

20.09.2019

---

# **VERWERTUNG CARBONFASERHALTIGER RESTSTOFFE IN DER PYROMETALLURGIE**

Christian Adam & Karin Weimann

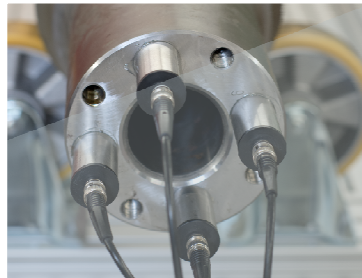
Fach Austausch: Aufbereitung und Verwertung  
carbonfaserhaltiger Abfälle

19./20. September 2019 in Dessau

## Sicherheit in Technik und Chemie



Die BAM ist eine Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)



## Themenfelder im Überblick



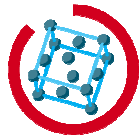
**THEMENFELD  
ENERGIE**



**THEMENFELD  
INFRASTRUKTUR**



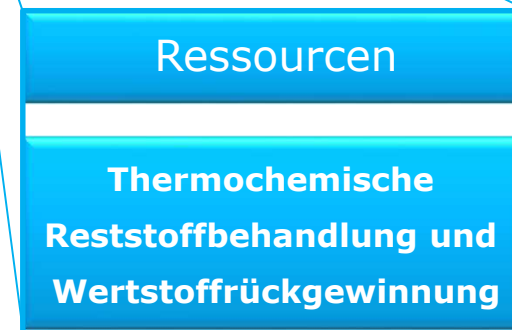
**THEMENFELD  
UMWELT**



**THEMENFELD  
MATERIAL**



**THEMENFELD  
ANALYTICAL SCIENCES**

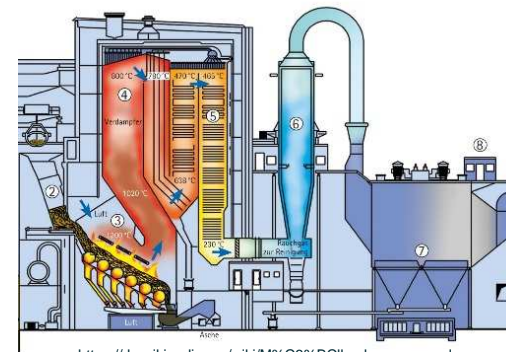


# Probleme bei der thermischen Entsorgung in Verbrennungsanlagen



## Verbrennungsanlagen (Hausmüll, Sondermüll)

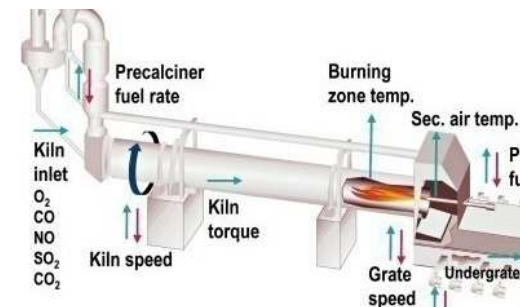
- „Geringe“ Temperaturen  $< 1.300^{\circ}\text{C}$
- Geringe Verweilzeit in der Verbrennungszone
- Hohe Gasvolumenströme  
→ Mitreißen von Fasern



[https://de.wikipedia.org/wiki/M%C3%BCllverbrennungsanlage\\_Flingern#/media/File:MVA\\_flingern\\_querschnitt.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/M%C3%BCllverbrennungsanlage_Flingern#/media/File:MVA_flingern_querschnitt.jpg)

## Zementofen

- „Hohe“ Temperaturen  $> 1400^{\circ}\text{C}$
- Einblasen des Brennstoffs und damit geringe Verweilzeit bei hoher Temperatur
- Hohe Gasvolumenströme  
→ Mitreißen von Fasern



[http://www.zkg.de/de/artikel/zkg\\_2012-02\\_Trends\\_in\\_der\\_Zementofen-Brenntechnik\\_1368468.html](http://www.zkg.de/de/artikel/zkg_2012-02_Trends_in_der_Zementofen-Brenntechnik_1368468.html)

# Pyrometallurgische Prozesse als Alternative?



## Pyrometallurgische Prozesse kommen in Frage

- Hohe Temperaturen  $>1.500^{\circ}\text{C}$
- Hohe Verweilzeiten
- C als Reduktionsmittel
- Strömungsgeschwindigkeiten unterschiedlich!  
Mitreißen von Fasern?



