



Bundesanstalt für Arbeitsschutz
und Arbeitsmedizin

Carbonfasern als Quelle alveolengängiger Fasern?

Dominic Kehren

Arbeitsschutz bei der Behandlung faserhaltiger Abfälle

Anwendungs-
sicherheit

Safety by
Design

Prevention through
Design

EARLY

BEST



Control
effectiveness

ELIMINATION

Design it out

SUBSTITUTION

Use something else

ENGINEERING CONTROLS

Isolation and guarding

ADMINISTRATIVE CONTROLS

Training and work scheduling

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

Last resort

BEST



Business
value

Point during development

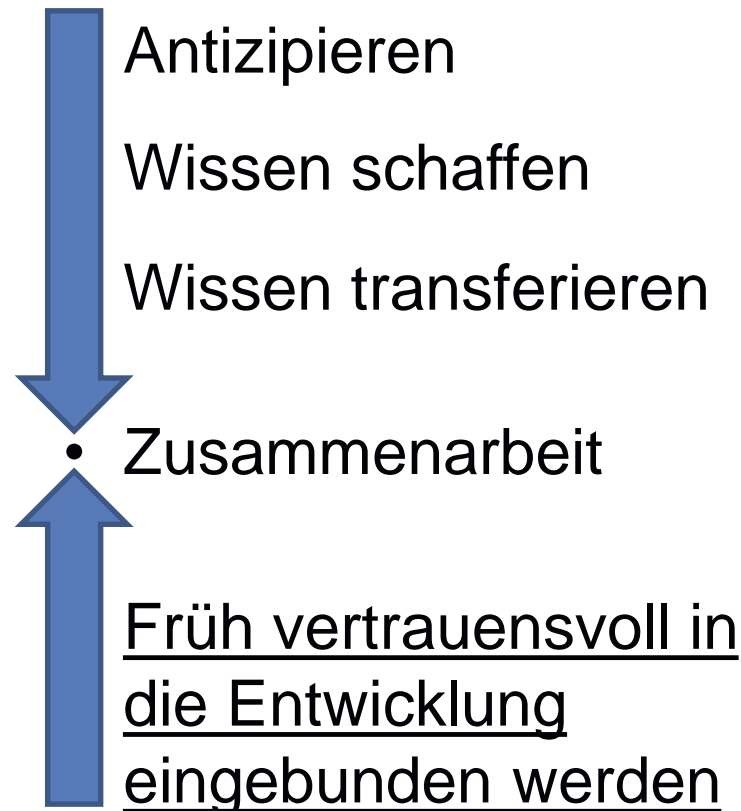
[Peterson 1973]

Arbeitsschutz bei der Behandlung faserhaltiger Abfälle

Anwendungs-
sicherheit

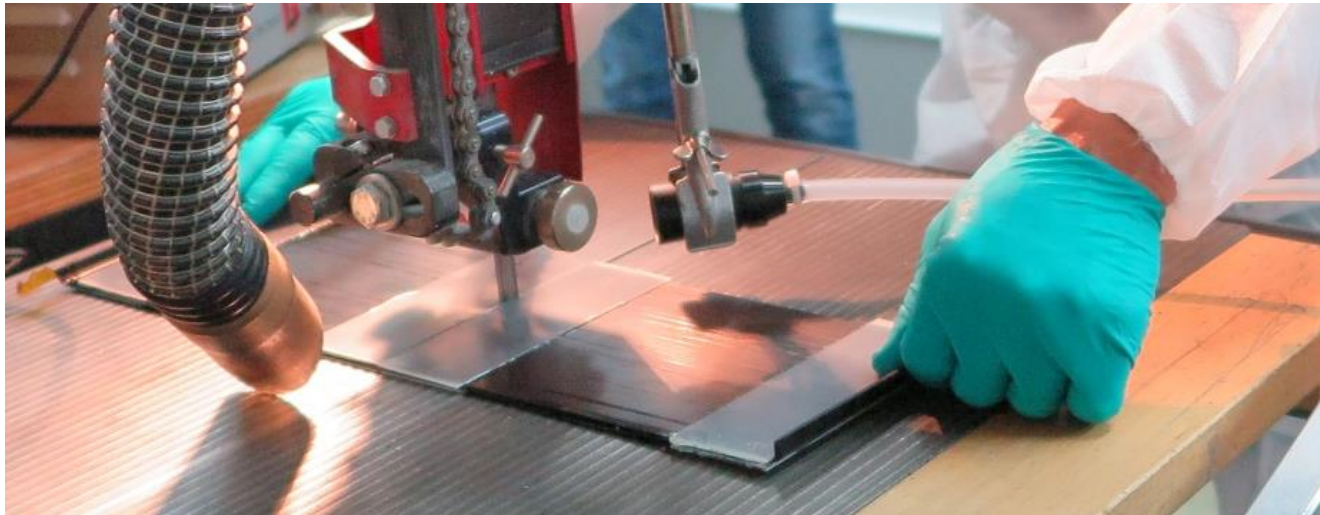
Safety by
Design

Prevention through
Design



ELSE – Lastwechselfeste Harzsysteme für Energiespeicheranwendungen (BMWi)

- Messungen am Arbeitsplatz zur Identifikation freigesetzter Partikel/Faser
 - Orientierende Arbeitsplatzmessung **ohne Schichtbezug**
 - Pech-basierte Carbonfaser



Nahfeldmessung während des **Sägeprozesses**

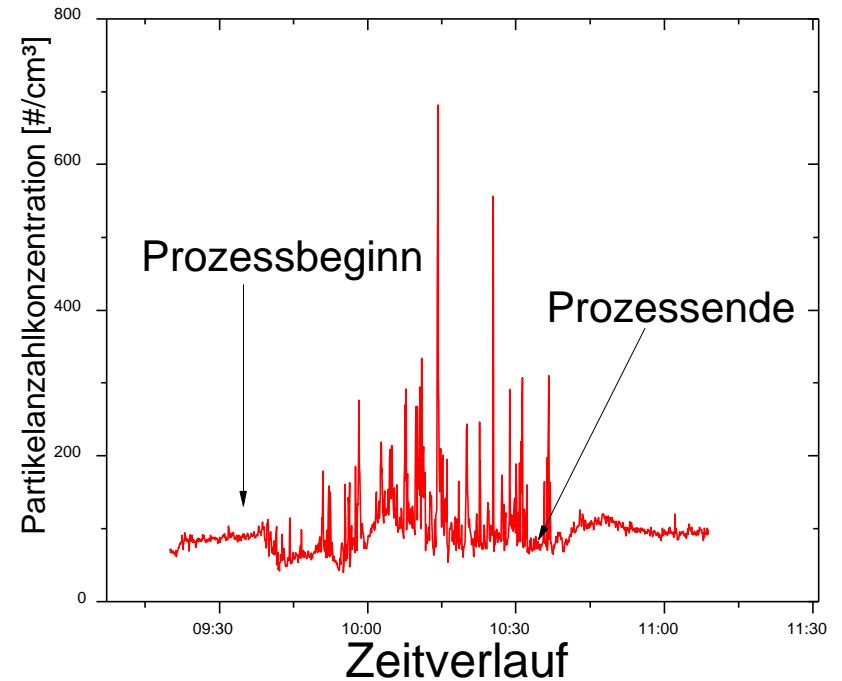
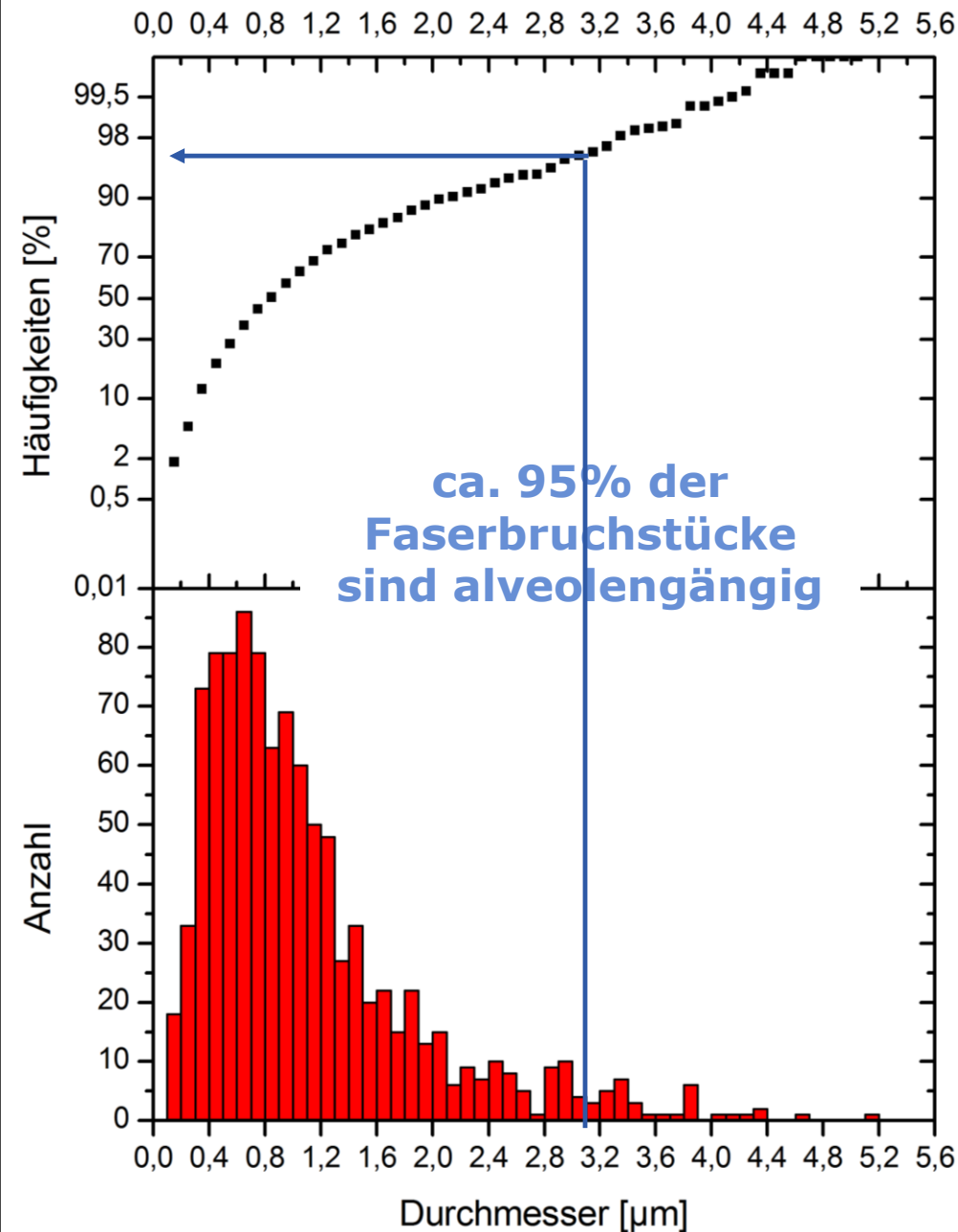
WHO-Objekte		Faseranzahl- konzentration (WHO) [F/m³]	95%- Vertrauensbereich [F/m³]
Einzelne Fasern	Agglomerate		
116	28	832.519	980.137

