

# Herausforderungen der Analytik rezyklierter Kohlenstofffasern

20th LEIBNIZ CONFERENCE OF ADVANCED SCIENCE

– Recycling –

Ressourcenmanagement als Beitrag zur gesicherten Rohstoffversorgung

20.05.2016

Mareen Zöllner

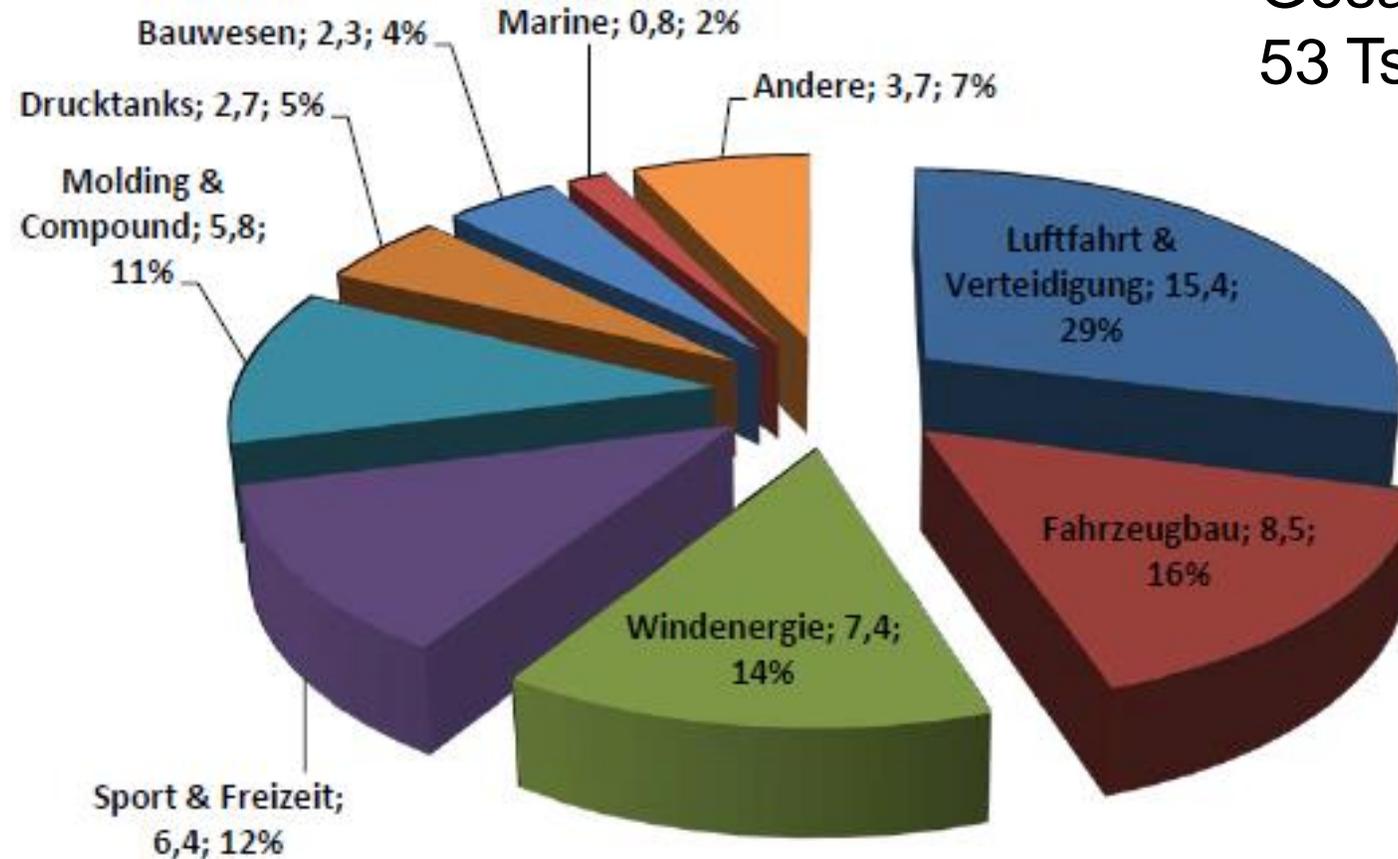
REMONDIS Assets & Services GmbH & Co. KG

In Zusammenarbeit mit der TU Bergakademie Freiberg (Institut für Aufbereitungsmaschinen)



