

Verwertungsoptionen für Carbonfasern am Ende des Lebenszyklus

Dieter Stapf, Werner Baumann, Hans-Joachim Gehrman, Sonja Mühlhopt, Carsten Weiss, Manuela Wexler

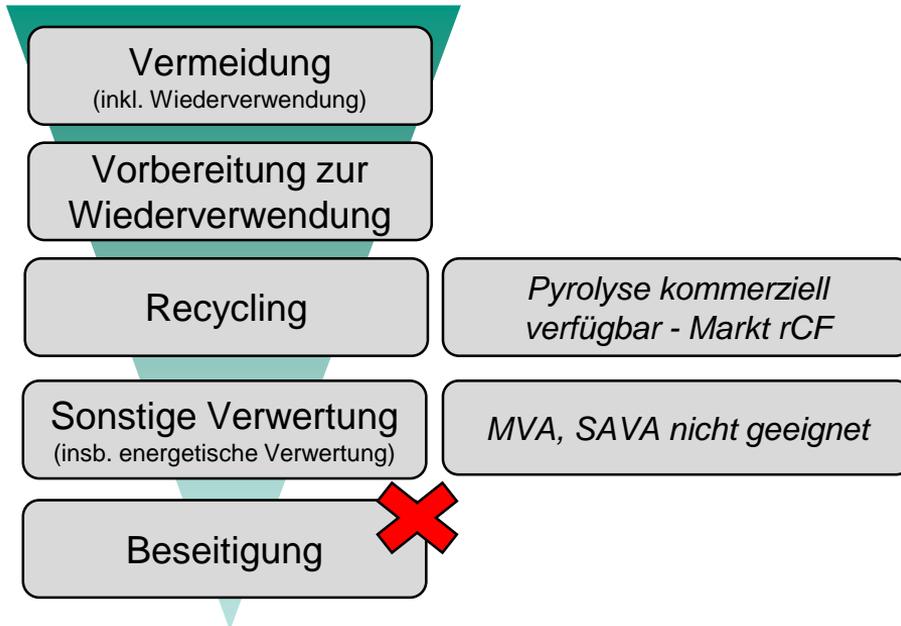
4. Fachtagung COMPOSITE RECYCLING & LCA
Online-Konferenz, 25.02.2021



Entsorgung faserhaltiger Abfälle

Ergebnisse des LAGA Ad-hoc Ausschusses

- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Arbeitsgremium der Umweltministerkonferenz
- Ad-hoc Ausschuss seit 2016, Bericht seit Herbst 2019 verfügbar