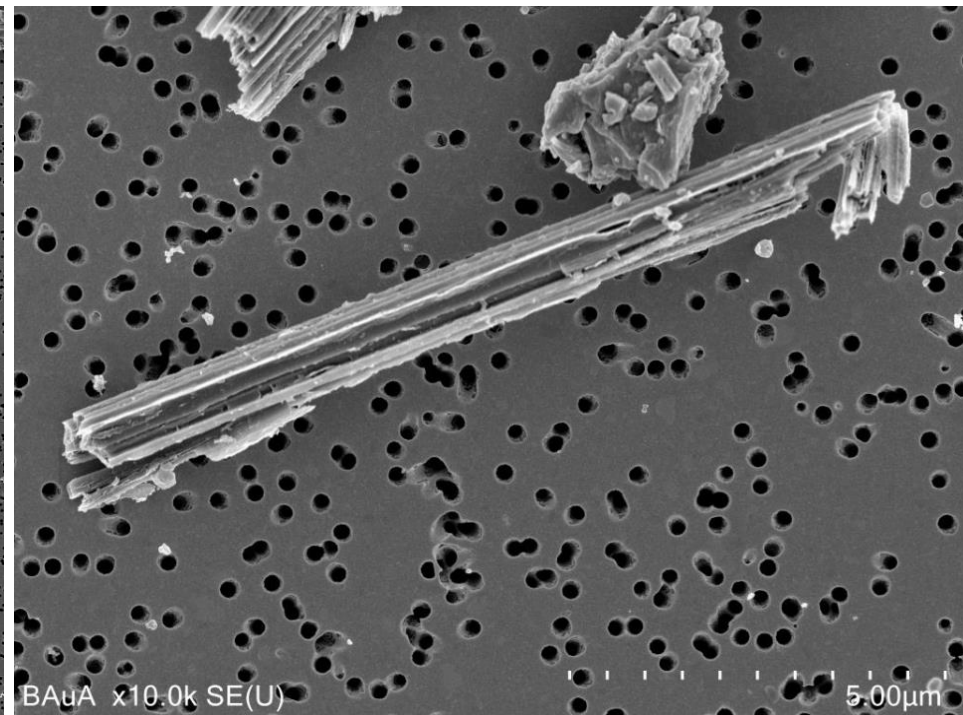
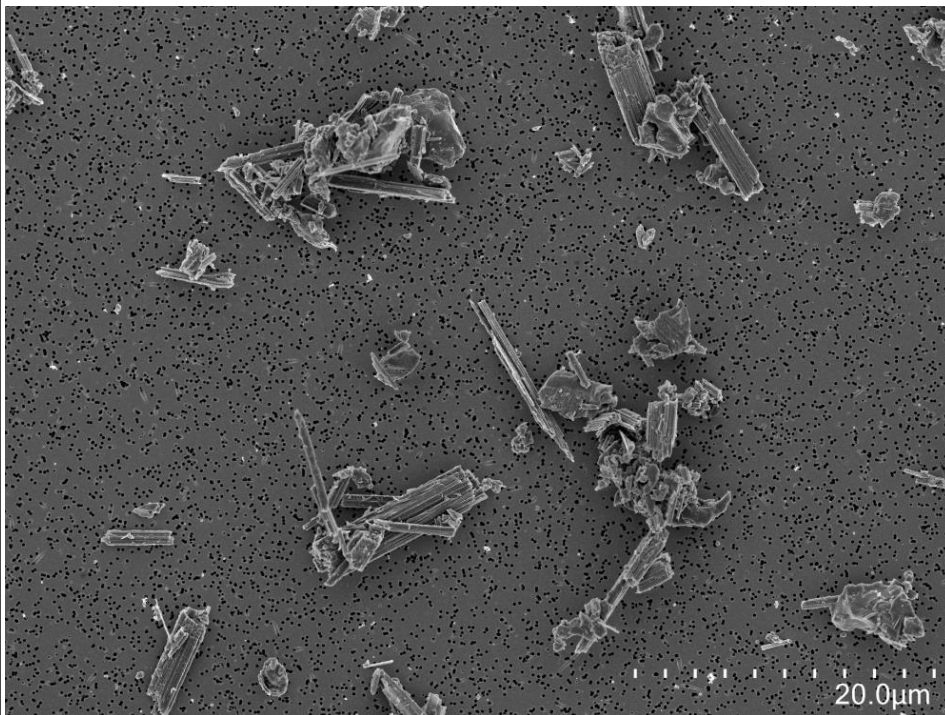
Fernfeldmessung während des **Sägeprozesses**

WHO-Objekte		Faseranzahl- konzentration (WHO) [F/m³]	95%- Vertrauensbereich [F/m³]
Einzelne Fasern	Agglomerate		
6,5	3,5	33.372	61.372

Nahfeldmessung während der **Zugprüfung**

WHO-Objekte		Faseranzahl- konzentration (WHO) [F/m³]	95%- Vertrauensbereich [F/m³]
Einzelne Fasern	Agglomerate		
46,5	32	424.558	529.495

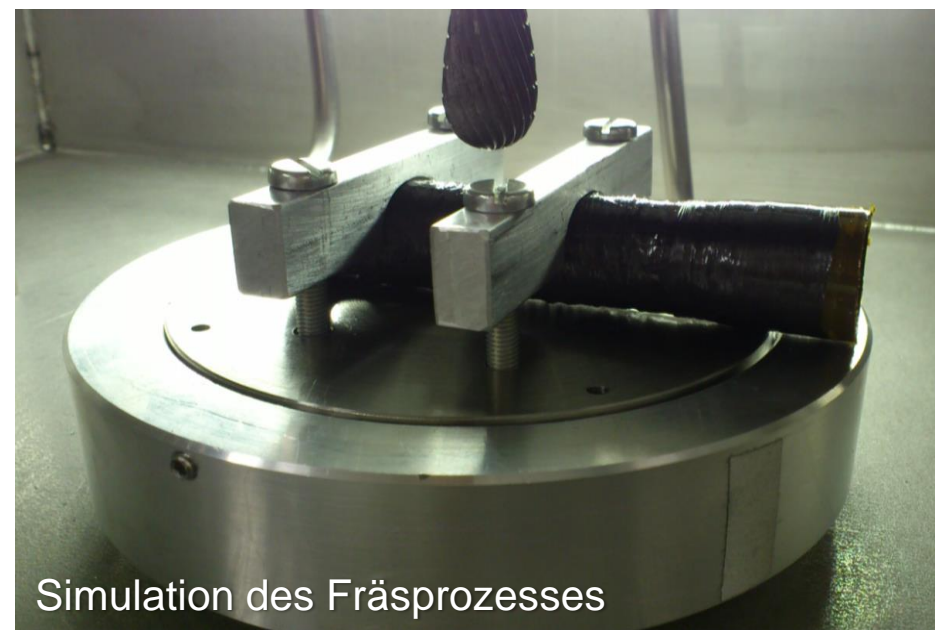
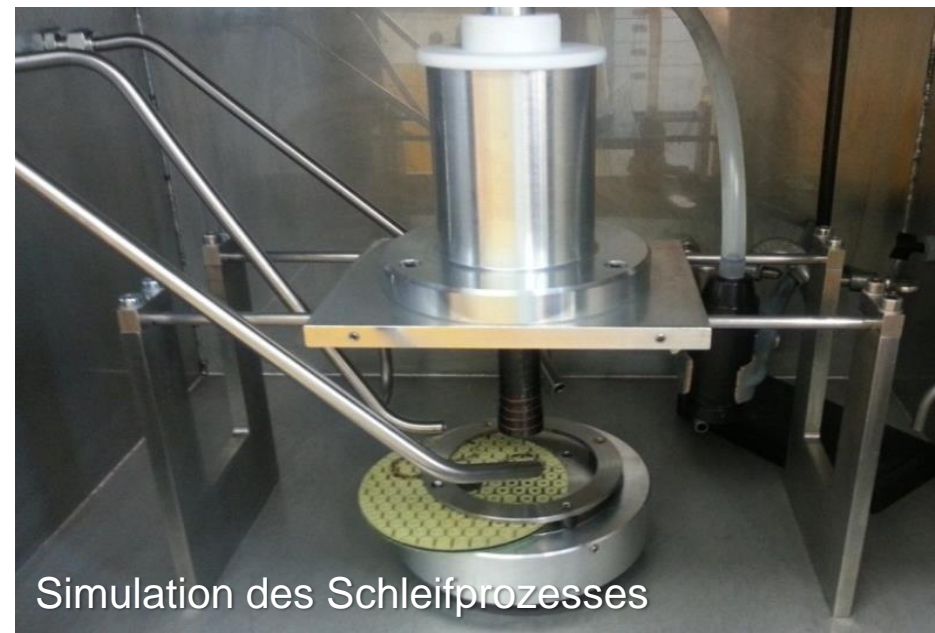
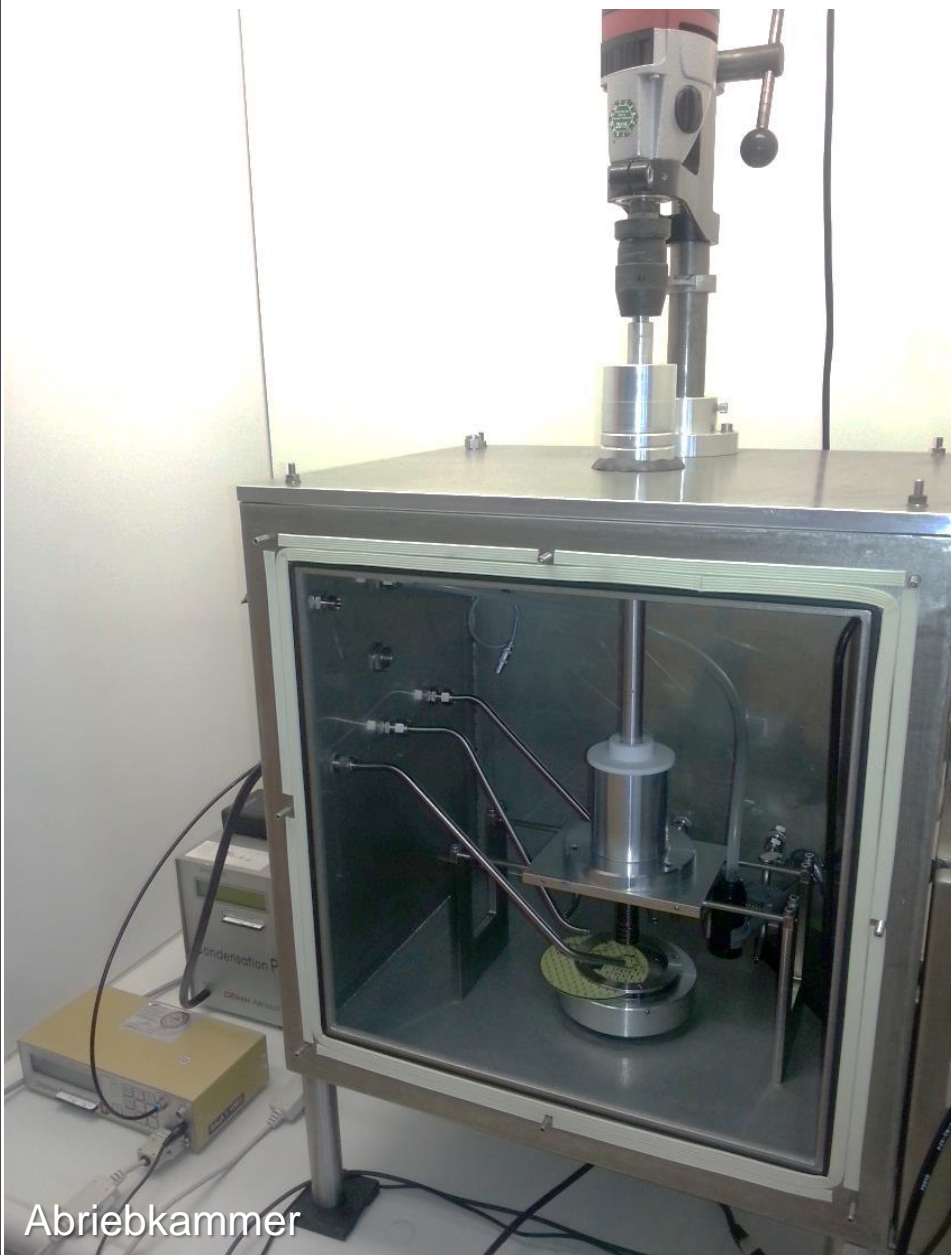




