzhelme</li> <li>...</li> </ul>


Quelle: Endres H.-J., Shamsuyeva M., Composites Recycling, Hrsg. AVK, 2022

© Leibniz Universität Hannover, IKK, Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres  
Seite 7 | FNR- Webinar „Biovorbundwerkstoffe – Recycling“ | 23.11.2022

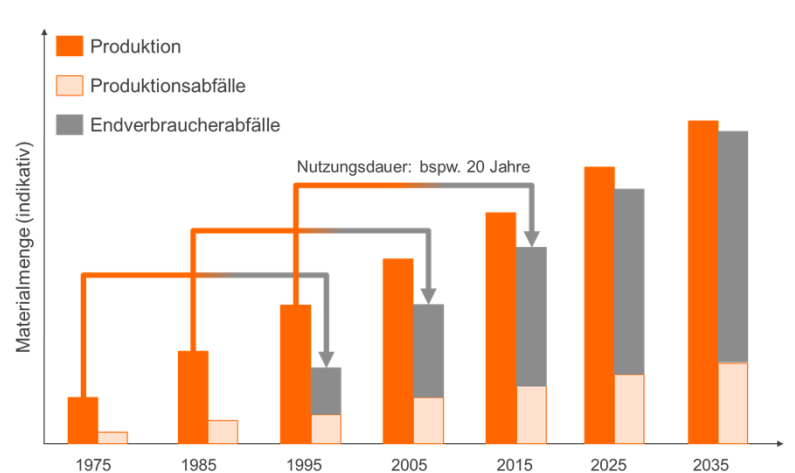



7

## Post-consumer und Post-industrial Abfälle



**IKK**  
Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik



Materialmenge (indikativ)



■ Produktion  
■ Produktionsabfälle  
■ Endverbraucherabfälle

Nutzungsdauer: bspw. 20 Jahre

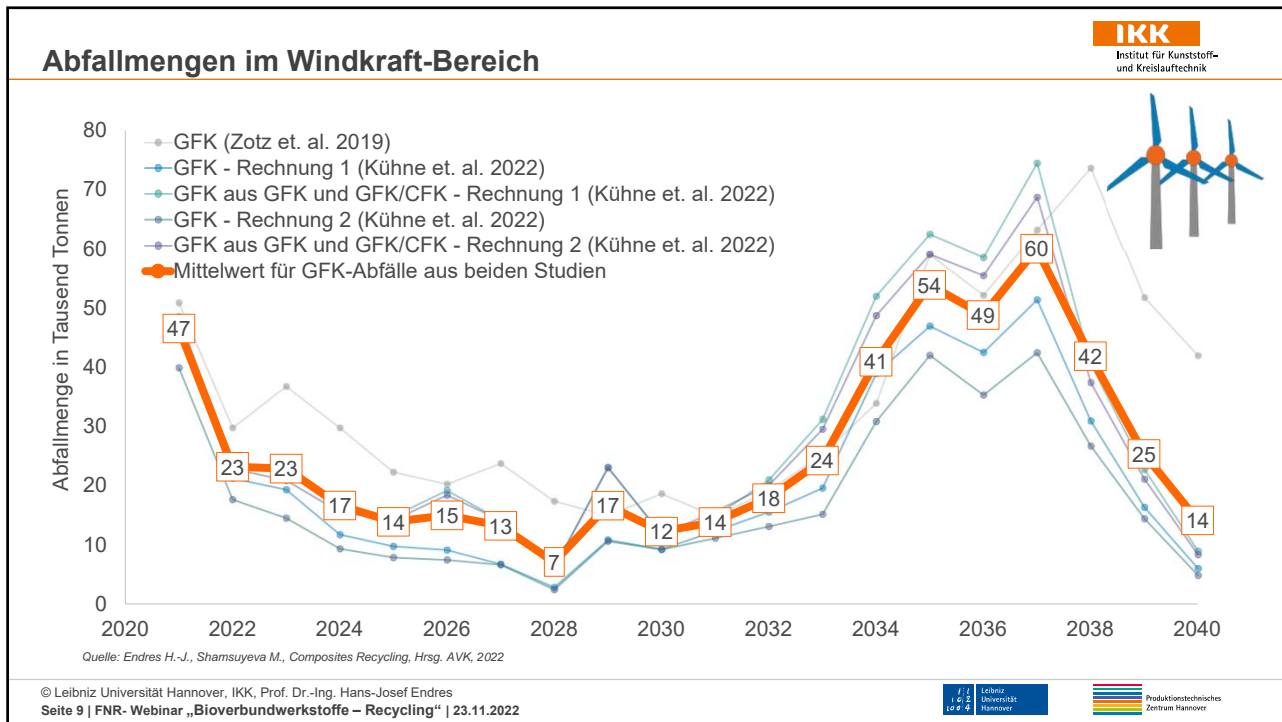
1975    1985    1995    2005    2015    2025    2035