# Globaler Kohlenstofffaser-Bedarf in Tsd. Tonnen

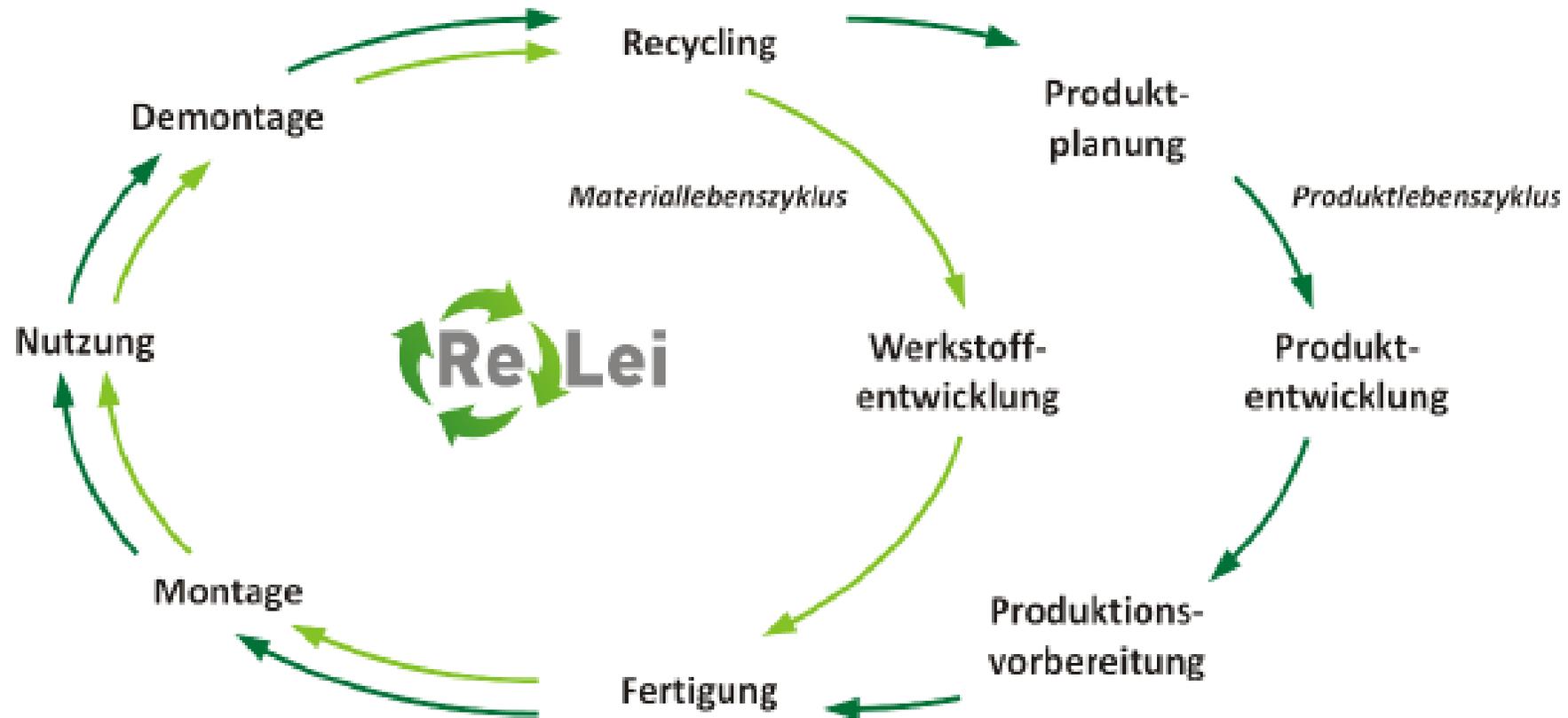
Gesamtbedarf 2015:  
53 Tsd. t



Quelle: Composites Marktbericht 2015

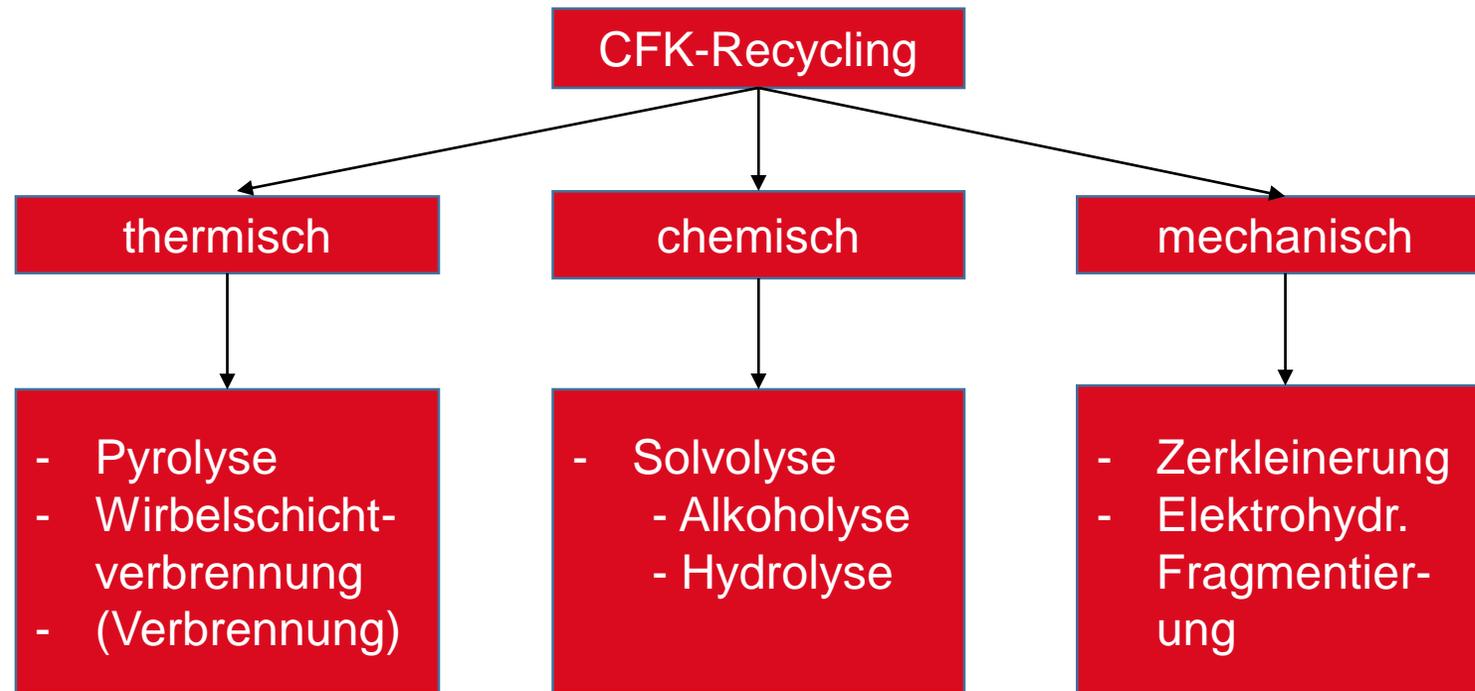
# Verbundprojekt ReLei

„Fertigungs- und **Recycling**strategien für die Elektromobilität zur stofflichen Verwertung von **Leichtbaustrukturen** in Faserverbund-Hybridbauweise“



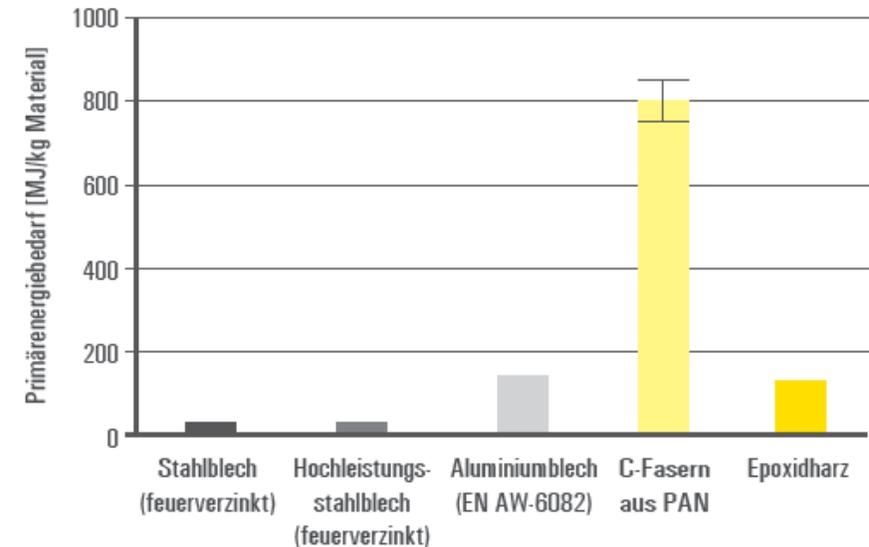


# CFK-Recyclingmethoden



# Warum ist das Recycling von CFK relevant?

- **Ökonomische Rahmenbedingungen**