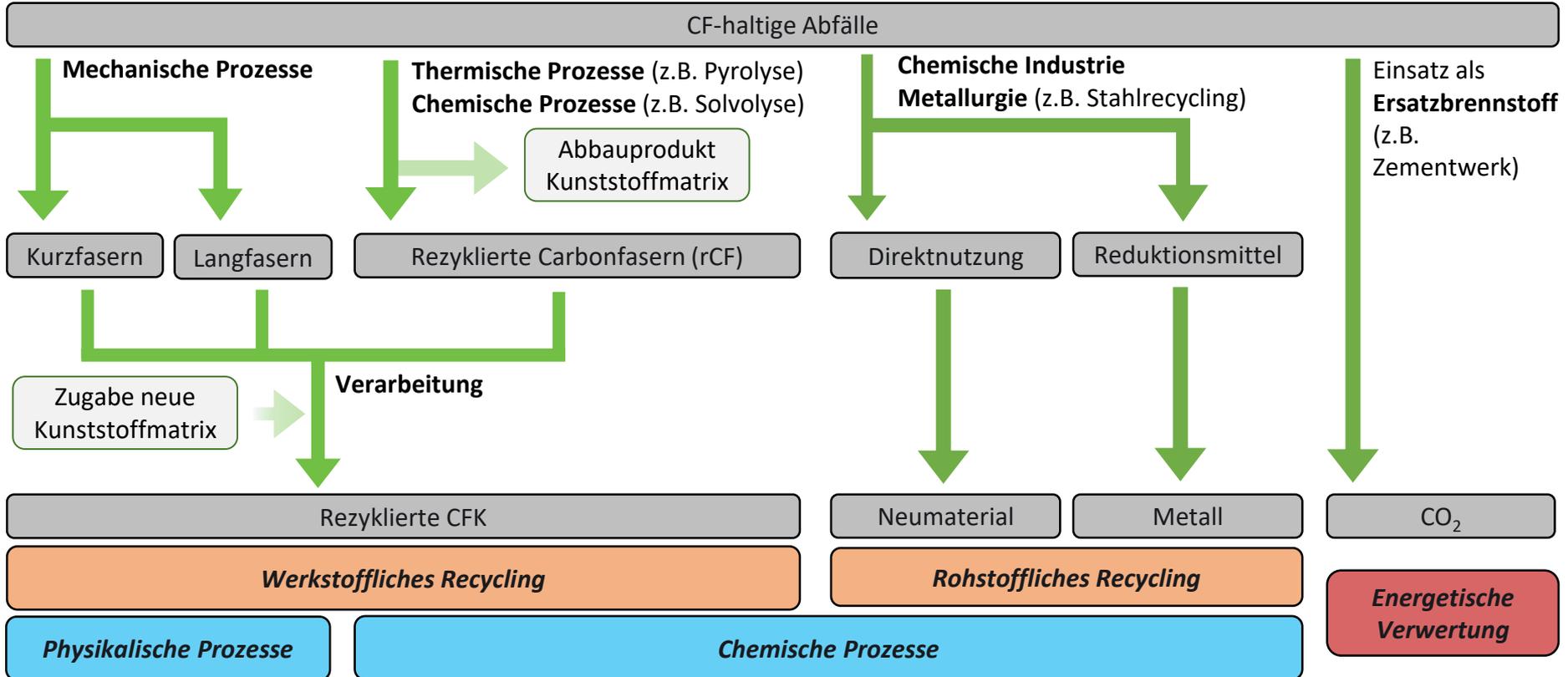


- Empfehlungen zum Umgang mit CF-haltigen Abfallströmen beinhalten:
 - Lagerung als Zwischenlösung
 - Kennzeichnung (Markierung, Abfallschlüssel)
 - Sammlung / Sammelsysteme
- Forschung in den Bereichen Sicherheit, Umwelt, technische Lösungen
 - Umgang mit Faserstäuben, WHO-Fasern