Quelle: Endres H.-J., Shamsuyeva M., Composites Recycling, Hrsg. AVK, 2022

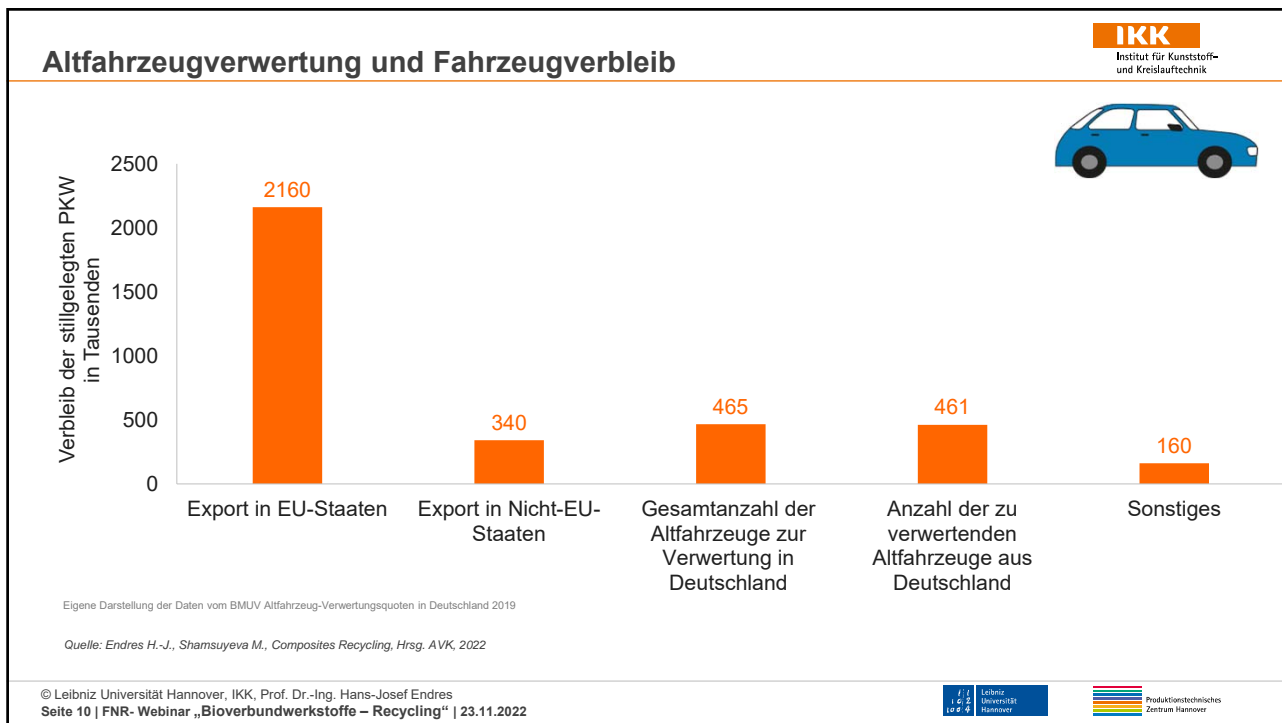
© Leibniz Universität Hannover, IKK, Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres  
Seite 8 | FNR- Webinar „Biovorbundwerkstoffe – Recycling“ | 23.11.2022