Pechbasierte Carbonfasern als Quelle alveolengängiger Fasern bei mechanischer Bearbeitung von carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK)

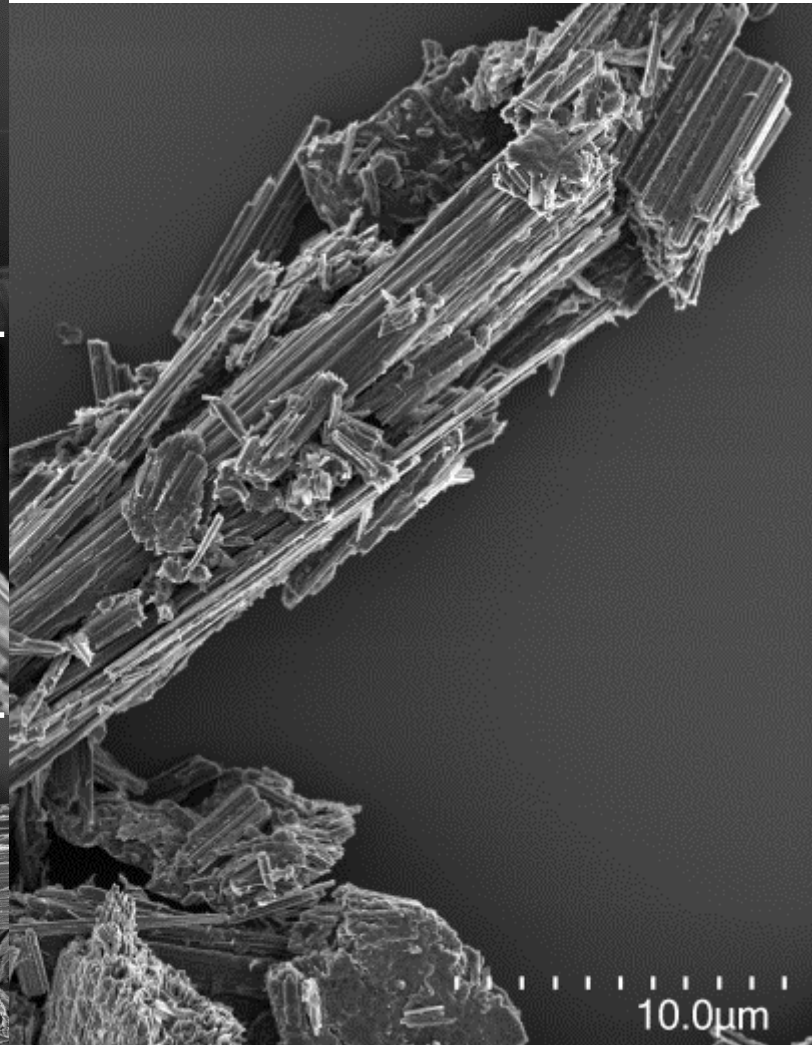
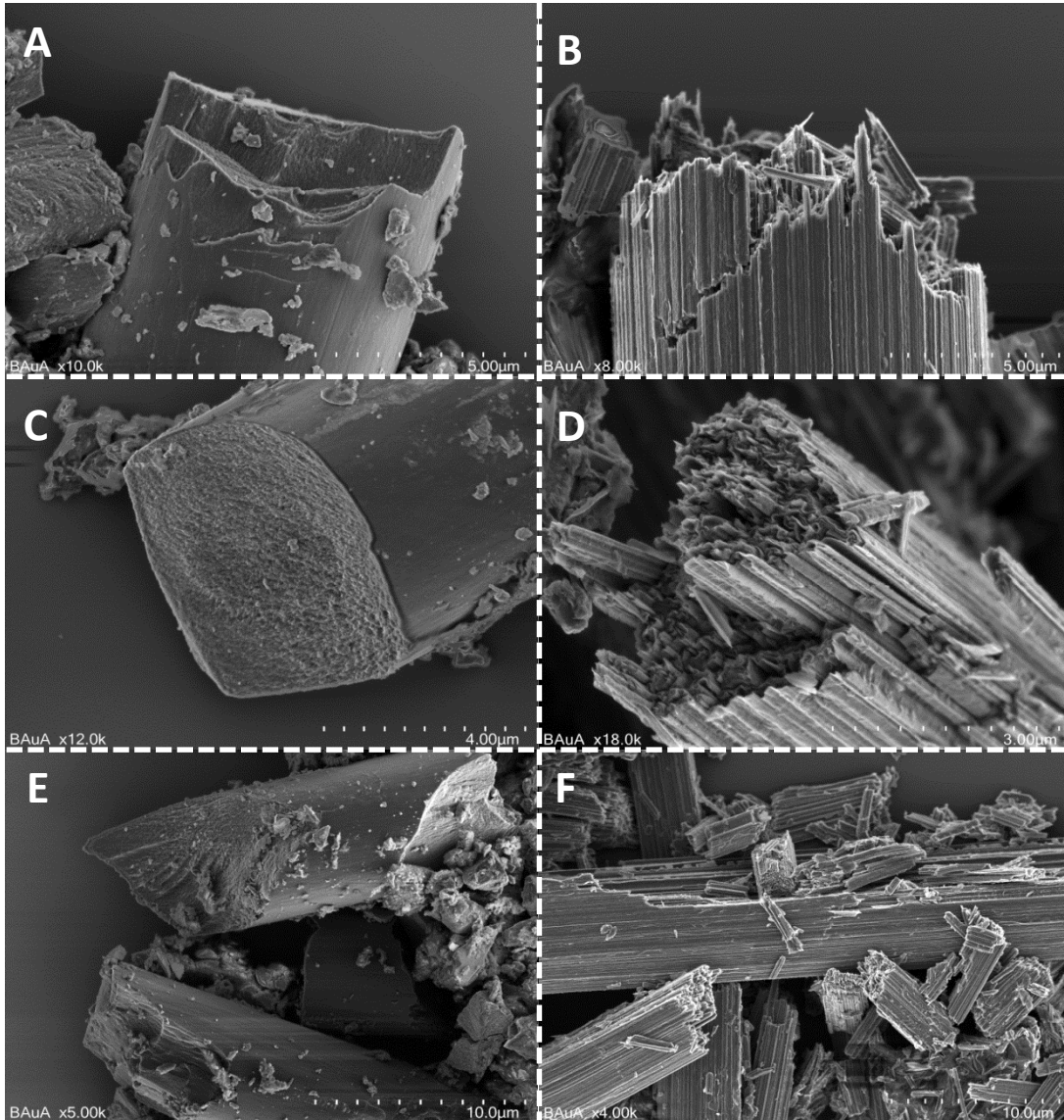
D. Bäger, B. Simonow, D. Kehren, N. Dziurowitz, D. Wenzlaff, C. Thim, A. Meyer-Plath, S. Plitzko, *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, Volume 79, Nr. 1-2 2019. Seiten 13-16,

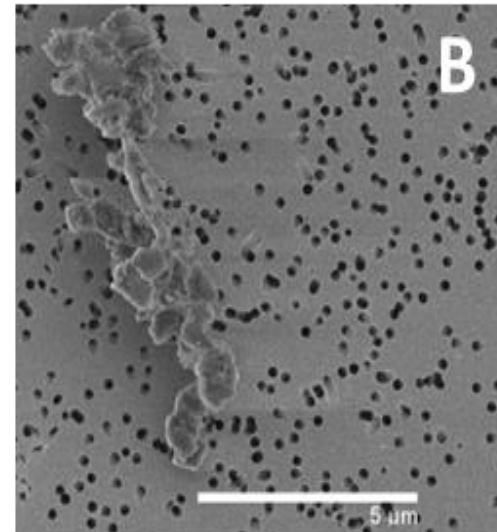
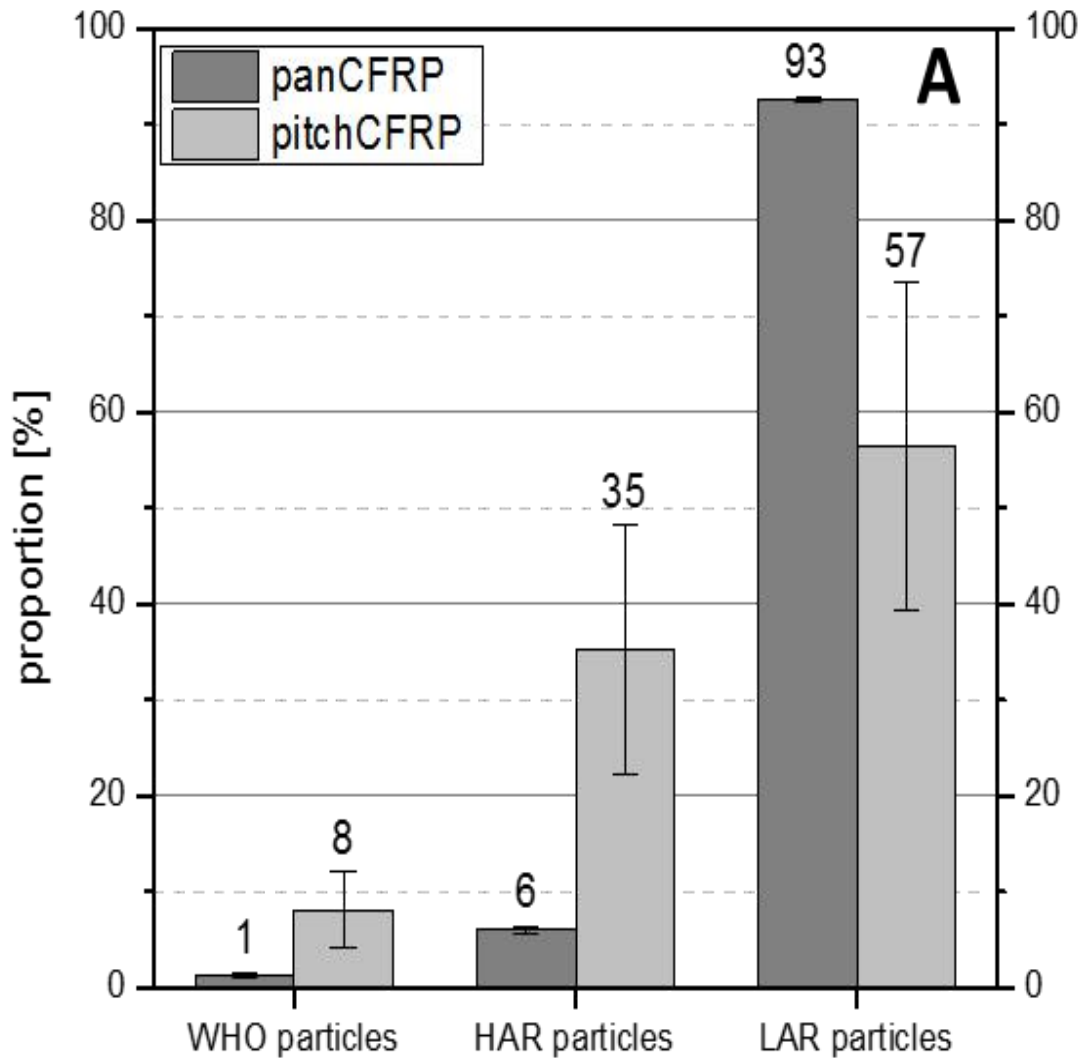
<https://www.baua.de/DE/Angebote/Publicationen/Aufsaeetze/artikel2324.html>