  - Hoher Energiebedarf in der Primärproduktion der C-Faser
  - Faserpreis: ca. 20,- €/kg (abhängig von Faserart; Neuware)
- **Ökologische Rahmenbedingungen**
  - Enorme Energieeinsparungen möglich
  - Ressourcenschonung
- **Gesetzliche Rahmenbedingungen**
  - Altfahrzeugverordnung (Elektro-Fahrzeuge)
  - Deponieverordnung (organ. Anteil <5%)



Primärenergiebedarf typischer Fahrzeugkarosseriematerialien

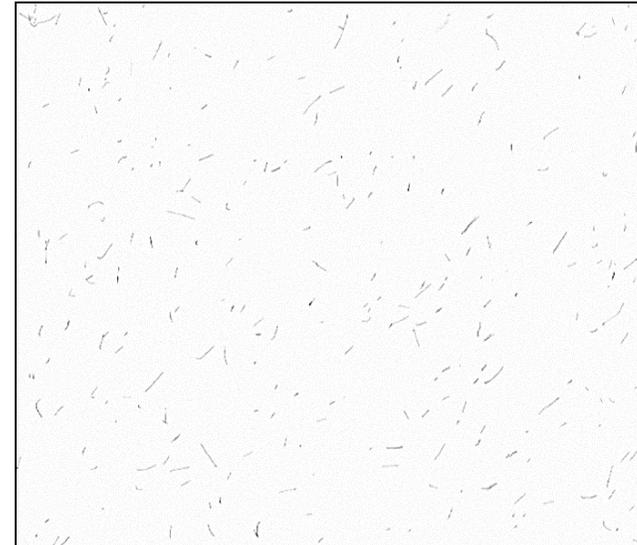
Quelle: E-MOBIL BW GMBH - LANDESAGENTUR FÜR ELEKTROMOBILITÄT UND BRENNSTOFFZELLENTechnologie BADEN-WÜRTTEMBERG