8



9



10

## Mechanisches Recycling

### GFK – TRL 9 und CFK – TRL 6/7

**IKK**  
Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik

```

graph TD
    A[Inputstrom] --> B[Zerkleinerungsanlagen  
(Prall/Druck, Schredder, Schlag,  
Schub und Scherung, Schneiden, ...)]
    B --> C(Mahlgut  
(Zusammensetzung wie  
Inputstrom))
    C --> D[Heißpressverfahren]
    C --> E[Extrusion / Compounding]
  
```

- Vorteile
  - Dezentrales Verfahren
  - Effizienz bzw. hoher Materialdurchsatz
  - Rückführung als Kurzfaser ermöglicht den Einsatz als Faserfüllstoff
- Nachteile
  - Rezyklate aktuell nicht wettbewerbsfähig mit neuen Rohstoffen
  - Rezyklatqualität hängt von der Qualität des Inputstroms ab (Kontaminationen, chemische Zusammensetzung, etc.)
  - Rückstände bis zu 40 %
  - Großvolumige Anwendungen sind (noch) nicht entwickelt
  - Gesundheitliche Aspekte (WHO-Fasern)

Quelle: Endres H.-J., Shamsuyeva M., Composites Recycling, Hrsg. AVK, 2022

© Leibniz Universität Hannover, IKK, Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres  
Seite 11 | FNR-Webinar „Bioverbundwerkstoffe – Recycling“ | 23.11.2022

Leibniz Universität Hannover Produktionstechnisches Zentrum Hannover

11

## Solvolyse

### TRL: 5/6

**IKK**  
Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik

```

graph LR
    A[Inputstrom] --> B[Reaktor  
• LTP-Solvolyse  
• HTP-Solvolyse]
    B --> C[Monomere und weitere Produkte der  
Depolymerisation]
    B --> D[Faser]
  
```

- Vorteile
  - Zurückgewinnung von Fasern in kompletter Länge
  - Zurückgewinnung von wiederverwendbarer Polymermatrix
- Nachteile
  - Niedrige Effizienz
  - Hoher Energiebedarf (abhängig von Temperatur und Druck)
  - Einsatz von Lösemittel

Quelle: Endres H.-J., Shamsuyeva M., Composites Recycling, Hrsg. AVK, 2022

© Leibniz Universität Hannover, IKK, Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres  
Seite 12 | FNR-Webinar „Bioverbundwerkstoffe – Recycling“ | 23.11.2022

Leibniz Universität Hannover Produktionstechnisches Zentrum Hannover

12

## Pyrolyse TRL: 9

**IKK**  
Institut für Kunststoff-  
und Kreislauftechnik

```

graph LR
    Input[Inputstrom] --> Reaktor[Reaktor]
    Reaktor --> Kondensator[Kondensator]
    Reaktor --> Faser[Faser, Füllstoffe, Kohlenstoffreste]
    Kondensator --> Brenngase[Brenngase]
    Kondensator --> Kohlenwasserstoff[Kohlenwasserstoff-produkte]
    Brenngase --> Reaktor
  
```

- Vorteile
  - Pyrolysegas und -öl können (in demselben Prozess) als Energiequelle benutzt werden
  - Pyrolyseöl als alternativer Rohstoff zur Kunststoffherstellung (renewable naphtha)
  - Einfaches Upscaling
- Nachteile
  - Recycelte Fasern können Oxidationsreste beinhalten
  - Degradation der chemischen Struktur von Fasern und Verkürzung von Fasern nach einigen Durchgängen
  - Bisher limitierte Wirtschaftlichkeit
  - Hoher Energiebedarf

Quelle: Endres H.-J., Shamsuyeva M., Composites Recycling, Hrsg. AVK, 2022

© Leibniz Universität Hannover, IKK, Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres  
Seite 13 | FNR-Webinar „Bioverbundwerkstoffe – Recycling“ | 23.11.2022