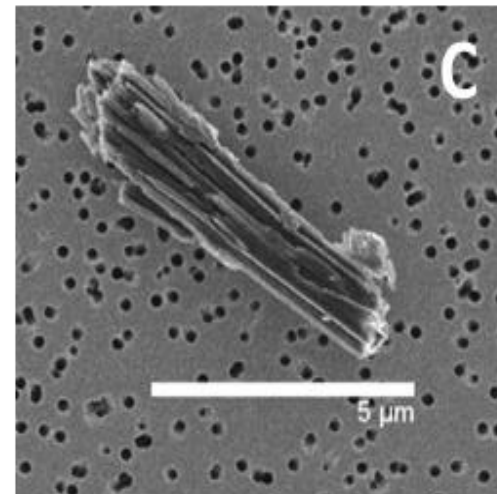
PAN

Pech

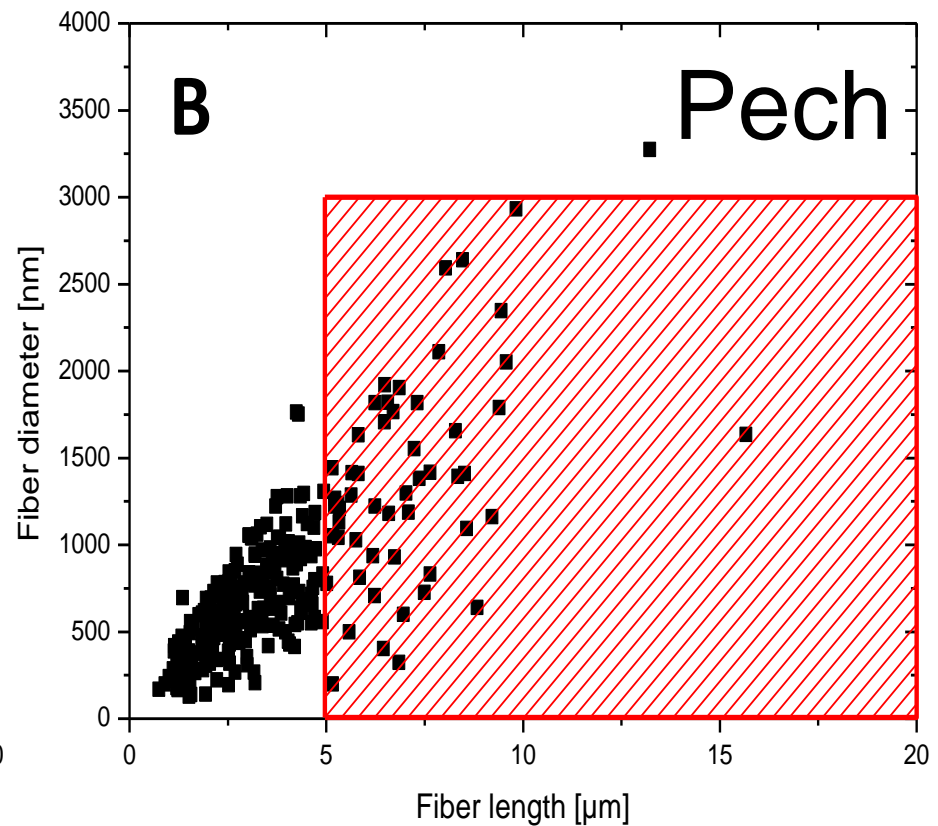
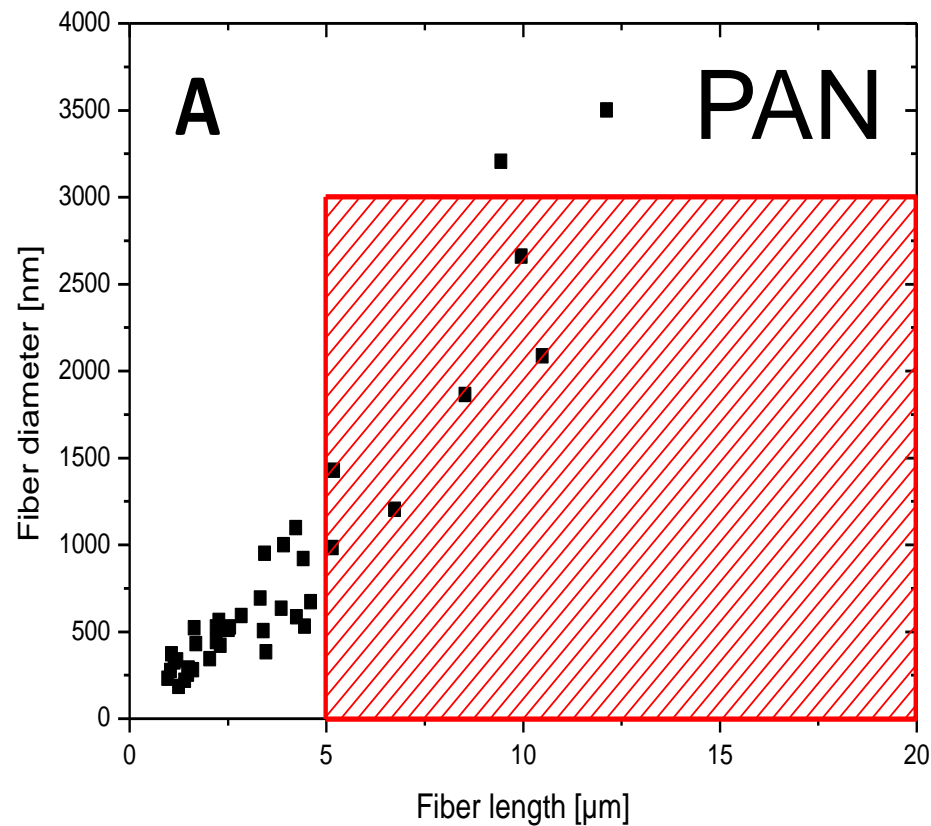




PAN



Pech

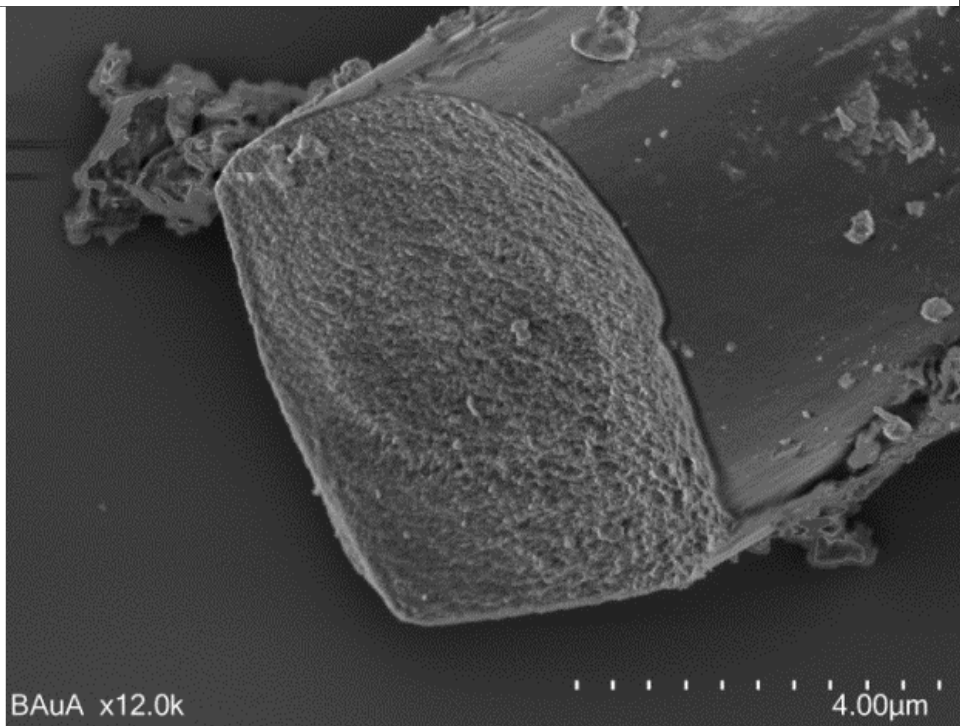


Release of Respirable Fibrous Dust from Carbon Fibers Due to Splitting along the Fiber Axis

Dominic Kehren , Barbara Simonow, Daphne Bäger, Nico Dziurawitz, Daniela Wenzlaff, Carmen Thim, Judith Neuhoff, Asmus Meyer-Plath, Sabine Plitzko
Aerosol and Air Quality Research, Accepted manuscript

