

Für Mensch & Umwelt

Umwelt   
Bundesamt

Verwertung von CFK-haltigen Abfällen, Augsburg

# Abfallbehandlung carbonfaserverstärkter Kunststoffe

Dr. Petra Weißhaupt  
Umweltbundesamt  
Fachgebiet III 1.6 Produktverantwortung

28.09.2017

## Inhalt

### 1. AKTUELLES UND STATUS QUO

1.1 Laufende Vorhaben	3
1.2 Neuware und Abfälle von CFK	4
1.3 Material und kumulierter Energieaufwand	5
1.4 Aspekte des Gesundheitsschutzes	6

### 2. KREISLAUFWIRTSCHAFT

2.1 Stand der Recyclingtechniken	7
2.2 Verarbeitung von rCF-Fasern	8
2.3 Kontroverse der Entsorgungswege	9

### 3. RECHTLICHE GRUNDLAGEN

3.1 Produktverantwortung für Altfahrzeuge	10
3.2 Produktionsabfälle und Bedarfsgegenstände	11
3.3 Vorschläge bzgl. Kennzeichnung und Abfallschlüssel	12
3.4 Fazit	13

## Laufende Vorhaben / Ressortforschungsplan BMUB (UBA)

### **AUSSCHÜSSE:**

Ad-hoc Arbeitsgruppe „Faserhaltige Abfälle“ des Abfalltechnik-Ausschusses der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)

### **FORSCHUNGSVORHABEN:**

Untersuchung zur thermischen Entsorgung carbonfaserverstärkter Kunststoffe (CFK)  
Laufzeit: Juli 2016 bis März 2018

Entwicklung eines Konzeptes und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von  
Windenergieanlagen  
Laufzeit: Oktober 2017 bis April 2019

## Neuware und Abfälle von CFK

### WELTWEITER BEDARF 2016:

100.000 t/a CFK

### EUROPAWEITER BEDARF 2016:

35.000 t/a CFK

(Kühnel et al. 2016)

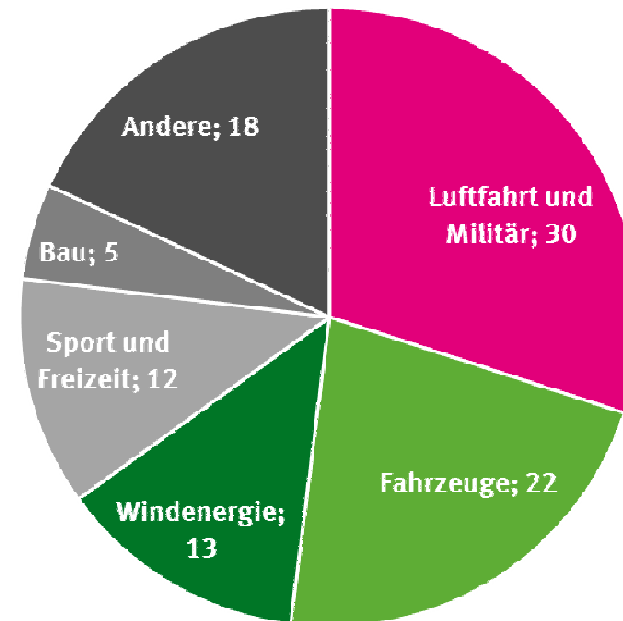
### ABFALLAUFKOMMEN IN EUROPA 2020:

20.000 t/a CFK

Tendenz steigend

(Kreibe et al. 2015)

Branchenanteile am gesamten CFK-Bedarf  
in %



## Material und kumulierter Energieaufwand

### BANDBREITE AN CFK-MATRIZES

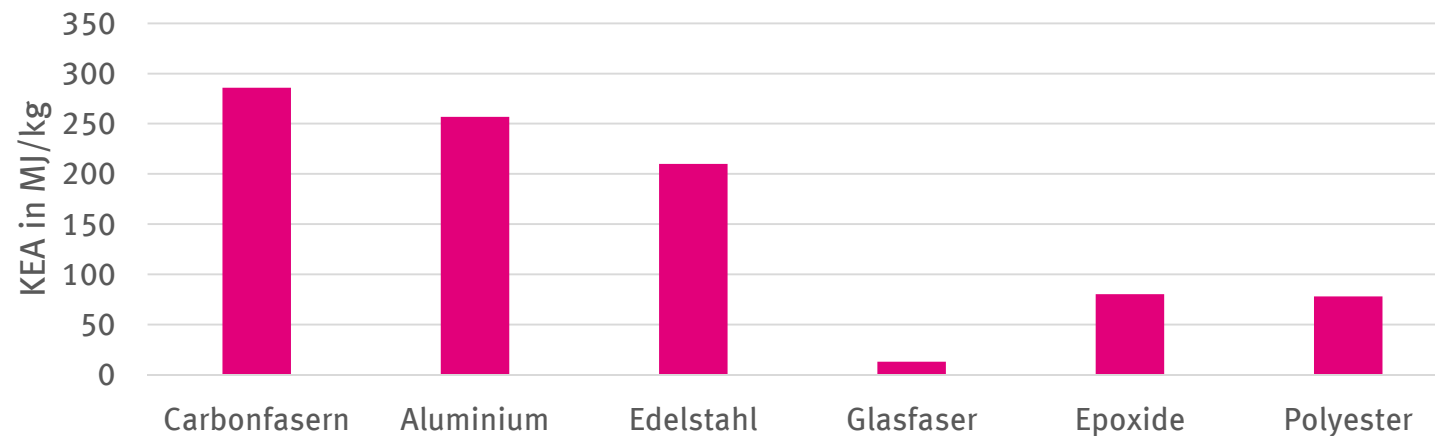
75 % Werkstoffe in duroplastischer Matrix