# Welche Qualitäten erreicht die Sekundärfaser?

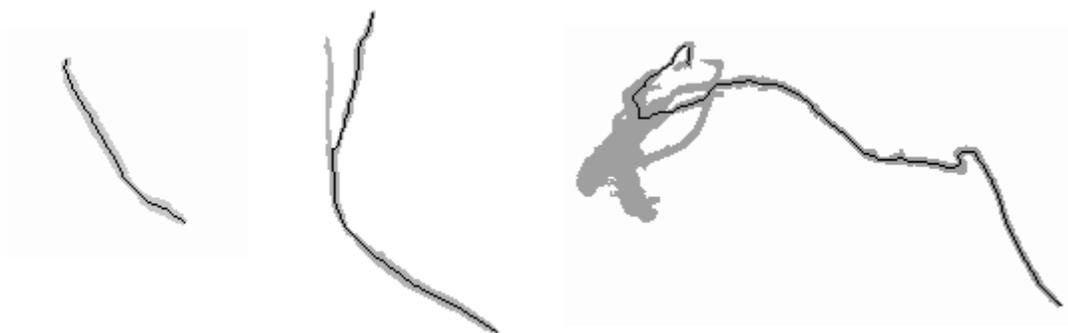
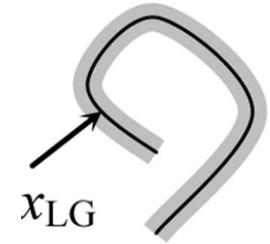
- Einsatzmöglichkeiten der Sekundärfaser sind unabdingbar von deren Qualität abhängig
- Einsatzmöglichkeiten der Sekundärfaser: Hybridgarne, Faservlies, Zugabe Spritzguss, u.a.
- **Qualitätsparameter**
- Faserlänge (Kurz-/Langfaser)
- Faserreinheit (Verunreinigungsgrad)
- Oberflächenschädigungen der Faser
- Mechanische Eigenschaften (insbesondere Zugfestigkeiten)
- Vorliegen von Faserschlichte

# Herausforderung der Faservermessung/ Faserlängenbestimmung

- Fasern weisen keine kugeläquivalente Form auf, sodass typische Partikelanalytikmethoden (Siebanalyse) nicht genutzt werden können → Bildanalytische Vermessung
- Fasern müssen vereinzelt vorliegen um bildanalytisch erfasst zu werden, nach Recyclingprozess liegen diese aber verknäuelst vor

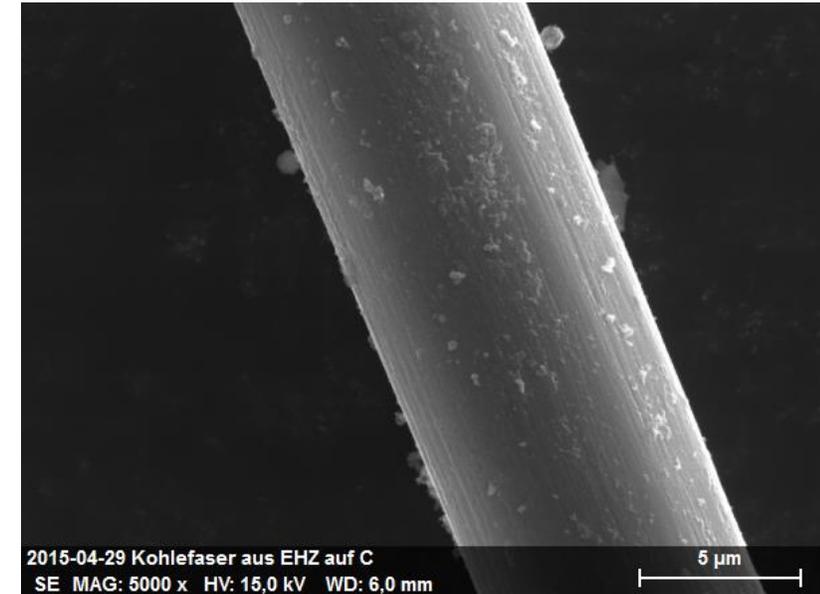


- Hochauflösende Kamera zur Fasererfassung erforderlich (  $d=7,0\dots8,0\mu\text{m}$  )
- Hinreichend große Probenmenge (dynamische Bildanalyse ist zu bevorzugen)
- Erkennen überkreuzliegender Fasern und Faserabzweigungen
- Beachtung von Faserkrümmungen (geodätische Länge)
- Multiskalenproblem (Länge im mm-cm-Bereich, Breite im  $\mu\text{m}$ -Bereich)
- Auswertesoftware muss dementsprechend präzise darauf angepasst werden
- Probleme existierender Faservermessungssysteme: geringe Durchsätze (statische Bildaufnahme) ermöglichen kaum repräsentative Aussage