www.umweltministerkonferenz.de/documents/top-40-be-bericht_1575889426.pdf

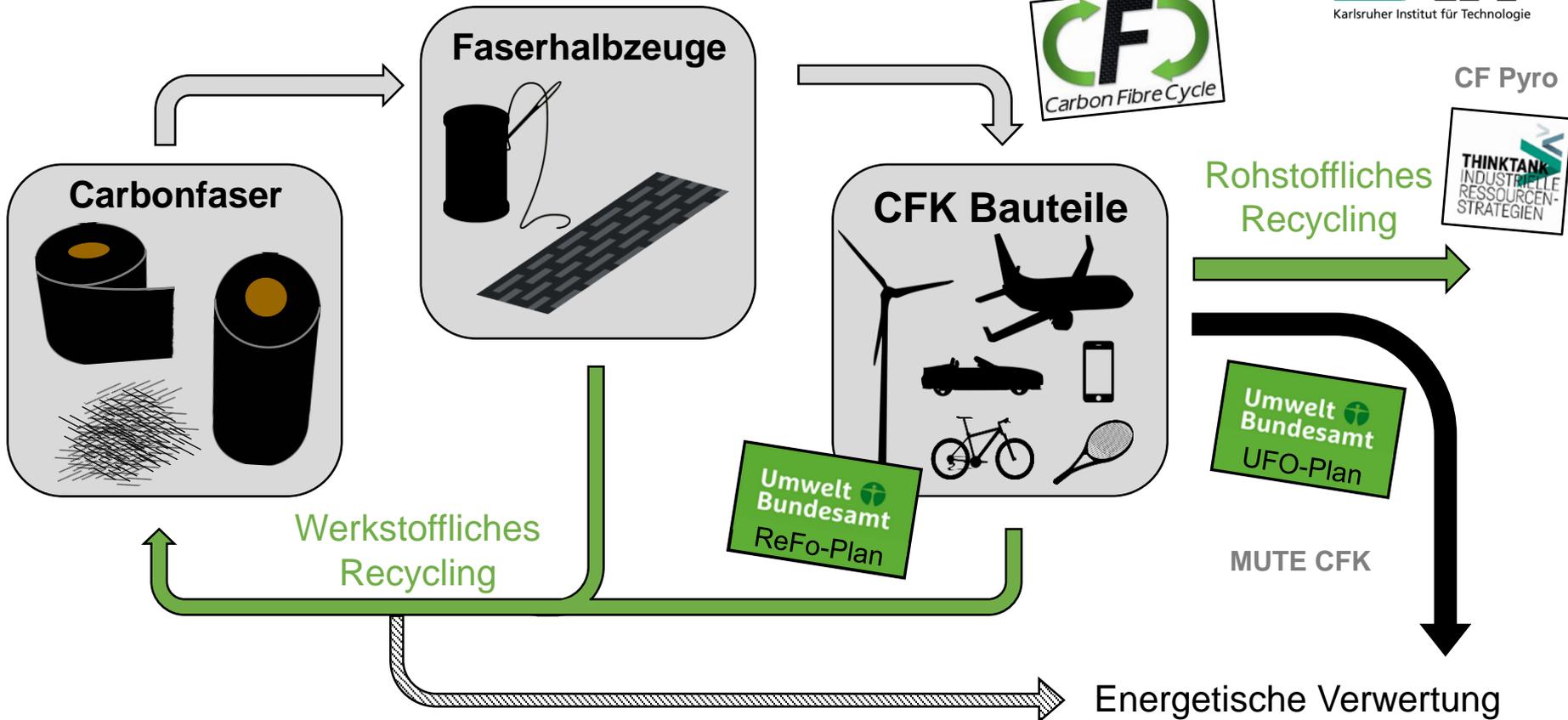
Entsorgung carbonfaserhaltiger Abfälle

Prozessrouten



Carbonfasern am Ende des Lebenszyklus

Aktuelle Forschungsprojekte



Untersuchungen zu Möglichkeiten und Grenzen der Entsorgung Carbonfaser-verstärkter Kunststoffabfälle in thermischen Prozessen unter Berücksichtigung möglicher Risiken im Umgang mit den prozessspezifischen Reststoffen

Projektpartner

- RWTH Aachen Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe (Leitung)
- KIT Institut für Technische Chemie
- TU Dresden Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik
- TH Nürnberg Institut für Interdisziplinäre Innovationen Partikeltechnologie und Rohstoffinnovationen
- Verein Deutscher Zementwerke
- MARTIN GmbH für Umwelt- und Energietechnik
- Indaver Deutschland GmbH
- HeidelbergCement AG



Gefördert vom Umweltbundesamt

- im Rahmen von UFO-Plan

Förderkennzeichen:

- FKZ 3716 34 318 0

Förderzeitraum

- 06.2016 bis 06.2020

Großtechnische Untersuchungen

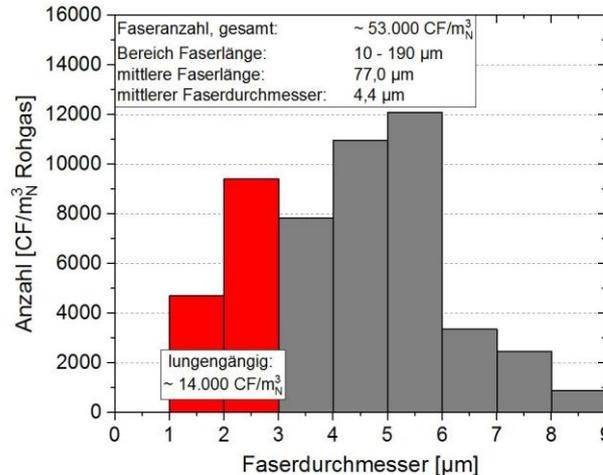
- Hausmüllverbrennungsanlage (MVA)
- Sonderabfallverbrennungsanlage (SVA)
- Zementwerk
- Elektroniederschachtöfen für Calciumcarbide

- Beprobung aller relevanter Prozessströme zur CF-Bilanzierung
- ITC: Beprobung Roh- und Reingas

Staubprobe aus Rohgas MVA
hinter Nachbrennkammer



Staubprobe
nach Aufbereitung

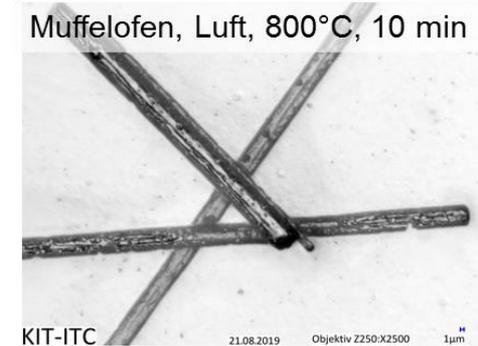
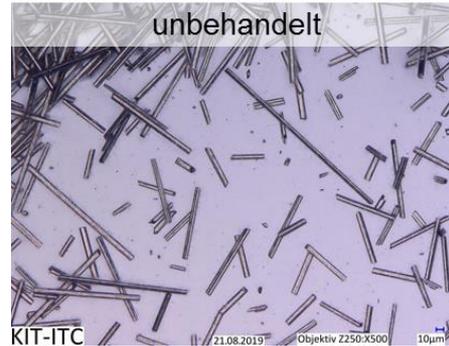


Im Normalbetrieb bei MVA / SVA
keine Faseremission über den
Kamin in die Umgebung

- Abschätzende Untersuchungen zu Verwertung
 - im Drehrohrföfen bei der Zementherstellung
 - bei CaC₂-Herstellung im Elektroniederschachtofen
- Abschlussbericht in Kürze verfügbar unter www.umweltbundesamt.de