z. B. Epoxidharze, Polyurethane, Aminoharze, Polyesterharze

25 % Werkstoffe in thermoplastischer Matrix

z. B. Polyetheretherketon, Polyamid

### KUMULIERTER ENERGIEAUFWAND IM VERGLEICH ZU ANDEREN WERKSTOFFEN IN MJ/ KG (nach Song et al.)



## Aspekte des Gesundheitsschutzes

### ALLERGENE WIRKUNG VON TROCKENEN FASERN

Arbeitsschutzmaßnahmen empfohlen

([www.carbonfiber.gr.jp/english/material/safety.html](http://www.carbonfiber.gr.jp/english/material/safety.html),

oder

SHARP 1998)



### POTENTIELLE BILDUNG VON WHO-FASERN BEI VERBRENNUNG

(Eibl 2017, Mouritz et al. 2009, Schlagenhauf et al. 2015)

### DEFINITION VON WHO-FASERN

Länge von  $> 5 \mu\text{m}$

Durchmesser  $< 3 \mu\text{m}$

Länge-Durchmesser-Verhältnis  $> 3:1$

(TRGS 905, 2016)



## Stand der Recyclingtechniken

### **STOFFLICHES RECYCLING (OHNE AUFSCHLUSS)**

mechanische Bearbeitung, thermoplastisches Umformen, Spritzguss

### **PYROLYSE**

Bestehende Verfahren

CFK Valley Stade Recycling GmbH & Co. KG und ELG Carbon Fibre, Coseley, U.K.

### **SOLVOLYSE**

Forschungsstadium

Über- und nahekritische Fluide: Wasser, Alkohole, Kaliumhydroxyd

(Prinçaut et al. 2014, Bai et al. 2010, Oliveux et al. 2015, Morin et al. 2013, Piñero-Hernanz et al. 2008, Nie et al. 2015, Okajima et al 2015, Cheng et al. 2017)

### **ELEKTRODYNAMISCHE FRAGMENTIERUNG**

Forschungsstadium

(Roux et al. 2015, Orzol und Jäckel 2017)

## Verarbeitung von rCF-Fasern

### KRITISCHE FAKTOREN

- Reinheit / Pyrolyserückstände
- Faserlänge und Längenhomogenität
- Faserorientierung
- Zugfestigkeit, Biegeelastizität
- Marktakzeptanz, Fehlende Qualitätskriterien

### LÖSUNGSANSÄTZE

- Hochorientierte Langfasern mit verbesserter Zugfestigkeit  
(mai-recitape, RWTH Aachen)
- Vernadelung und Verfestigung von Geweben mit der Maliwatttechnik
- Hybridgarne und -vliese aus Langfasern mit Polyamid oder Polypropylen  
(Hofmann und Gulich, 2014)
- Sonstige Verarbeitung von Pulver und Kurzfasern im Spritzguss und als Füllmaterial

## Kontroverse um Entsorgungswege

### ÖKOLOGISCHE MOTIVATION

Ressourcenschutz: Kreislaufführung/Erhalt eines energieintensiven Werkstoffs  
Kreislaufwirtschaftsgesetz: Anwendung der Abfallhierarchie

### PROBLEM

Weite Verbreitung von CFK in Produkten, damit auch in Abfällen  
Arbeitsschutzmaßnahmen notwendig  
Technische Anpassungen und Investitionen in Abfallbehandlungsanlagen notwendig  
Vorbehalte hinsichtlich der Nutzungstauglichkeit von rCF



## Beispiel Produktverantwortung

### REGELUNGEN GEMÄß ALTFahrzeugRICHTLINIE/-VERORDNUNG

Verwertungsquoten (nicht Material- und Fahrzeugspezifisch)

- 95 % Verwertung
- 85 % stofflichen Verwertung

Informationspflichten

Demontagepflichten hinsichtlich großer Kunststoffteile (sofern es keine Postschredderverfahren gibt)

### VORHERSEHBARE SCHWIERIGKEITEN

Trend zur Kleinteiligkeit der Anwendungen von CFK

Verbleib von CFK in Schredderleichtfraktion

Sind die Entsorger auf CFK vorbereitet?