<http://aaqr.org/article/detail/AAQR-19-03-OA-0149>

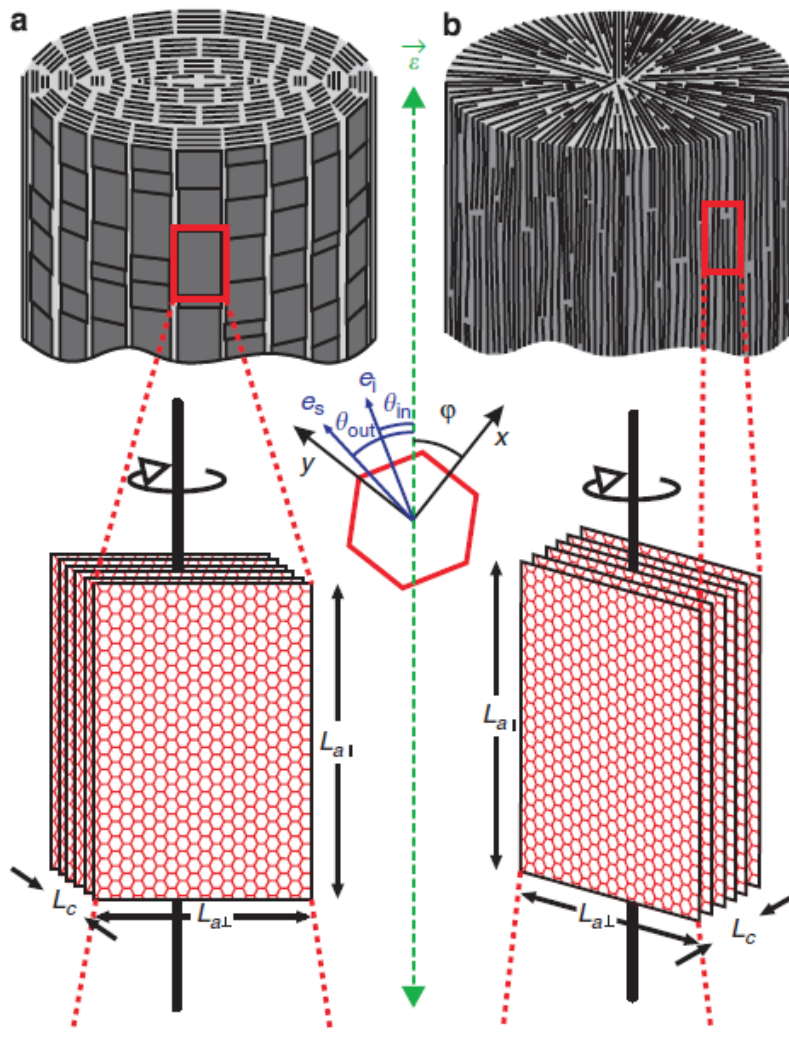
Voraussetzungen und Mechanismen einer Freisetzung alveolengängiger faserförmiger Carbonfaser-Bruchstücke?



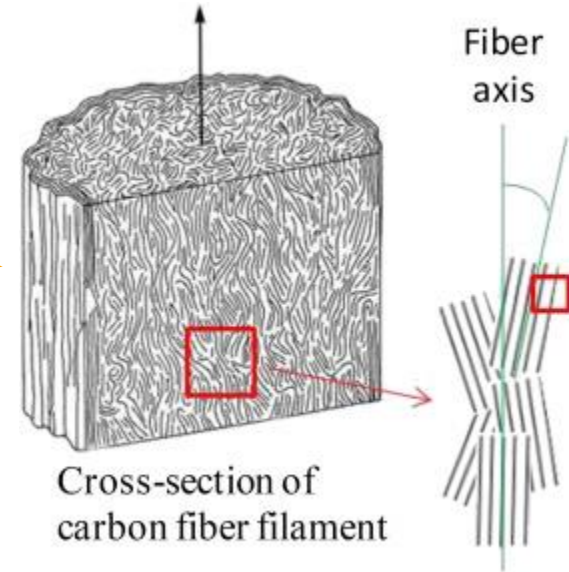
Pech

PAN

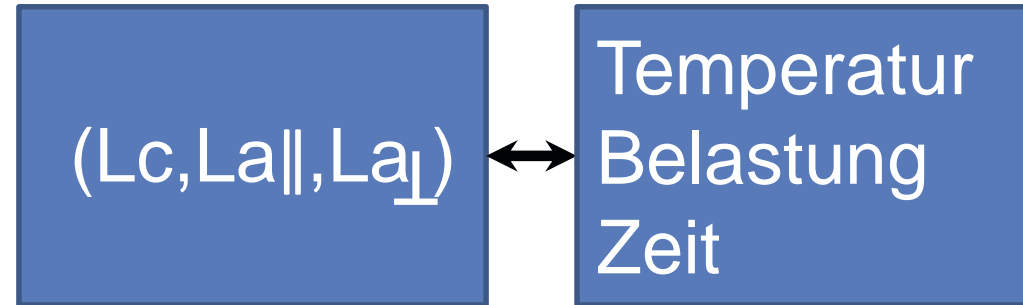
Grund und Lösung? Mikrostruktur



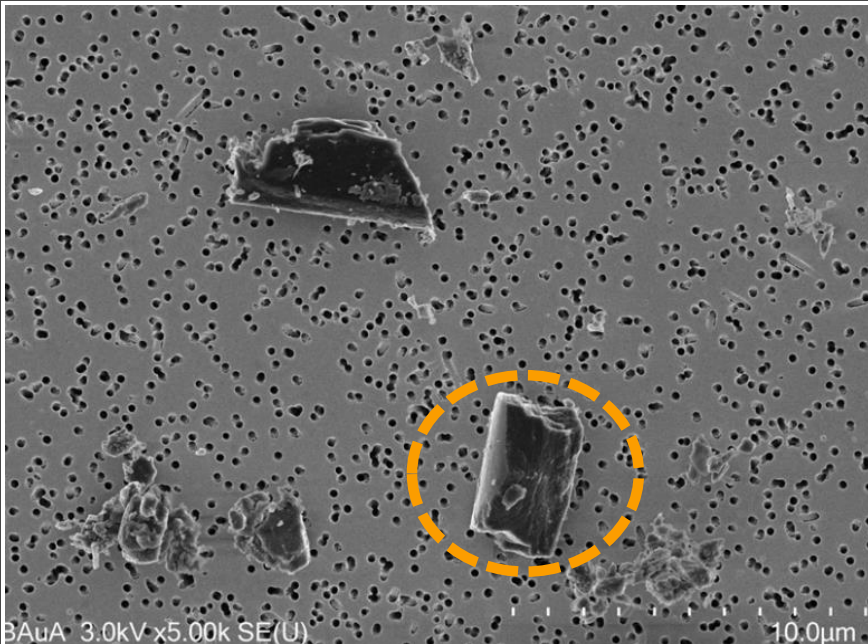
Otakar Frank, Andre K. Geim, Kostya S. Novoselov & Costas Galiotis, 2011



Steven J. Weigand, Michael J. Behr, 2016



Shao C. Chiu and Edward J. Ryan, 2010

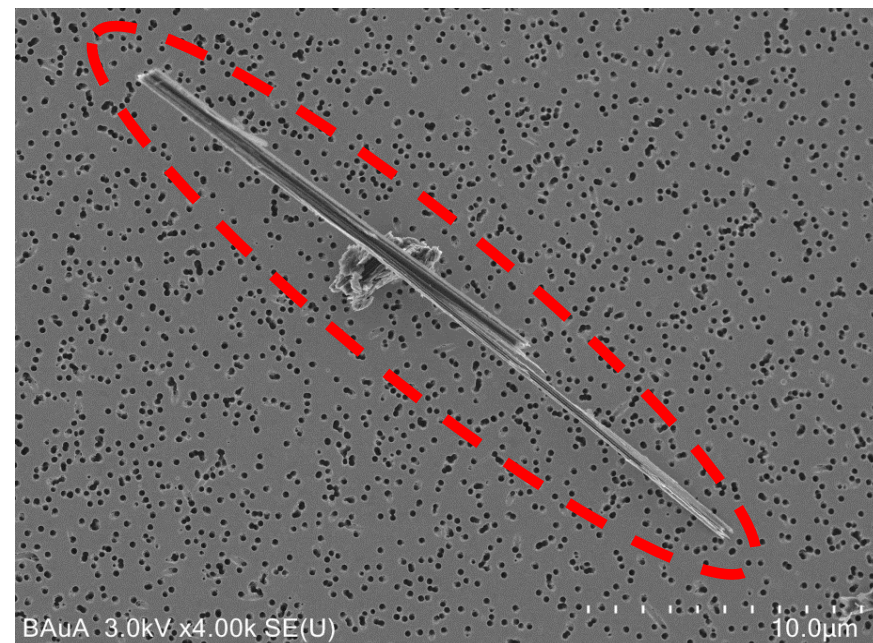
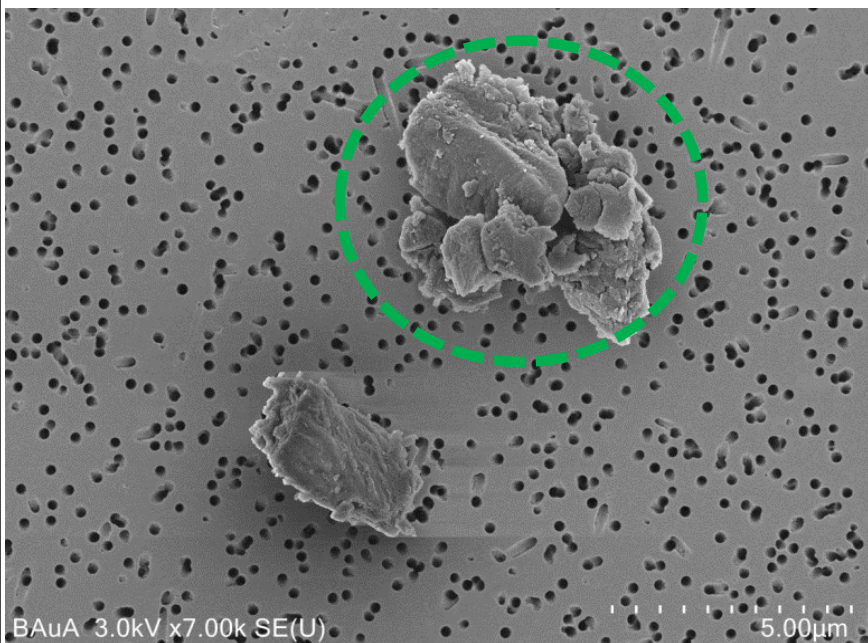