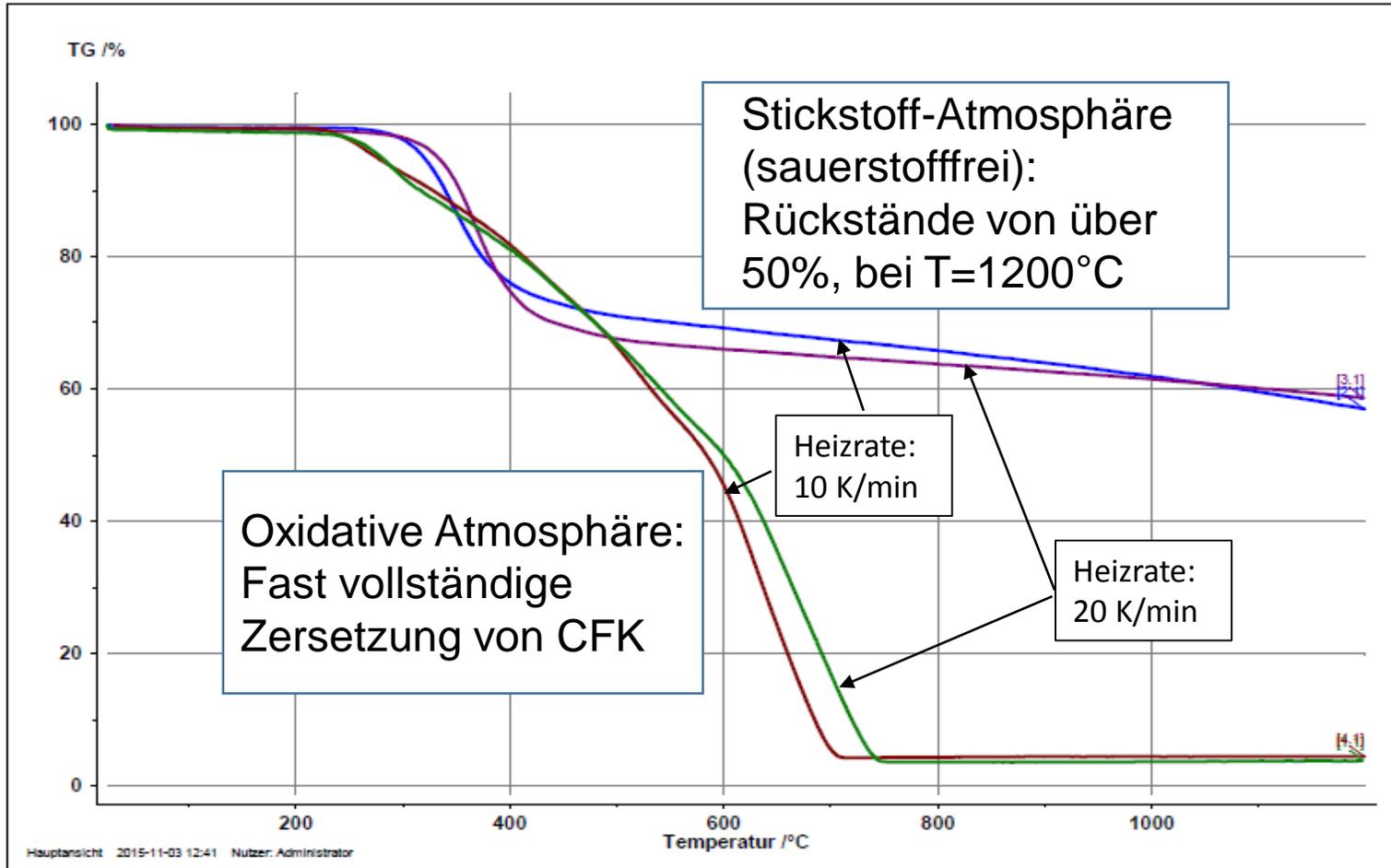


# Herausforderungen der Bestimmung der Faserreinheit

- Bestimmung des Anteils an Rest-Matrix-Anhaftungen
- *Quantitative Bestimmung*: durch chemisches oder thermisches Eliminieren des Kunststoff-Matrix-Anteils möglich
- Problematisch:
- Nur geringe Probenmenge analysierbar
- Nicht zerstörungsfrei durchführbar
- Nicht On-line umsetzbar
  
- *Qualitative Bestimmung*: mittels REM möglich
- Problematisch:
- nur sehr kleiner Probenausschnitt analysierbar