Leibniz Universität Hannover  
Produktionstechnisches Zentrum Hannover

13

## Post-consumer und Post-industrial Abfälle

**IKK**  
Institut für Kunststoff-  
und Kreislauftechnik

Kosten, Performance der Rezyklate  
bzw. Rezyklat-Komponenten

Nachhaltigkeit und TRL

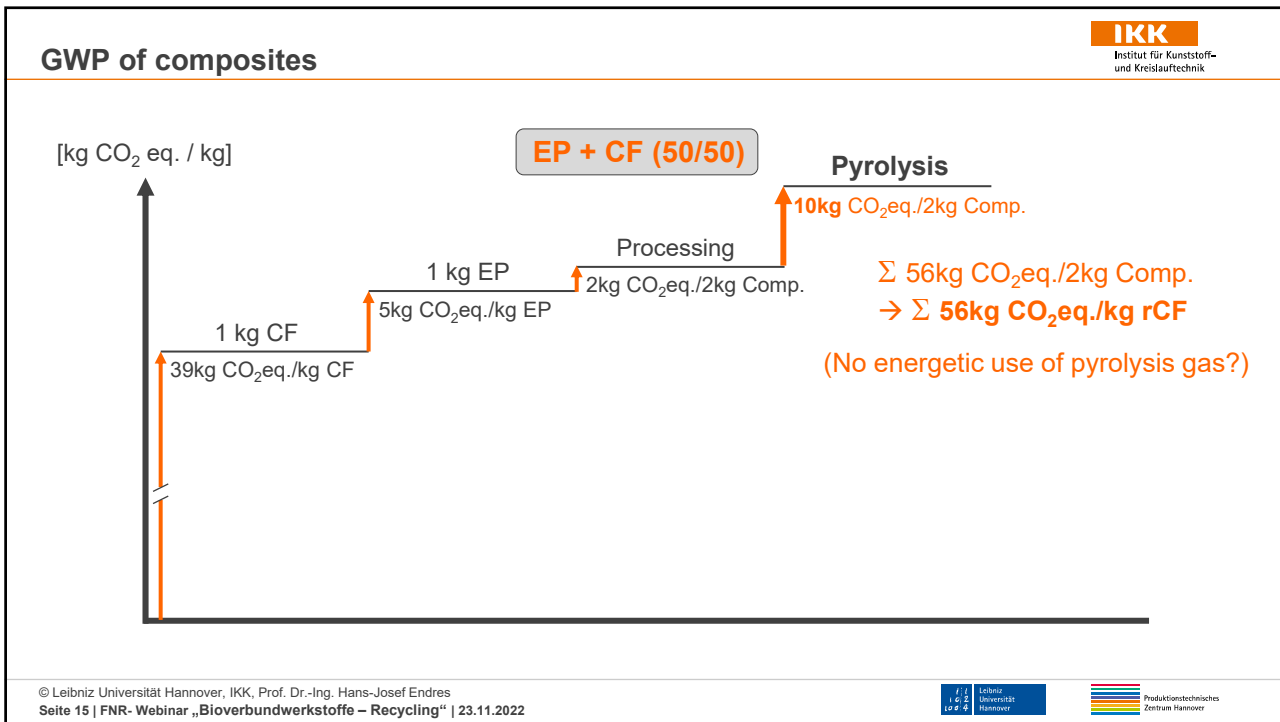
Wirbelschicht-Pyrolyse    Mikrowellen-Pyrolyse    Solvolyse    Pyrolyse    Mechanisches Recycling