PAN-basierte Carbonfaser

Filament Ø [µm]	7
Schlichte	keine



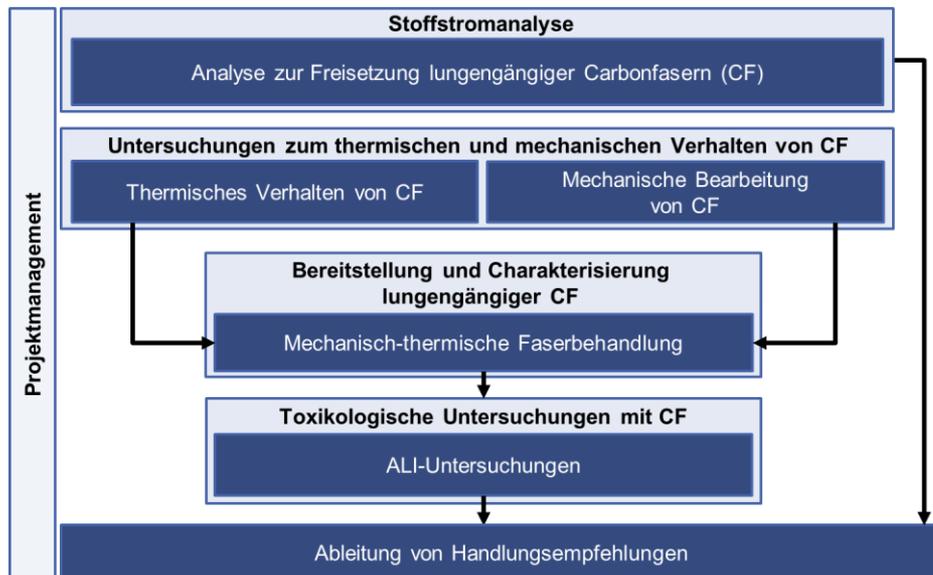
Pech-basierte Carbonfaser

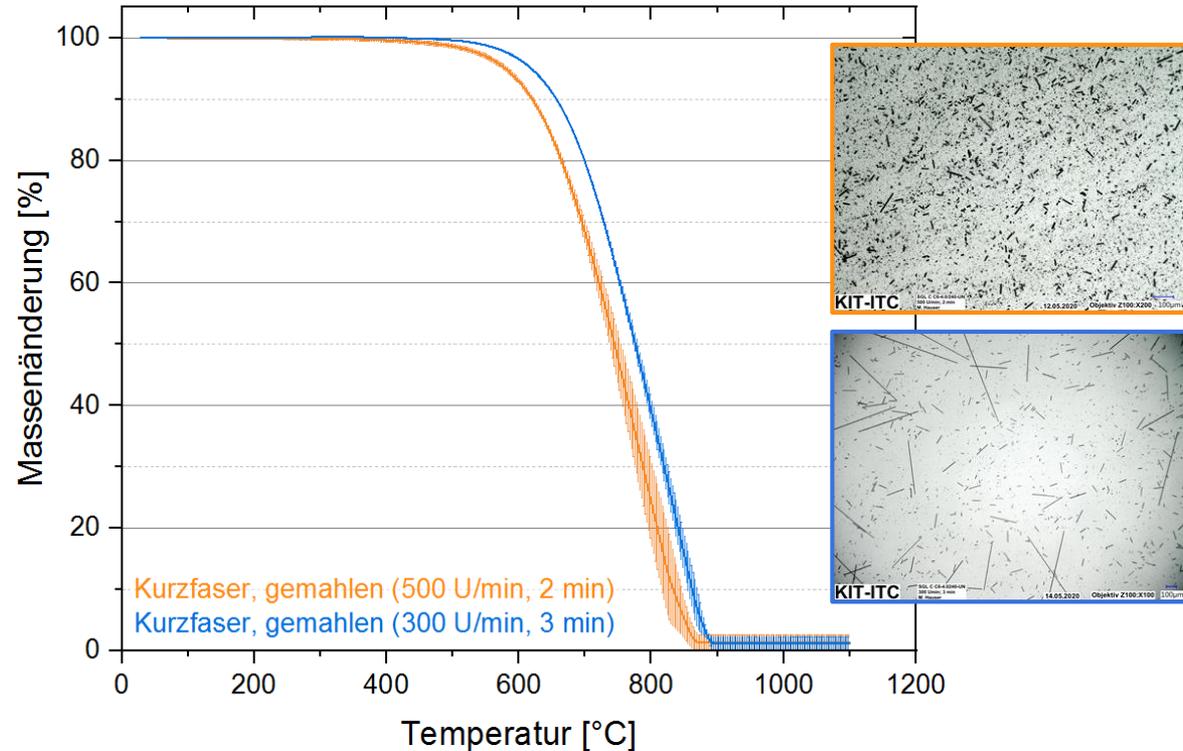
Filament Ø [µm]	11
Schlichte	2 % Epoxidharz



Carbonfasern im Kreislauf – Freisetzungsverhalten und Toxizität bei thermischer und mechanischer Behandlung

Projektlaufzeit: 01/2019 – 12/2021





Mechanische Bearbeitung von CF/CFK

Schneiden
Fräsen
Mahlen
...



Erzeugung
Aerosol



Aerosol-
charakterisierung

Trennvorrichtung
mit direkter Probennahme



Thermische Beanspruchung von CF/CFK

Muffelofen
Rohröfen
...