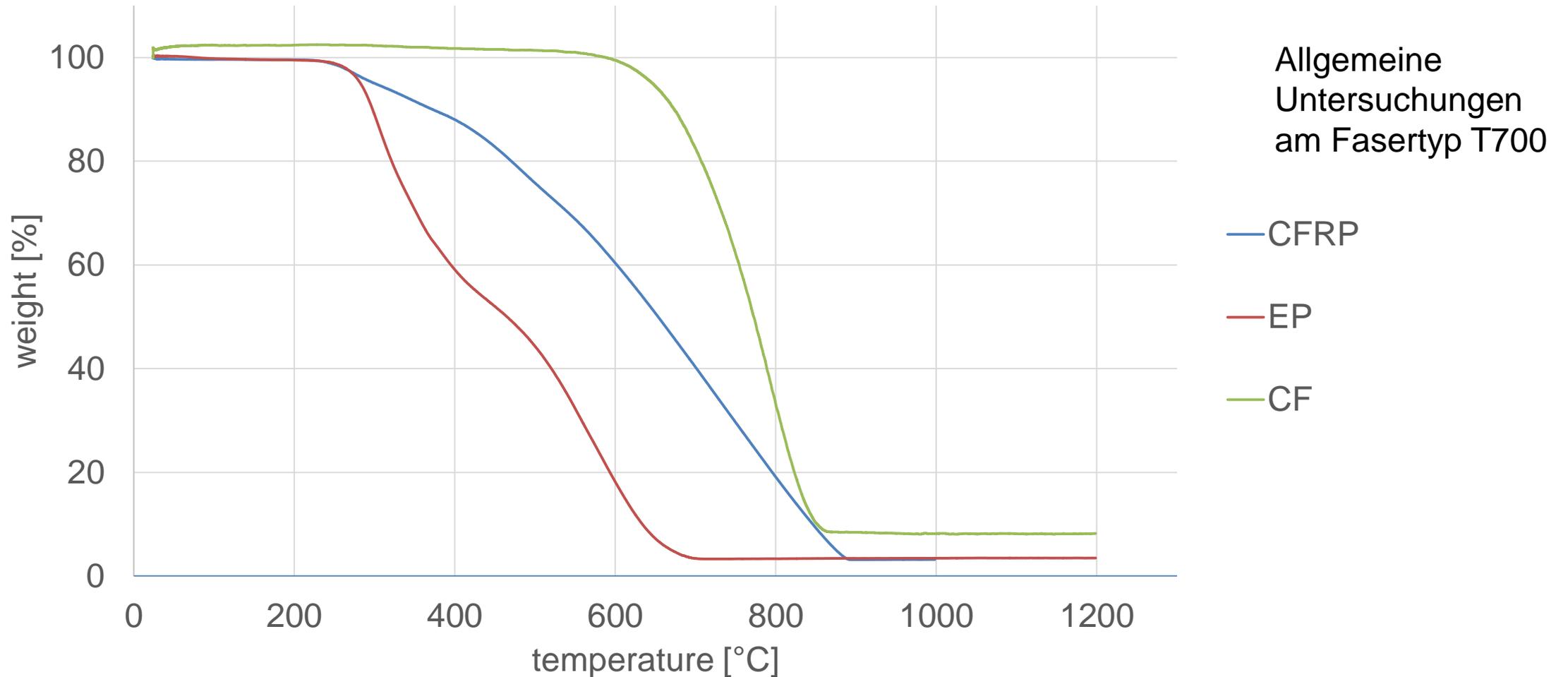


# Thermogravimetrie-Atmosphäre

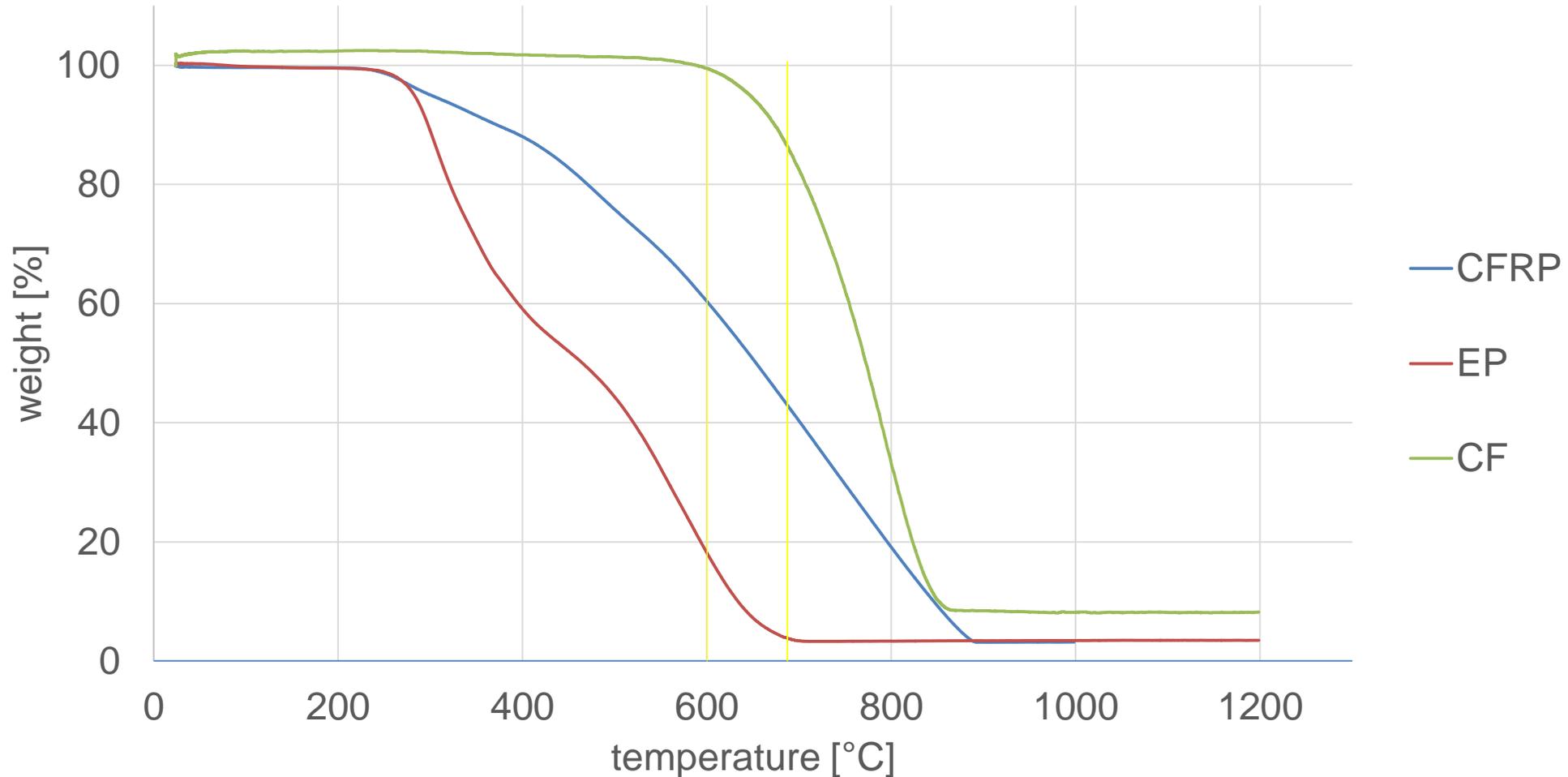


- Material: CFK
- Vergleich der Atmosphäre N<sub>2</sub> – N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>
- bei T=750°C ist die CFK-Zersetzung der oxidativen Atmosphäre beendet

# Thermogravimetrie - oxidative Atmosphäre (ca. 20% O<sub>2</sub>)

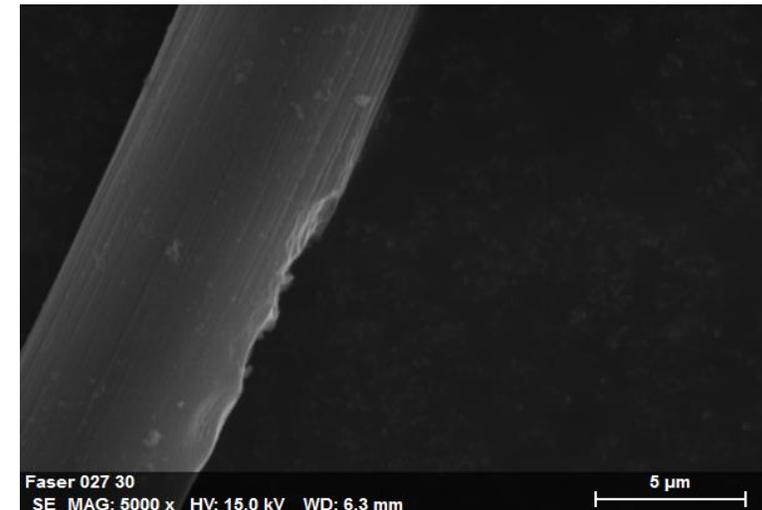


# Thermogravimetrie - oxidative Atmosphäre



# Herausforderungen der Bestimmung der Oberflächenschädigung der Faser

- Oberflächenschädigungen an der Faser können durch den Recyclingprozess hervorgerufen werden
- Mittels REM-/hochauflösender Mikroskopaufnahmen können diese Schädigungen erkannt werden
- Problematisch:
- Es wird nur ein kleiner ausgewählter Probenausschnitt betrachtet, keine repräsentative Aussage möglich
- Keine quantitative Aussage zur Schädigung möglich
- Erhöhter Präparationsaufwand



# Herausforderungen der Bestimmung der mechanischen Eigenschaften

- Problematisch:
- Zur Bestimmung der Zugfestigkeit mittels Einzelfaserzugversuch ist eine gewisse Faserlänge erforderlich, um die Faser in die Einspannvorrichtung einzubringen
- Nur einzelne Fasern werden untersucht
- Repräsentative Aussage kritisch
- Prüfung im Verbund schwierig
- Vergleichbarkeit mit Primärfaser fehlt