Quelle: Endres H.-J., Shamsuyeva M., Composites Recycling, Hrsg. AVK, 2022

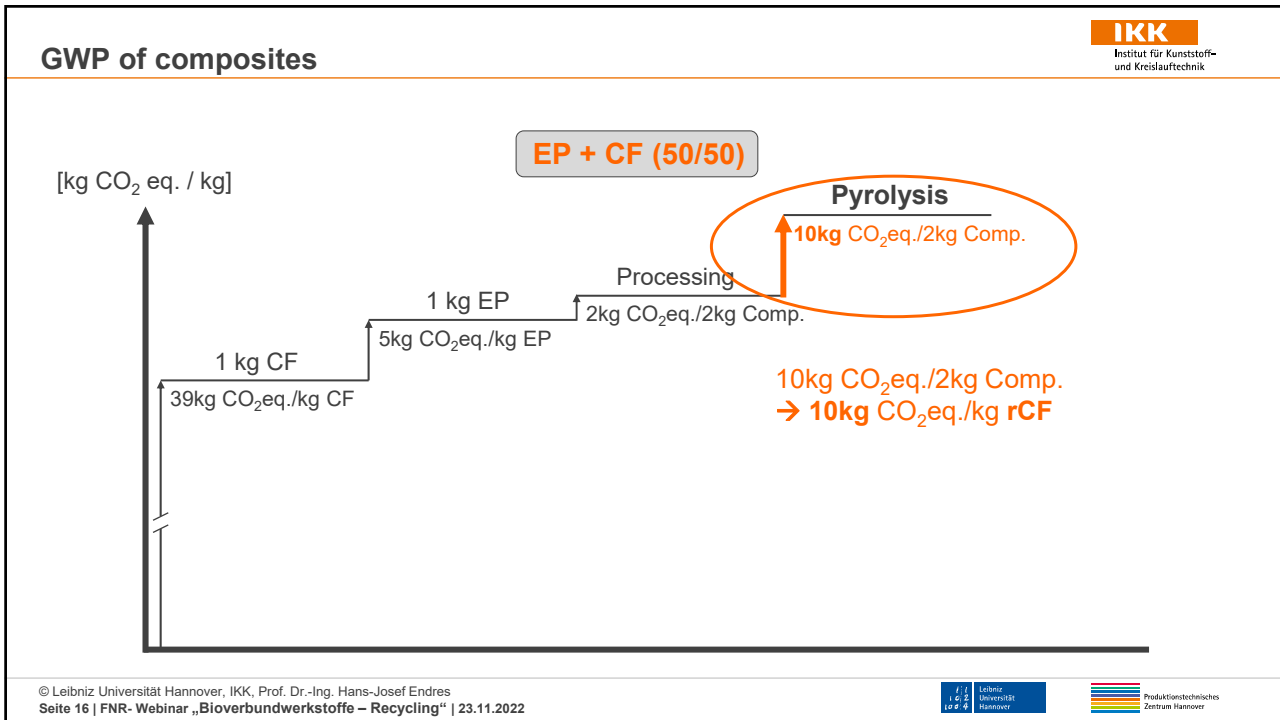
© Leibniz Universität Hannover, IKK, Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres  
Seite 14 | FNR-Webinar „Bioverbundwerkstoffe – Recycling“ | 23.11.2022

Leibniz Universität Hannover  
Produktionstechnisches Zentrum Hannover

14



15



16



## AVK-Studie zum Recycling von polymeren Verbundwerkstoffen




Studie erscheint im Dezember 2022

Anwendungen	Gesetzliche Vorgaben	Werkstoffe	Recyclingansätze	Normung
(Wind-)Energie	Richtlinie 2008/98/EG (Abfallrahmenrichtlinie)	Duroplastische	Mechanische Verfahren	ISO 20819
Transport	EU-Chemikalienverordnung (Reach)	Kurzfasern    Langfasern	Lösemittel-basierte Verfahren	DIN SPEC 4866
Luft und Raumfahrt	KrWG	Thermoplastische	Chemische Verfahren	DIN SPEC 91446
Marine	AltfahrzeugV    VerpackG	Kurzfasern    Langfasern		Normungsroadmap Circular Economy
E&E	ElektroG    BatterieG			(DIN SPEC 91481)
Bauwesen und Konstruktion	(EEG)			
Konsumgüter, Sport- und Freizeit				
Sonstiges				