# Pyrometallurgische Verfahren (Beispiele)

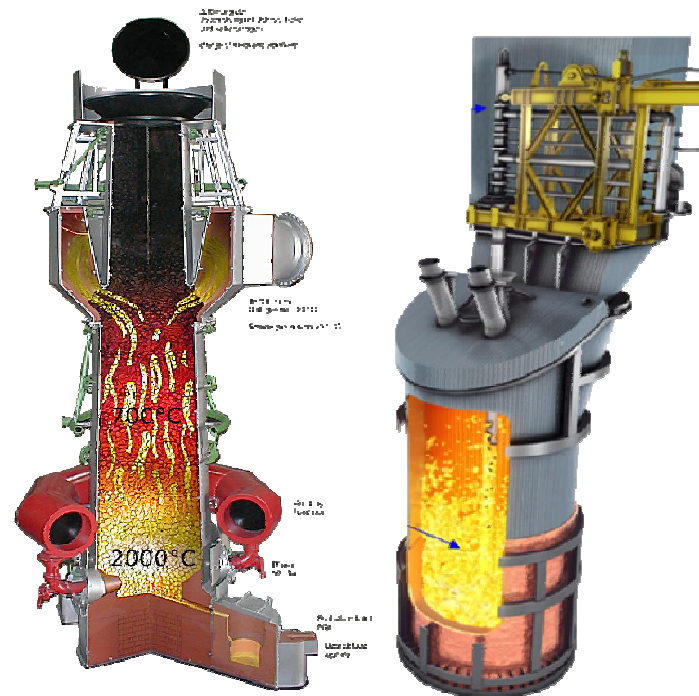


Hohe Temperaturen  $\sim 2000^{\circ}\text{C}$

aber

Hohe Strömungsgeschwindigkeiten:

- wie verhält sich ein CFK-Bauteil?
- Mitreißen von Fasern?
- eventuell Konditionierung erforderlich?

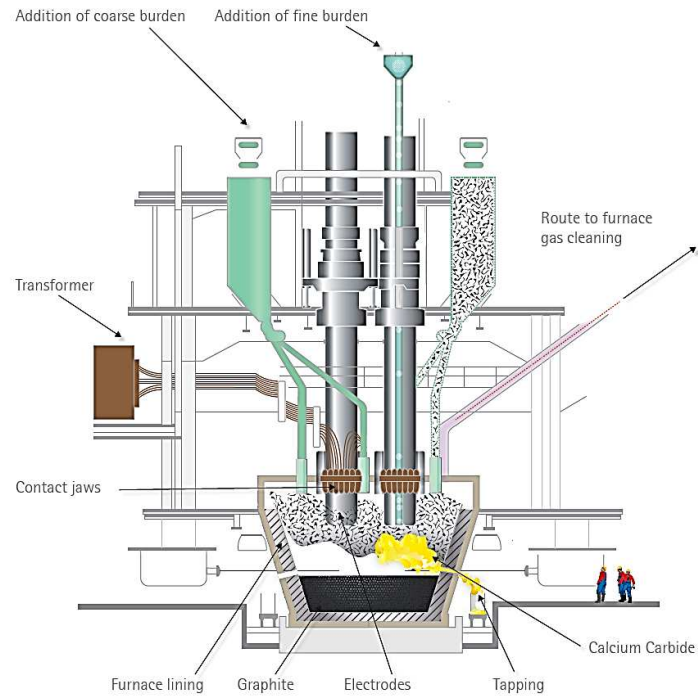


Kupolofen

TSL Technologie

links: <https://www.duktus.com/cast-iron-pipe-technology.html>  
rechts: The Outotec® Direct Zinc Smelting Process Proceedings of EMC 2015

# Carbidproduktion: Elektroniederschachtofen AlzChem AG



Folie von Tobias Walter, AlzChem AG

# Stahlproduktionsroute



- Schmelzen von Stahlschrott
- Temperaturen  $> 1600^{\circ}\text{C}$
- Zugabe CFK-Abfälle mit Stahlschrott
- CFK wirkt als Reduktionsmittel und substituiert Koks
- Turbulente Strömungen?
- Fasern in der Abluft und am Arbeitsplatz?