$(L_c, L_{a\parallel}, L_{a\perp})$



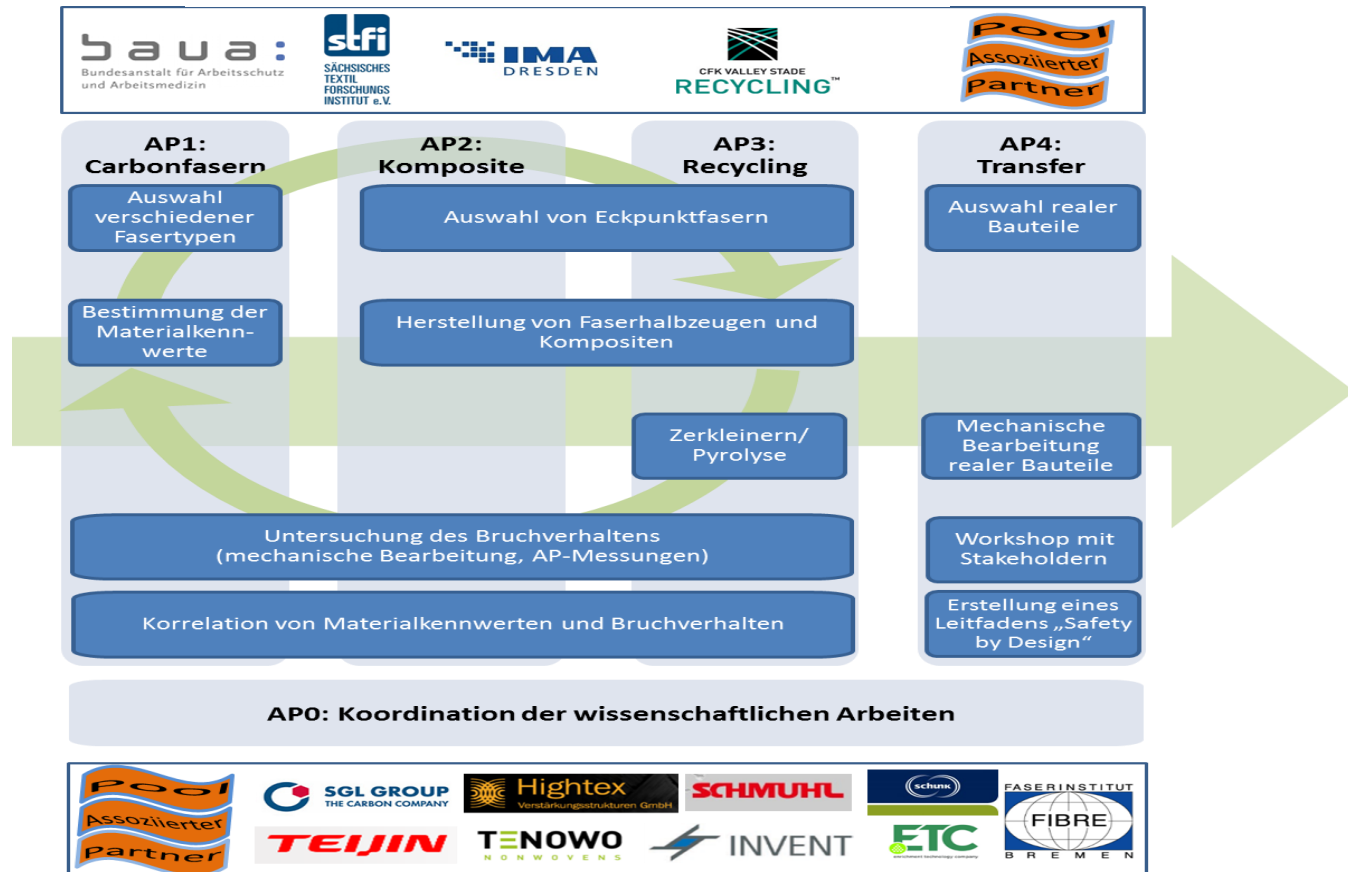
Temperatur
Belastung
Zeit

Safety by Design



Voraussetzungen und Mechanismen einer Freisetzung alveolengängiger faserförmiger Carbonfaser-Bruchstücke

CarboBreak



Korrelation von Materialkennwerten und Bruchverhalten

Spalte1	Spalte2	Spalte3	Spalte4	Spalte5	Spalte6	Spalte7	Spalte8	Spalte9	Spalte10	Spalte13	Spalte16
Nr.	Carbonfasertyp	Sorte	Anzahl Filamente	Zugfestigkeit	Zug-Modul	Bruchdehnung	Garnfeinheit	Schlichte/Präparationssauftrag	Dichte (MW)	Spez.el. Widerstand (MW)	Wärmeleitfähigkeit Hersteller
				[MPa]	[GPa]	[%]	[tex]		[g/cm³]	[μΩm]	[W/mK]
1		PAN	12k*	4400	240	1.8	800	1,0%, Basis Polyurethan	1.77	16.41	17
2		PAN	24k	4300	240	1.8	1600	1,0%, Basis Polyurethan	1.79	17.26	
3		PAN	6k	3950	238	1.7	400	1,3%, Basis Epoxidharz	1.76	15.7	17
4		PAN	24k	4500	390	1.1	800	1,0%, Basis Polyurethan	1.79	10.83	
5		PAN	24k	6000	290	2.1	830	1,3%, Basis Epoxidharz	1.77	13.81	
6		PAN	50k	4400	255	1.65	3240	1%, Basis Epoxidharz	1.8	14.89	
7		PAN	50k	4800	280	1.65	3070	1%, Basis Epoxidharz	1.78	16.39	
8		PAN	50k	4000	240	1.7	3300	1%, Basis Epoxidharz	1.77	15.29	
9		PAN	24k	5000	270	1.9	1600	1%, Basis Epoxidharz	1.77	12.7	
10		Pech	2k	3700	935	0.4	365	Keine Information	2.2		800
11		Pech	12k	2600	640	0.4	2000	Keine Information	2.09	7.15	140
12		Pech	3k	1100	54	2	410	Keine Information	1.65		
13		PreOx PAN	320k	230	k. A.	21	52000	0,7% Antistatikum			

- Länge der Kristallite L_a (parallel zur Faserachse $L_a//$ und senkrecht zur Faserachse $L_a\perp$)
- Dicke der Kristallite L_c
- Netzebenenabstand d_{002}
- Graphitisierungsgrad (2θ Lage des 002 Reflexes)
- Kristallinitätsgrad
- Vorzugsorientierung/Orientierung der Kristallite in Richtung der Faserachse
- Bestimmung der Mikroporosität

A1.2 Entwicklung und Nutzung eines Verfahrens zur Analyse von Splitterbruch

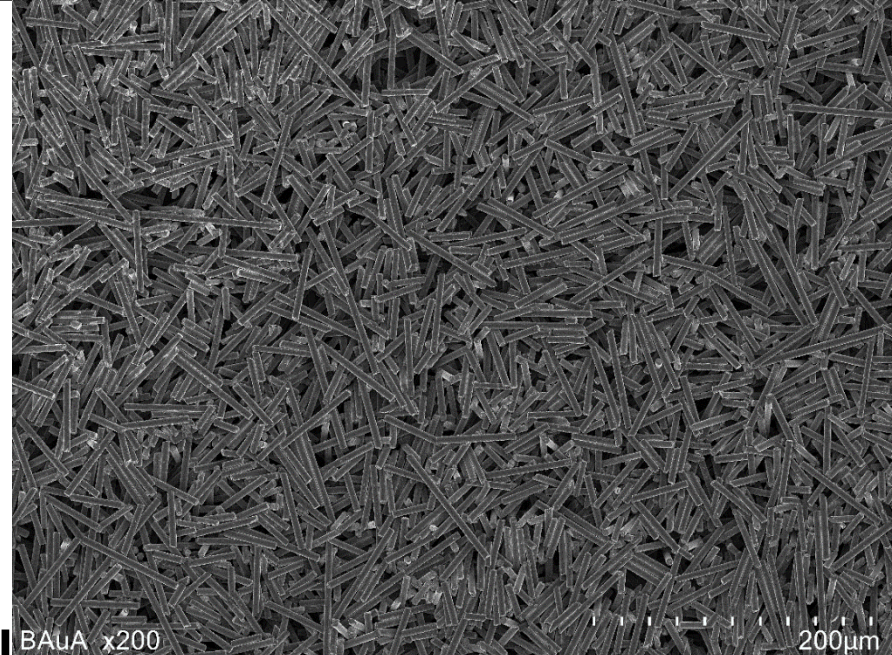
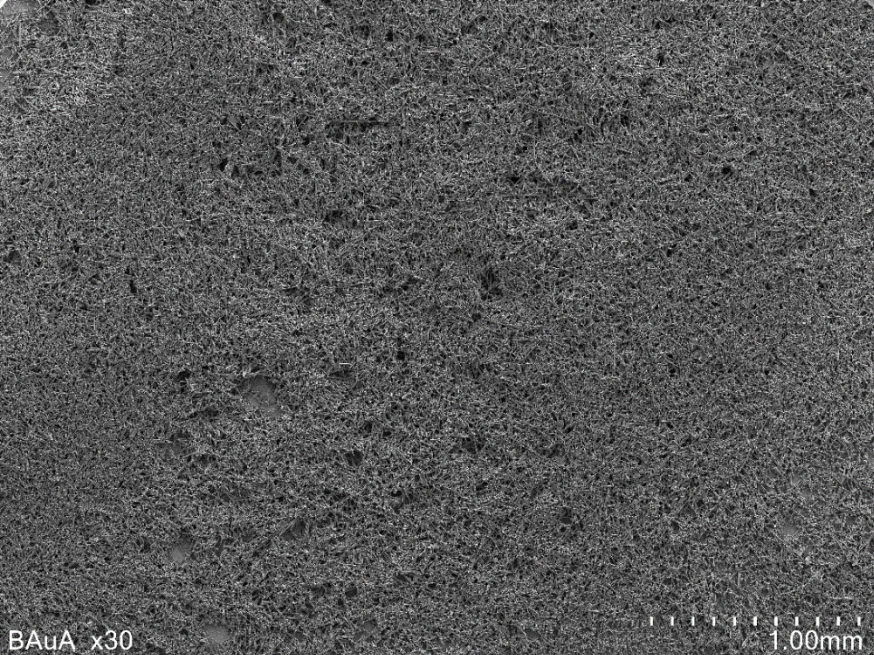
Entwicklung Splitterbruchverfahren

Messung Splitterbruch

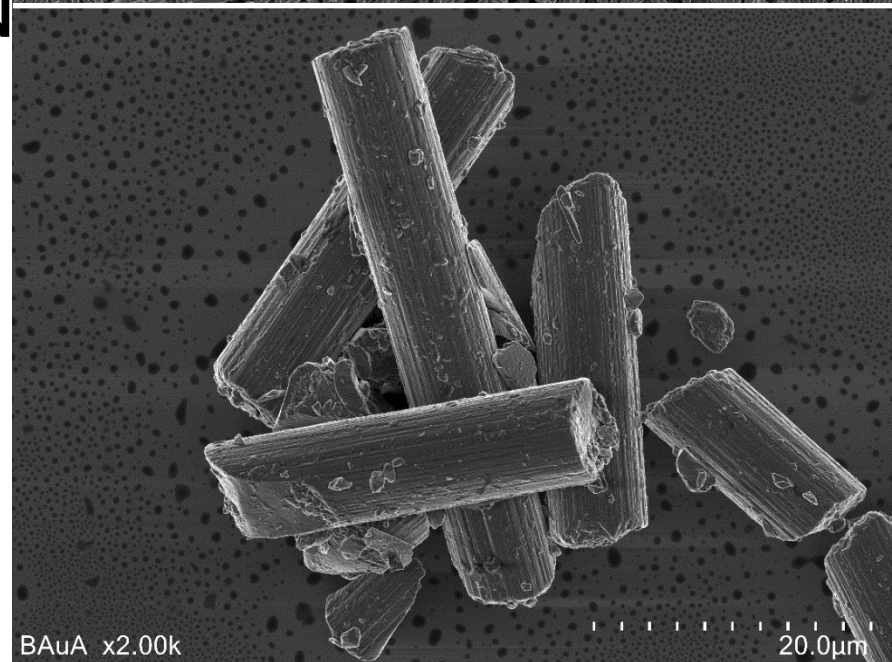
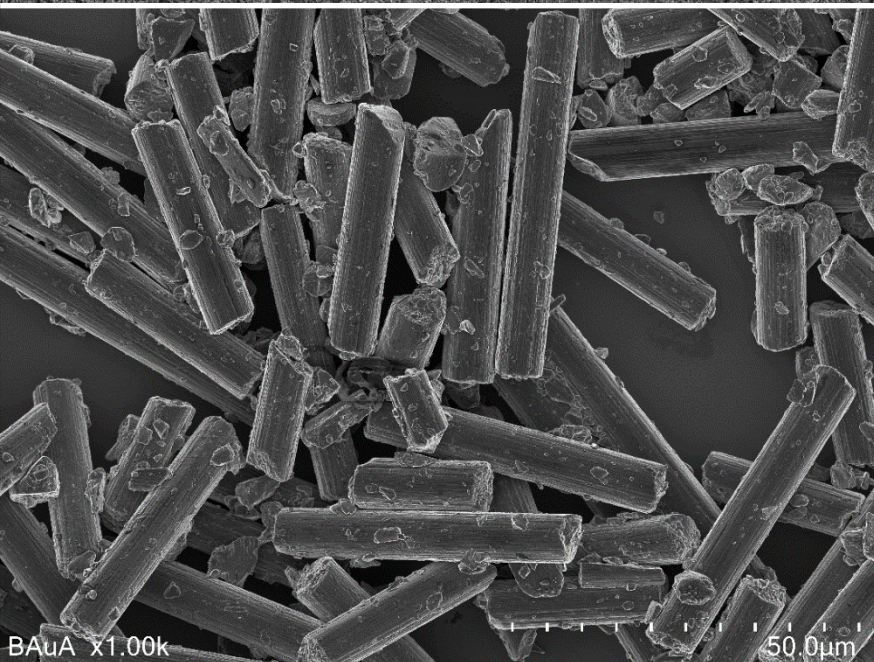
Messung Freisetzung