Erzeugung
Aerosol



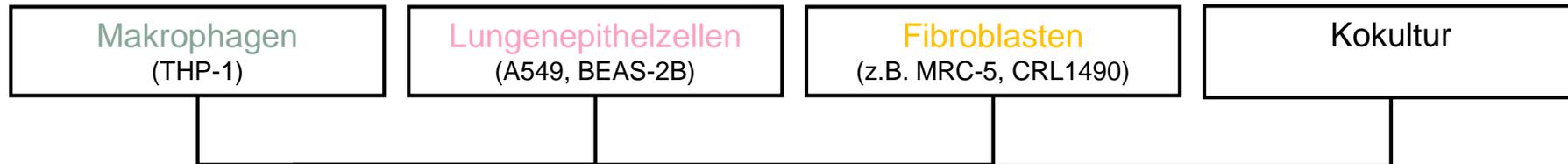
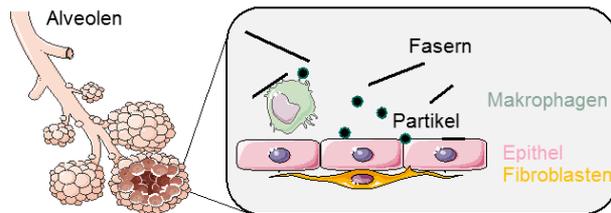
Aerosol-
charakterisierung