Initiative Dr. Henning Schliephake  
Projektleitung NoWASTE  
Georgsmarienhütte GmbH

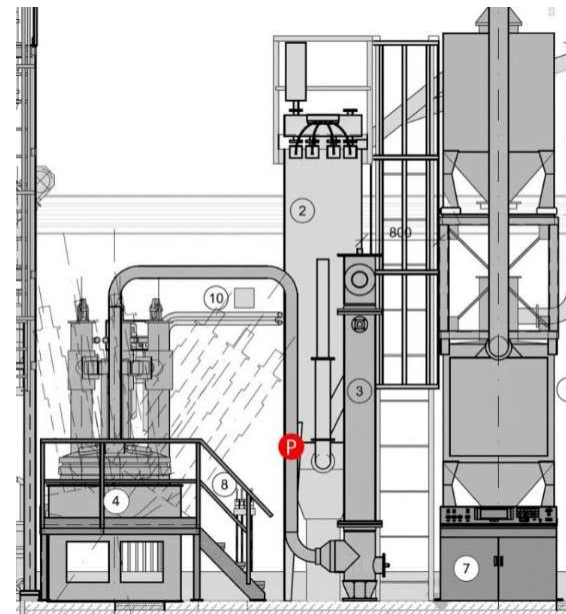
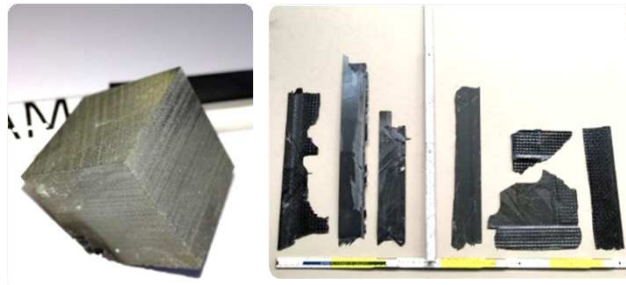


Lichtbogenofen

## Stahlproduktionsroute



- Voruntersuchungen an der BAM
- Stahlwerksschlacke im kleintechnischen ELO geschmolzen
- CFK-Abfälle in die Schmelze gegeben
  - Schlacke-Briketts mit 3% und 6% CFK
  - CFK Bauteile
  - CFK Würfel



Kleintechnische  
Lichtbogenofenanlage BAM

- Fasermessung in Ofenatmosphäre,  
Abluft (P) und Arbeitsumgebung

# Stahlproduktionsroute

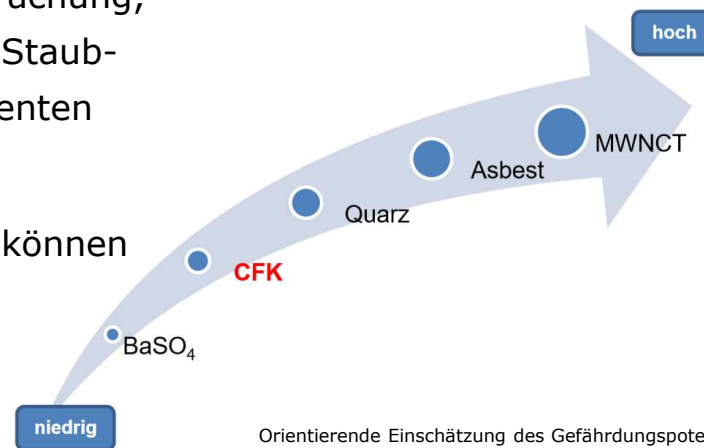


## Fasermessungen

Mögliche Auswirkungen auf die Gesundheit beim Umgang mit carbonfaserhaltigen Materialien durch die Bildung von WHO-Fasern (lungengängig) erfassen

### in Abhängigkeit vom Fasertyp:

- schon bei mechanischer Beanspruchung, z.B. Schneiden, kann eine hohe Staubbelastung auch mit WHO-Fragmenten (lungengängig) entstehen
- bei thermischer Beanspruchung können bereits ab 650°C WHO-Fasern auftreten



[Quellen: A. Meyer-Plath, BAuA 2018, S. Eibl, WiWeB 2015]

Orientierende Einschätzung des Gefährdungspotentials  
ausgewählter Fasern und Partikel  
[Quelle: H.C. Keßeler, IPA 2018]

# Stahlproduktionsroute



## Voruntersuchungen an der BAM

(Auftrag C.Ce.V.)

in Kooperation mit TEER

(RWTH Aachen)

## Gasprobenahmen

Arbeitsumgebung

Ofenraum mit SiC-Lanze



Sonde in Abluftleitung  
(isokinetische Probenahme)