REM-Analyse Bruchflächen

Worst-case-Szenario: Kugelmühle



PAN



List of images

S	No#	Source
●	0001	190828_04_009_1_b
●	0002	190828_04_010_1_b
●	0003	190828_04_011_1_b

Description

+ -

View

Original image

Pixel size [nm] 124.023 Default pixel size [nm] 0.000

Classification

Cl	T...	Status	Le...	Width	Segr
●	F	Man.	8880	2462	004
●	A	Man.	15...	11...	010
●	A	Man.	13...	6553	013
●	A	Man.	11...	6143	008
●	A	Man.	10...	7385	004
●	A	Man.	10...	7077	000
●	A	Man.	10...	6154	007
●	A	Man.	7838	6553	008
●	A	Man.	7747	7074	012
●	A	Man.	7540	8000	002
●	A	Man.	7289	6769	007
●	A	Man.	7104	5846	000
●	A	Man.	6865	7781	008
●	A	Man.	6542	7077	001
●	A	Man.	5791	3692	004
●	A	Man.	5689	4505	009
●	A	Man.	5122	4468	011
●	A	Man.	4224	2769	006
●	A	Man.	3657	2606	012
●	F	Man.	25...	7183	007
●	F	Man.	16...	6385	007
●	F	Man.	15...	6938	011
●	F	Man.	13...	6320	012

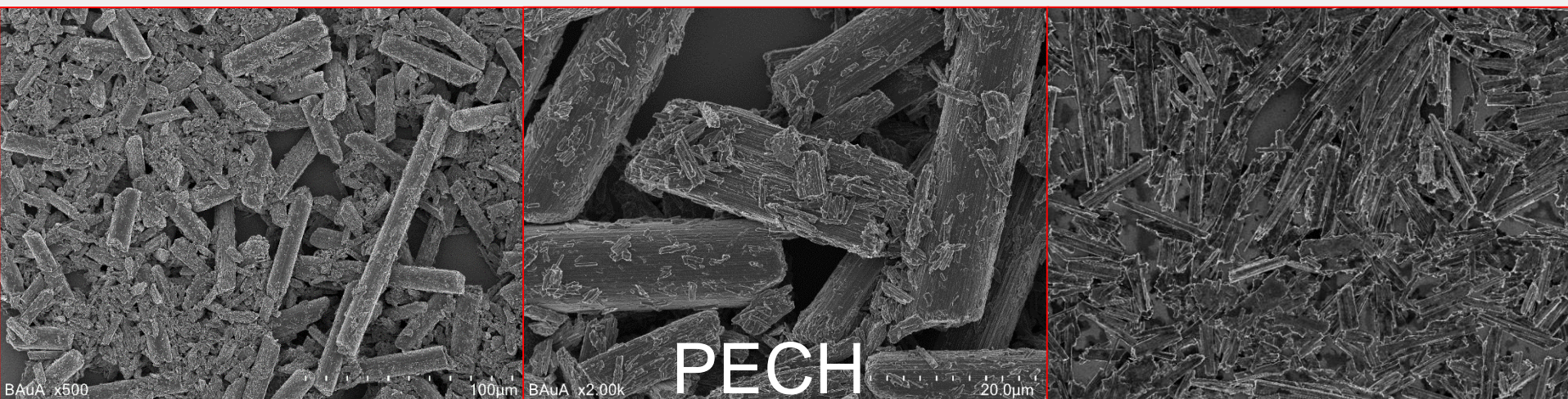
Count: 140 selected: 1

Section from the original image

Segment: 0001 from image: 0003 of Dominic

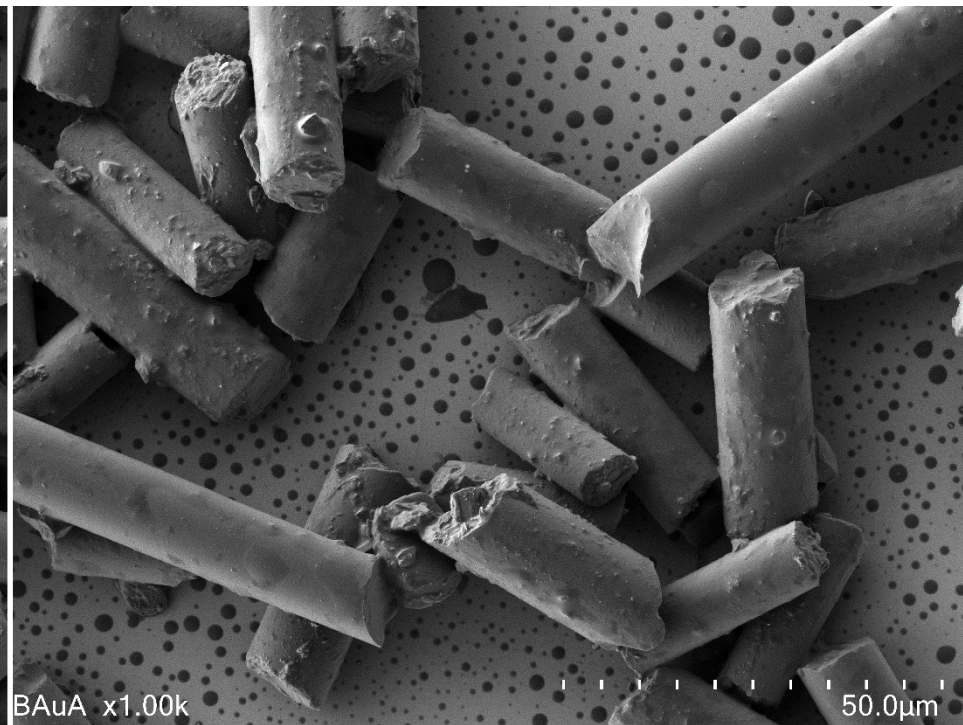
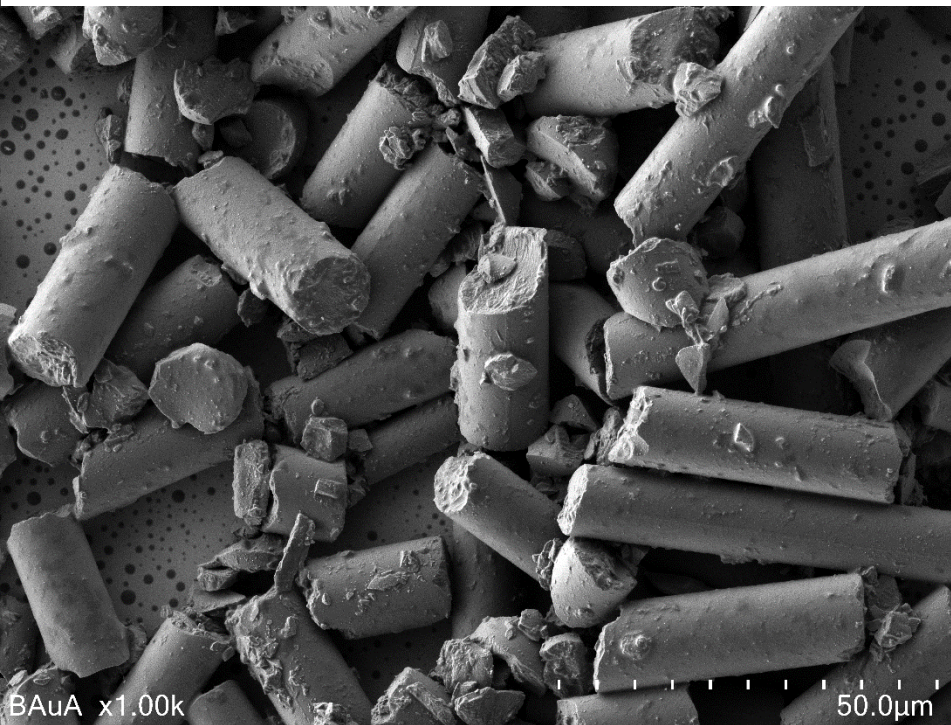
Length 80545 Width 1 7385 [nm] Ratio 10.9

Splines 1 Width maxima 1 unknown (new)