# Herausforderungen der Schlichteprüfung

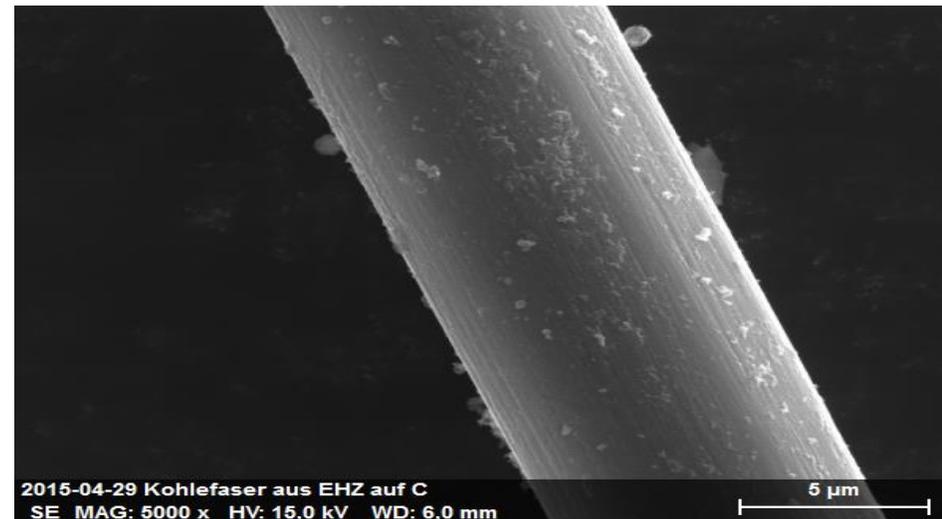
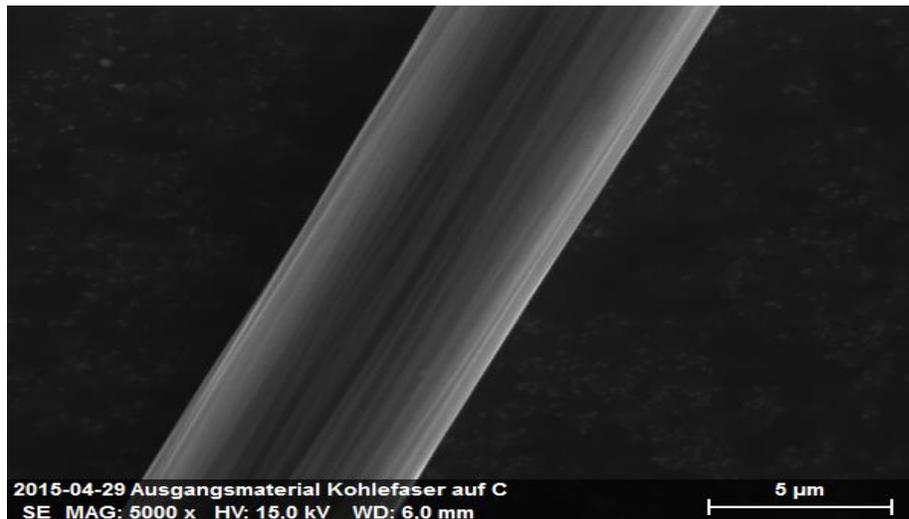
- Faserschlichte ist eine Matrix-basierte Schutzschicht, welche direkt nach dem Herstellungsprozess auf die Faser aufgebracht wird
- Schlichte führt u.a. zu erhöhten Faser-Matrix-Haftungen
- Unklar ist, ob der Recyclingprozess die Schlichte entfernt oder ob sie haften bleibt
  
- Problematisch:
- Exakte Zusammensetzung der Schlichte unklar, somit schwierig von der Matrix unterscheidbar
- Schicht der Schlichte ist extrem dünn (Nanometerbereich) und somit schwer erfassbar
- Unklar ist, ob beim Herstellungsprozess alle Fasern mit Schlichte versehen werden (vor allem im Roving)

# Zusammenfassung & Ausblick

- Enormer Forschungsbedarf hinsichtlich der Faseranalytik
- Faseranalytik bedingt Wiedereinsatz der Sekundärfaser & beurteilt Aufbereitungsprozess
- Vorgestellte Lösungsansätze sind alle weniger geeignet um Aussage über große Probenmenge zu treffen
- Wenn Fasern großtechnisch wirtschaftlich verwertet werden können, so muss eine On-Line Analytik entwickelt werden, um den Wiedereinsatz bewerten zu können
- Faserklassierung in verschiedene Qualitätsklassen erforderlich

# Zusammenfassung & Ausblick

- Ermöglichung eines repräsentativen Vergleichs von Sekundärfaser und Primärfaser



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Quelle: Sonderausstellung „Harter Stoff – Carbon – Das Material der Zukunft“ im Deutschen Museum in München