## **Stahlproduktionsroute**

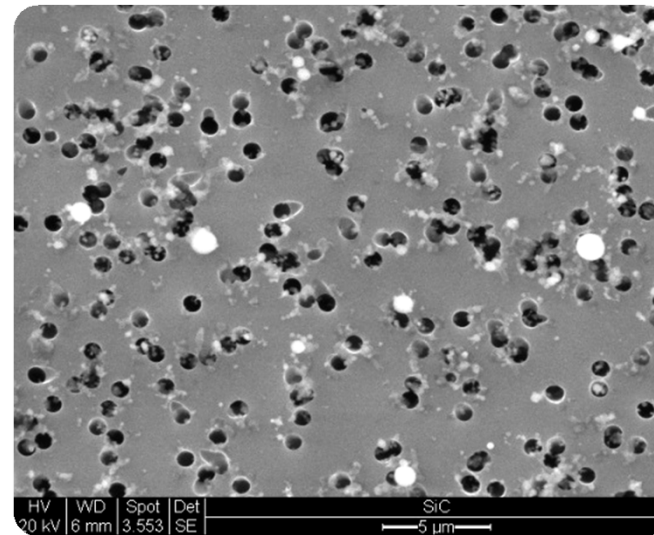
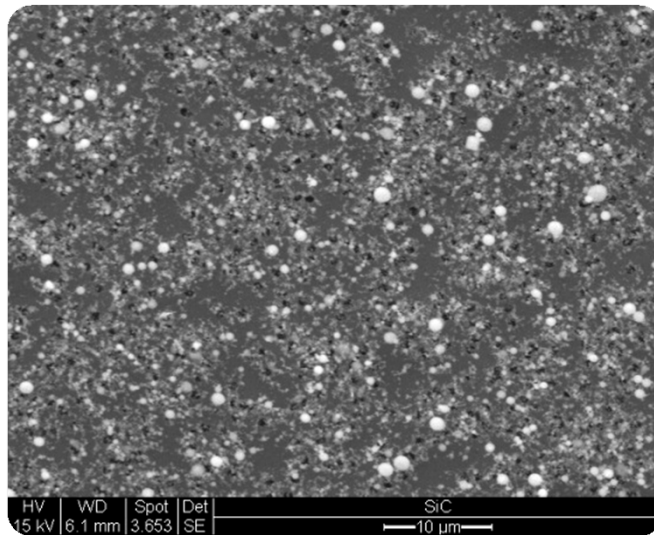


# Stahlproduktionsroute



## Befunde aus den ersten Messreihen:

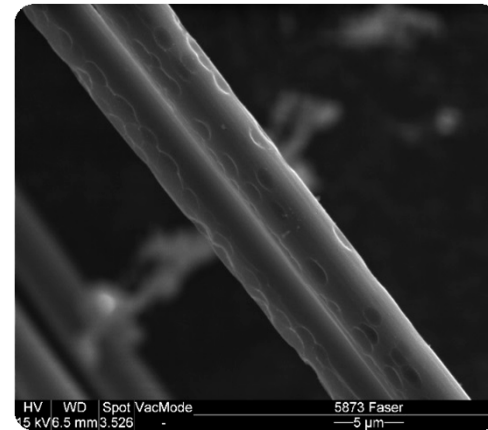
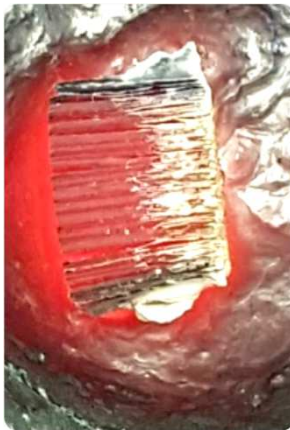
- Keine C-Fasern in der Ofenatmosphäre
- Keine C-Fasern in der Abluft
- Keine C-Fasern in der Arbeitsumgebung