Toxikologische Untersuchungen

Aerosol-
charakterisierung



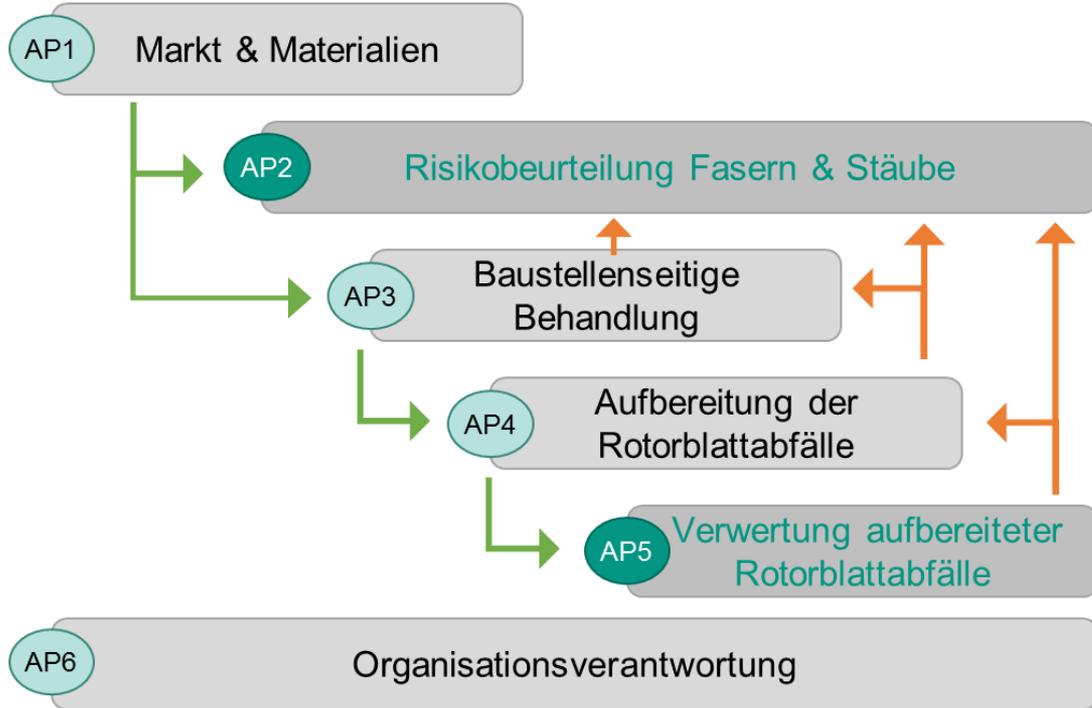
Messung der
applizierten
Dosis



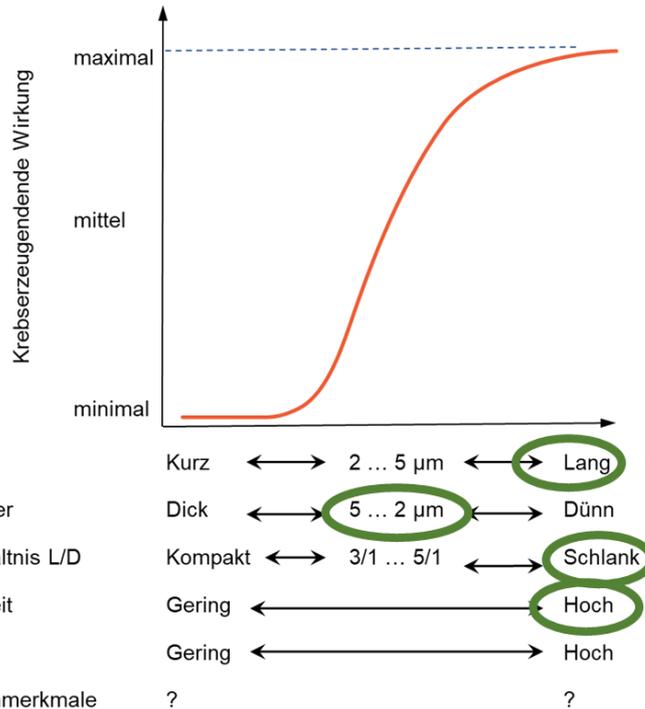
- Variation CF-Typen
- Variation CF-Konzentrationen
- Variation Expositionsdauer

Toxikologische Endpunkte

1. Aufnahme
2. Zytotoxizität
3. ROS Produktion
4. Anti-oxidative / Inflammatorische/ Fibrotische Wirkung
5. Genotoxizität



Toxikologische Betrachtung der Carbonfasern



→ Chemisch-physikalische Eigenschaften lassen asbestähnliches Verhalten vermuten

Frühere Studien lieferten Hinweise auf geringere Toxizität von C-Faser- & CFK-Stäuben im Vergleich zu Asbest & Silika-Stäuben

Aber:

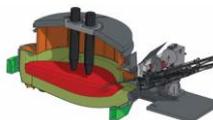
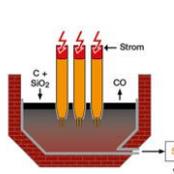
- Bisherige Studien (länger zurück liegend): oftmals Untersuchung von nicht-lungengängigen Fasern
- Aktuelle Untersuchungen für WHO-Partikel $D < 3\mu\text{m}$, PECH-Basis nötig

Weitere Untersuchungen & Recherchen für abschließende Bewertung nötig

→ Projekte CarbonFibreCycle (CFC) und CarboBreak in Bearbeitung

Recycling von Carbonfasern

- **Pyrolyse:** Stand der Technik - Marktnachfrage rCF
- Untersuchungen im Labor- oder Pilotmaßstab zu *induktiver Erwärmung*, *Solvolyse* (Rückgewinnung des Monomers) und *Fragmentierung*
- Mechanisches Recycling: Schreddern mit nachfolgender Compoundierung und Spritzgießen (Halbzeug)
- Mögliche chem. / **pyrometallurgische Prozesse zum Recycling von CFK:**

	Elektrolichtbogenofen (EAF)	Hochofen	Badschmelzofen		
	 <p>Spektrum der Wissenschaft, 1998</p> <p>BSW, 2016</p>	 <p>www.chem2do.de</p>	 <p>J. I. R. Müller (2017)</p>		
Produkt	Elektrostahl	Kalziumcarbid	Silicium	Roheisen	u. a. Kupfer, Blei
Verwertung	Rohstofflich (Reduktionsmittel)				
Temperatur*	ca. 1.600 °C	≥ 2.000 °C	ca. 2.100 °C	ca. 1.500 °C	ca. 1.500 °C
Atmosphäre	reduzierend	reduzierend	reduzierend	reduzierend	reduzierend
Verweilzeit*	ca. 40 min	Stunden	k.A.	Stunden	