Quelle: Endres H.-J., Shamsuyeva M., Composites Recycling, Hrsg. AVK, 2022

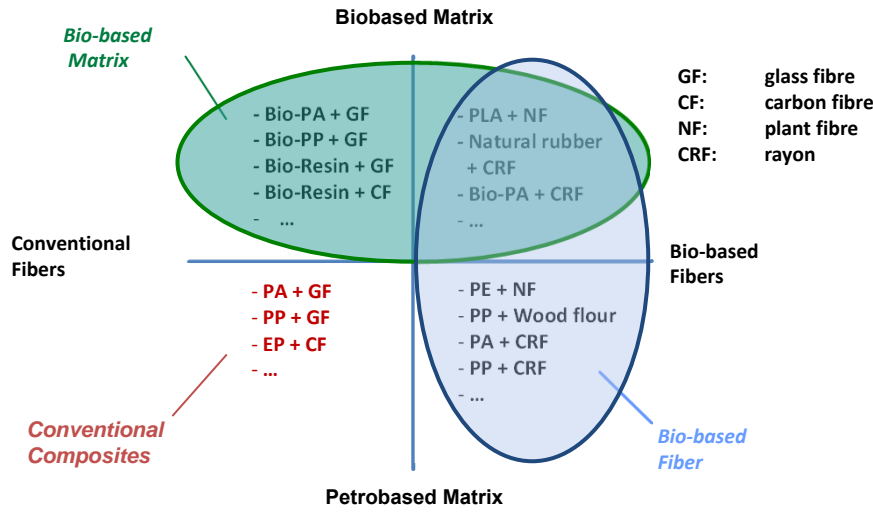
© Leibniz Universität Hannover, IKK, Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres  
Seite 17 | FNR-Webinar „Bioverbundwerkstoffe – Recycling“ | 23.11.2022




17

## Biocomposites





**Bio-based Matrix**

- Bio-PA + GF
- Bio-PP + GF
- Bio-Resin + GF
- Bio-Resin + CF
- ...

**Petrobased Matrix**

- PLA + NF
- Natural rubber + CRF
- Bio-PA + CRF
- ...

**Conventional Fibers**

- PA + GF
- PP + GF
- EP + CF
- ...

**Conventional Composites**

**Bio-based Fibers**

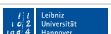

- PE + NF
- PP + Wood flour
- PA + CRF
- PP + CRF
- ...

**Bio-based Fiber**

**GF:** glass fibre  
**CF:** carbon fibre  
**NF:** plant fibre  
**CRF:** rayon


Source: H.-J. Endres, T. Kaplin, C. Habermann, Technology and Nature Combined, Kunststoffe International, 2012

© Leibniz Universität Hannover, IKK, Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres  
Seite 18 | FNR-Webinar „Bioverbundwerkstoffe – Recycling“ | 23.11.2022

18

## Biobased fibers





**IKK**  
Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik

Fiber grades	Possible biobased resources
<ul style="list-style-type: none"> <li style="background-color: #2e8b57; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Carbon fibers</li> <li style="background-color: #2e8b57; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Synthetic organic fibers</li> <li style="background-color: #2e8b57; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Natural fibers</li> <li style="background-color: #0070c0; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Ceramic fibers</li> <li style="background-color: #0070c0; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Glass fibers</li> <li style="background-color: #0070c0; color: white; padding: 5px;">Boron fibers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li style="background-color: #2e8b57; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Biobased Carbon based on cellulose, lignin, etc.</li> <li style="background-color: #2e8b57; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">PLA based on corn starch, sugar, etc.</li> <li style="background-color: #2e8b57; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Bio-PE based on sugar cane, corn starch, resp. bio-ethanol</li> <li style="background-color: #2e8b57; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Bio-PA based on castor-oil e.g.</li> <li style="background-color: #2e8b57; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Bio-PET, PTT based on sugar cane, corn starch, resp. bio-alcohols</li> <li style="background-color: #2e8b57; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Cellulosics based on cellulose</li> <li style="background-color: #2e8b57; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">animal silk, wool (= proteins)</li> <li style="background-color: #2e8b57; color: white; padding: 5px;">plants wood, cotton, hemp, flax, sisal, jute, etc. (= polysaccharides)</li> </ul>