# Stahlproduktionsroute



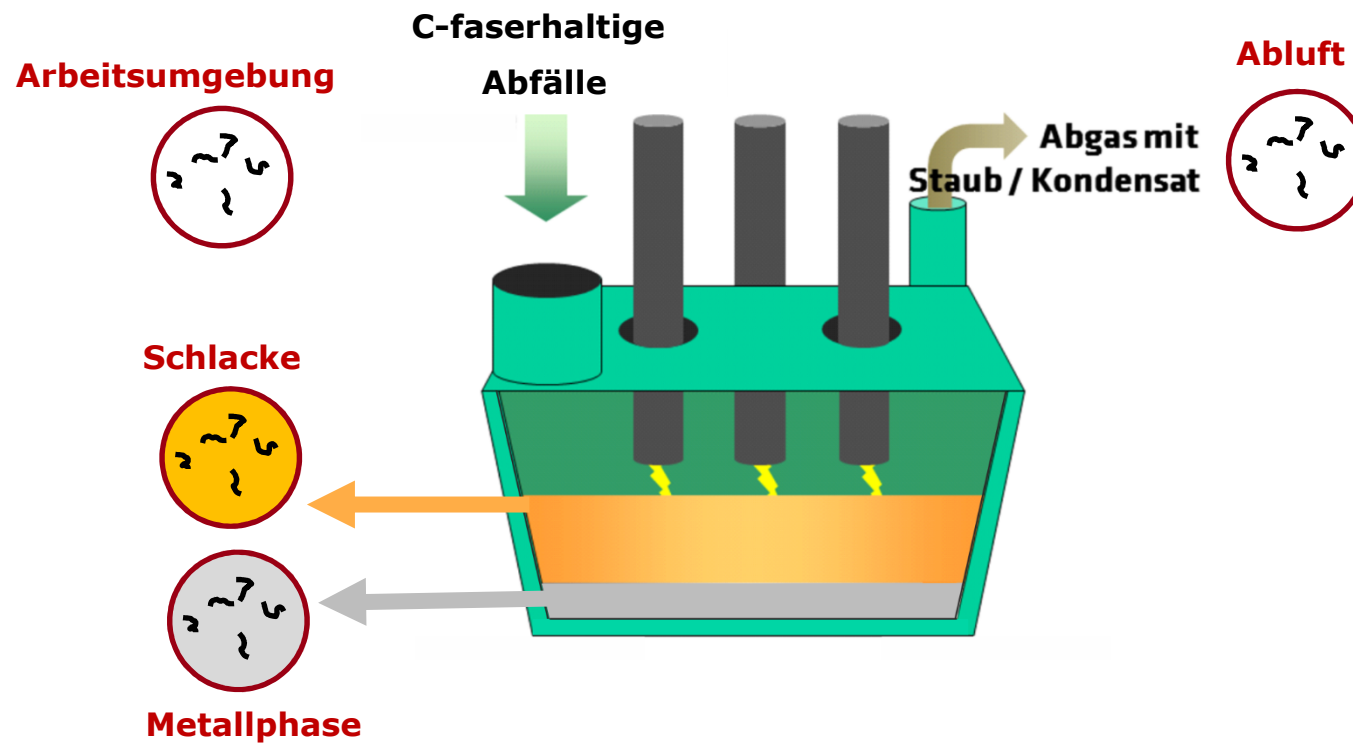
## CFK-Teile nach kurzer Beanspruchung im Ofen



Potentiale für Faserfreisetzung sind vorhanden!

⇒ weiterer Forschungsbedarf

# Analytische Herausforderungen



## Zusammenfassung



- Pyrometallurgische Verfahren können für die Verwertung von CFK-Abfällen geeignet sein
- Geringe Gasströmung vorteilhaft, um Faseraustrag zu vermeiden
- Calciumcarbidherstellung ist eine vielversprechende Verwertungsoption  
⇒ weitere Untersuchungen erforderlich
- Stahlproduktionsroute scheint ebenfalls geeignet
  - keine Freisetzung von C-Fasern im kleintechnischen ELO der BAM⇒ weitere Untersuchungen erforderlich

## Ausblick



### Zukünftig zu bearbeitende Themen

- Ermittlung besonders geeigneter pyrometallurgischer Routen  
(Stahl, Eisen, NE-Metalle, Refraktärmetalle, etc.)
- Weitere C-faserhaltige Abfälle?
  - C-Faserreste aus Aufbereitungsprozessen für C-Beton  
(z.B. dichtesortierte Sandfraktion)
  - C-faserhaltige Stäube (vorab konditioniert z.B. aus C-Betonbearbeitung)
  - nicht rezyklierbare Carbonfasern aus anderen Aufbereitungsprozessen  
(z.B. Kurzfasern, Fasergemische)
- Untersuchungen zur Vorkonditionierung C-faserhaltiger Abfälle
- Ausarbeitung sicherer Verwertungsverfahren (gesamter Pfad)
- Bereitstellung von Handlungsempfehlungen

**Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