*) bezogen auf Schmelze, bzw. Feststoff

Verwertung von Carbonfasern und carbonfaserverstärkten Kunststoffen bei der Stahlherstellung im Schmelzofen

Förderung durch:

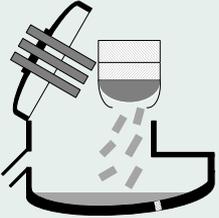
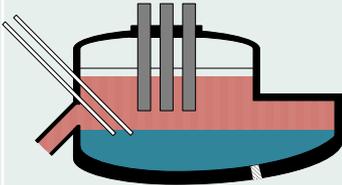
- THINKTANK Industrielle Ressourcenstrategien (www.thinktank-irs.de/)
- Klimaneutrale, ressourcenarme Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe (L7518017)

Förderzeitraum:

- 01.2019 – 12.2021

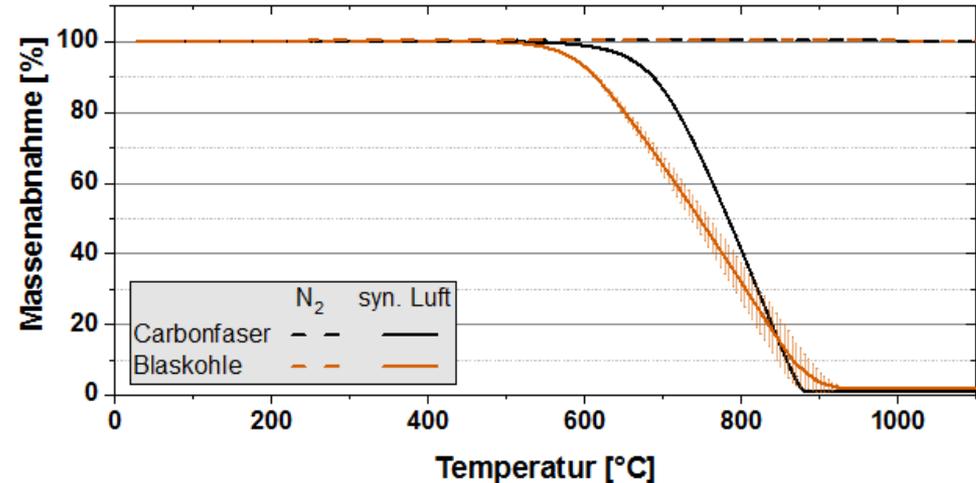
Projektpartner:

- Badische Stahlwerke in Kehl (BSW)

Chargenkohle	Blaskohle
	
Chemischer Energieeintrag	Bildung Schaumslagge
<ul style="list-style-type: none"> Mittlere Reinheit Mittlere Körnung 	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Reinheit Feine Körnung

Einsatz von verschiedenen CF-haltigen Abfällen nach Aufbereitung möglich

- Betrachtung des gesamten Prozesses
 - Prozessbedingungen
 - Materialhandling
 - Einfluss auf Produkt & Reststoffe



Zusammenfassung

- Nachfrage an CF/CFK steigt beständig an – End-of-Life Abfallströme folgen
 - UBA-Projekt legt Fokus auf hochwertige Verwertung von Rotorblättern, u.a. CFK
- Entsorgungsprozess für End-of-Life CF fehlt
 - Energetische Verwertung nach dem Stand der Technik nicht möglich
 - Rohstoffliche Verwertung beim Metallrecycling wird untersucht (wenige Projekte)
- Toxizität lungengängiger CF-Typen noch nicht geklärt
 - Projekt CarbonFibreCycle:
 - Beschreibung von Freisetzungsszenarien
 - Exposition kritischer CF-Typen
 - Toxikologische Untersuchung und Bewertung