Source: H.-J. Endres, T. Koplin, C. Habermann, Technology and Nature Combined, Kunststoffe International, 2012

© Leibniz Universität Hannover, IKK, Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres  
Seite 19 | FNR- Webinar „Bioverbundwerkstoffe – Recycling“ | 23.11.2022

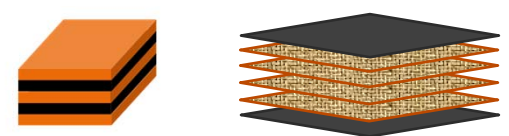
19

## (Bio-)Composites



**IKK**  
Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik

**Interlayer (e.g. stacking)**




← Carbon fabric

← Flax fabric

← Carbon fabric

**Intralayer (e.g. co-weaving)**

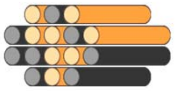


← Flax



← Carbon

© Fraunhofer WKI

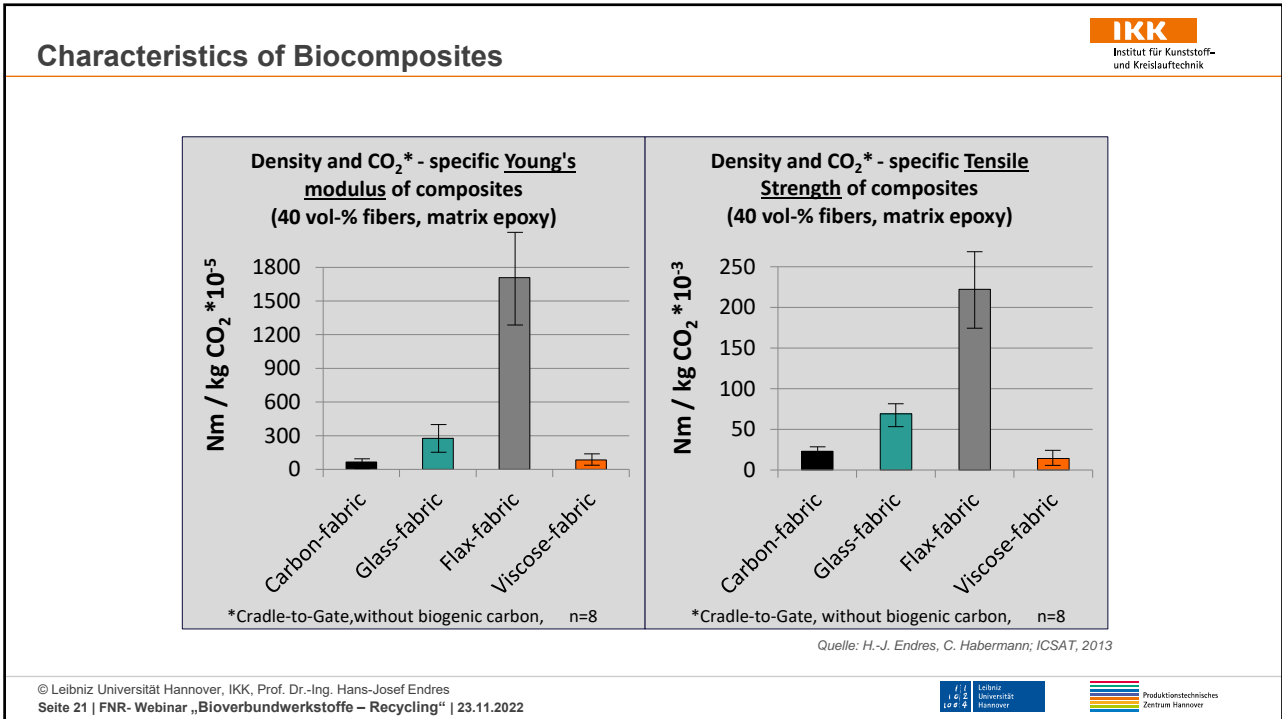
**Intrayarn (e.g. commingling)**



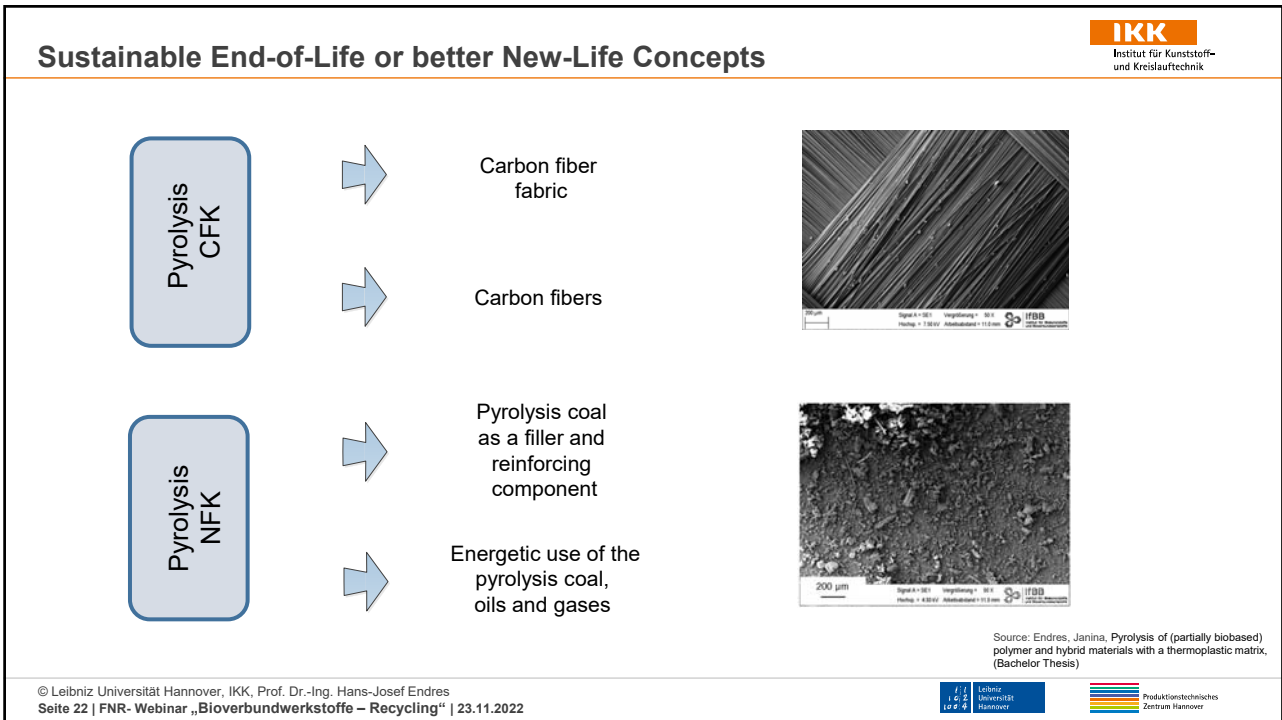
© Leibniz Universität Hannover, IKK, Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres  
Seite 20 | FNR- Webinar „Bioverbundwerkstoffe – Recycling“ | 23.11.2022

20



21



## Große Informationslücken im Bereich der NFKs und anderer Biocomposite im Hinblick auf Markt und End of Life

23

## Vielen Dank

Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres

Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik  
 Leibniz Universität Hannover (LUH)  
 Fakultät für Maschinenbau  
 An der Universität 2  
 D-30823 Garbsen

Tel.: +49 511 762 13302  
 Mobil: +49 170 4006109  
[endres@ikk.uni-hannover.de](mailto:endres@ikk.uni-hannover.de)

[www.ikk.uni-hannover.de](http://www.ikk.uni-hannover.de)



24