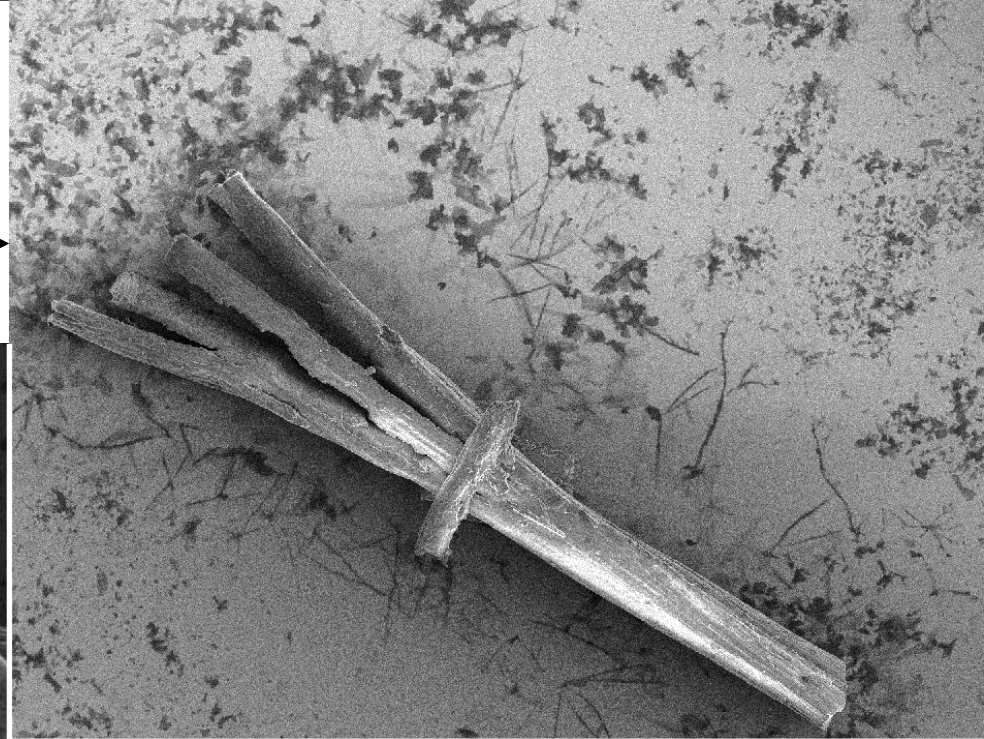
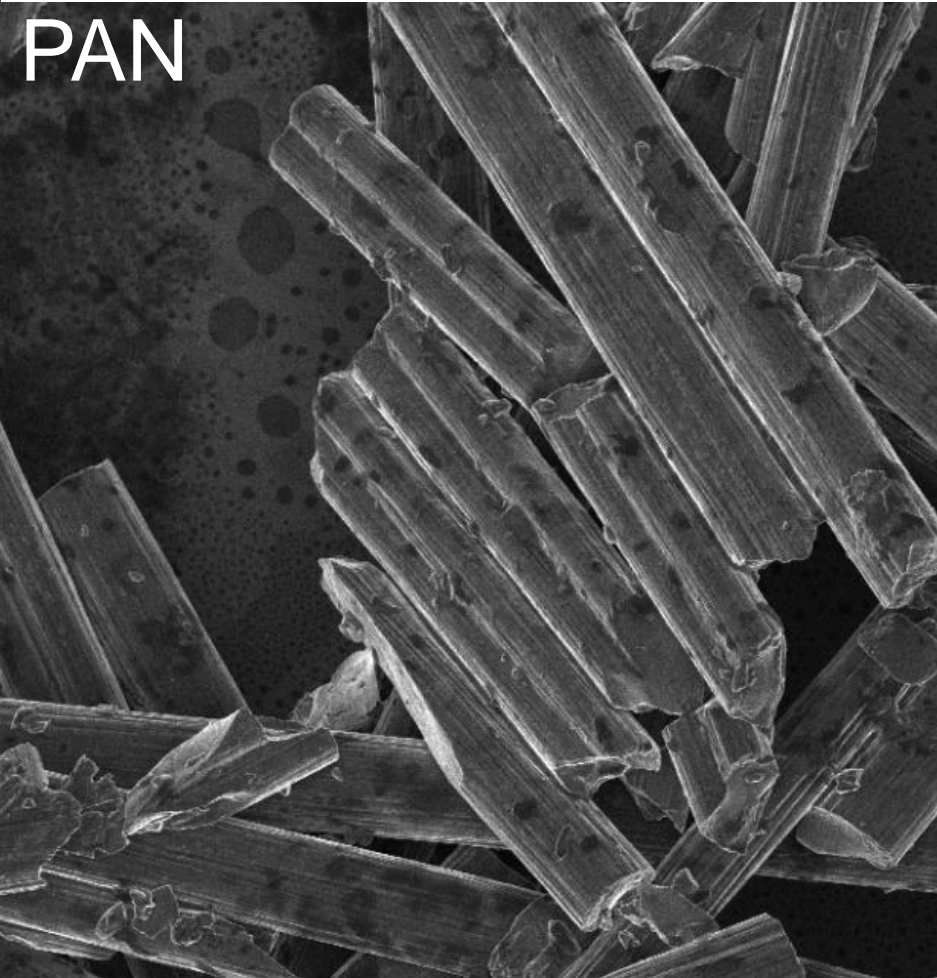
PECH \neq PECH

Nr.	Carbonfasertyp	Sorte	Anzahl Fila- mente	Zugfes- tigkeit	Zug-E- Modul	Bruch- dehnung	Garnfein- heit
				[MPa]	[GPa]	[%]	[tex]
12		Pech	3k	1100	54	2	410

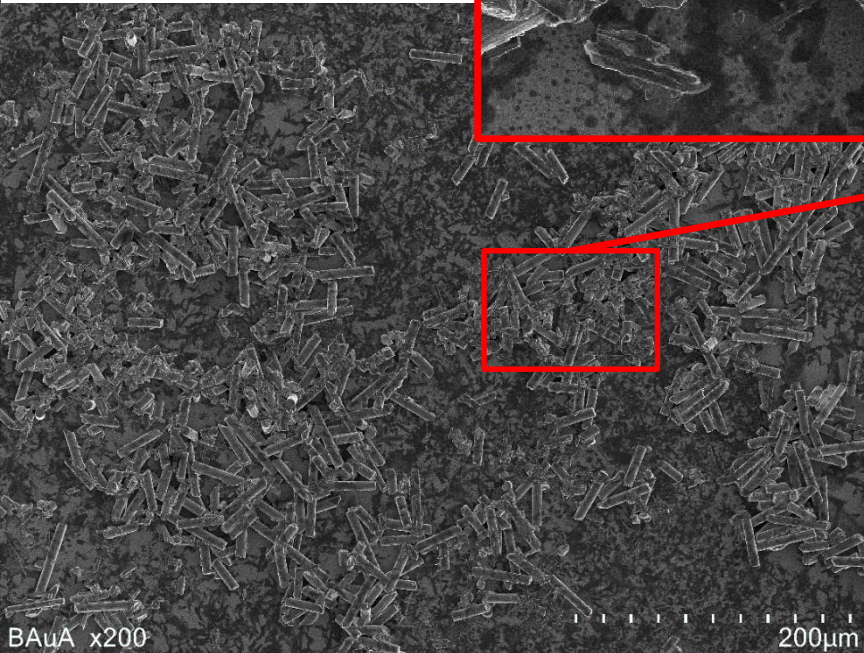
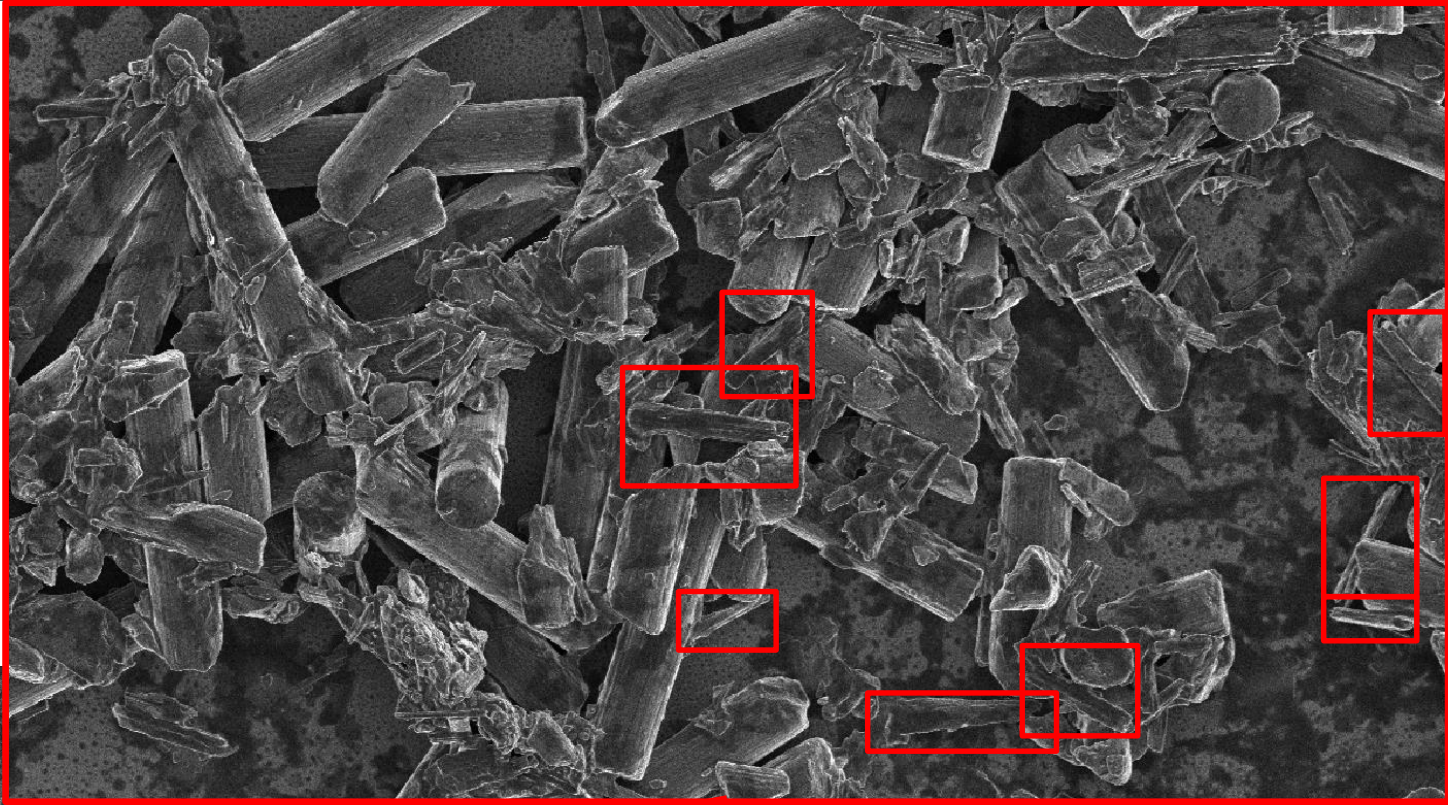


Voroxidierte, nicht carbonisierte PAN- Faser →

PAN



Sind alle
PAN
Fasern
von Natur
aus gut?



Erste
orientierende
Versuche!



„yet“

- Worst-case-Szenario
- Keine arbeitsplatzrelevante Methode
- Methodenentwicklung noch im Anfangsstadium



- Die Vorrausetzungen und Mechanismen des Bruchverhaltens müssen genau analysiert und verstanden werden.
- Pech-basierte Carbonfasern zeigen in vielen Fällen ein kritisches Bruchverhalten und setzen kritische Konzentrationen von WHO-Fasern frei
 - Jedoch ist PECH \neq PECH
- Für PAN-basierte Carbonfasern wurden **bisher** bei regulären Arbeitsplatzmessungen keine kritischen Konzentrationen gemessen.

- Auch PAN-basierte Carbonfasern können unter bestimmten Bedingungen biopersistente faserförmige, alveolengängige Bruchstücke freisetzen.
- Eine pauschale Freisprechung von PAN-basierten Carbonfasern muss, wenn überhaupt möglich, durch detaillierte Untersuchungen erst erarbeitet bzw. unkritische Fasertypen müssen identifiziert werden.
- Eine Abhängigkeit bzw. Korrelation zu Materialeigenschaften kann bei der Kategorisierung helfen und auch für zukünftig neu entwickelte Carbonfasern in Bezug auf „Safety by Design“ von Nutzen sein.
- Weitreichende Untersuchungen aus Projekten wie CarboBreak oder CFC-CarbonFibreCycle stehen noch aus!