### DISKUSSION MIT STAKEHOLDERN ÜBER

Abfallentwicklung

Informationen für Demontagebetriebe/Schredder notwendig

Hersteller - Informationspflicht normieren

Anpassung der Behandlungsnormen notwendig



**ALTFahrzeug ERORDNUNG IST AUCH FÜR FAHRZEUGE IN LEICHTBAUWEISE VERBINDLICH !**

## Produktionsabfälle und Bedarfsgegenstände

### TECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN

#### Materialvielfalt

- Duroplastische, thermoplastische, mineralische Matrix
- Fasergenmische mit Glas-, Natur-, Polyamidfasern etc.
- Verbunde

#### Materialverbreitung

- Hausmüll, Sperrmüll
- Gewerbeabfall
- Fahrzeuge, Sportboote, Flugzeuge
- Elektrogeräte

#### Kleinteiligkeit

### ERWARTUNG DER DURCHMISCHUNG IN SÄMTLICHE ABFALLSTRÖME

## Vorschläge zur Kennzeichnung und zu einem Abfallschlüssel

### KENNZEICHNUNG VON CFK IN PRODUKTEN

Trockene CF

CF in thermoplastischer und duroplastischer Matrix

CF in mineralischer Matrix

### ZIEL: ERMÖGLICHUNG DER SEPARATION VON ANDEREN ABFALLSTRÖMEN

### VORTEILE EINES ABFALLSCHLÜSSELS FÜR CFK

Definition

Statistische Erfassbarkeit

Nachweis der Behandelbarkeit



## Fazit

### **RECYCLING UND VERWERTUNG**

- Technologieentwicklung
- Recycling und Verarbeitung von rCF-Fasern stärken
- Thermische Verwertungsverfahren

### **BESTEHENDE REGELN DER PRODUKTVERANTWORTUNG NUTZEN ODER ERGÄNZEN**

- Informationspflichten sind besser zu erfüllen
- Verwertungsquoten sind einzuhalten
- Demontagepflichten sind zu erfüllen

### **DISKUSSION HINSICHTLICH ERGÄNZENDER MAßNAHMEN**

- Kennzeichnung
- Abfallschlüssel nach Abfallverzeichnisverordnung

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. Petra Weißhaupt

Fachgebiet III 1.6 Produktverantwortung

E-Mail: [petra.weisshaupt@uba.de](mailto:petra.weisshaupt@uba.de)

Tel: 0340 2103 2826

[www.uba.de](http://www.uba.de)

## Abfallbehandlung carbonfaserverstärkter Kunststoffe

### Quellen:

1. Kühnel, M.; Kraus, T.; Witten, E. (2015) Composites-Marktbericht 2015. AVK – Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e. V. und Carbon Composites e. V.
2. Kreibe, S.; Hartleitner, B.; Gottlieb, A.; Berkmüller, R.; Förster, A.; Tronecker, D.; Reinelt, B.; Wambach, K.; Rommel, W. (2015) Schlussbericht MAI Recycling, Entwicklung ressourceneffizienter CFK-Recyclingverfahren und Prozessketten für die künftige Bereitstellung qualitativ hochwertiger rC-Halbzeuge, Bifa-Institut.
3. <http://www.carbonfiber.gr.jp/english/material/safety.html>
4. Washington State Department of Labor and Industries, SHARP (1998) A Guide to Preventing Dermatitis While Working with Advanced Composite Materials, Publication 55-03-1999.
5. Song, Y. S.; Young, J. R.; Gutowski, T. G. (2009) Life cycle energy analysis of fiber-reinforced composites, Compos. Part A: Appl. Sci. Manuf., 40, 1257–1265.
6. Eibl, S. (2017) Potential for the formation of respirable fibers in carbon fiber reinforced plastic materials after combustion, Fire and Materials, doi: 10.1002/fam.2423.
7. Mouritz, A. P. (2009) Review of Smoke Toxicity of Fiber-Polymer Composites Used in Aircraft, Journal of Aircraft, 46, 3, 737–745.
8. Schlagenhaut, L.; Kuo, Y. Y.; Michel, S.; Terrasi, G.; Wang, J. (2015) Exposure assessment of a high-energy tensile test with large carbon fiber reinforced polymer cables, J Occup Environ Hyg. 12, 8, 178–183.
9. Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) (2016) Technische Regeln für Gefahrstoffe, Verzeichnis krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe, TRGS 905.
10. Prinçaud, M.; Aymonier, C.; Loppinet-Serani, A.; Perry, N.; Sonnemann, G. (2014) Environmental Feasibility of the Recycling of Carbon Fibers from CFRPs by Solvolysis Using Supercritical Water, ACS Sustainable Chem. Eng., 2 (6), 1498–1502.
11. Bai, A.; Bai, Z.; Wang, L.; Feng, Z. (2010) Chemical recycling of carbon fibres reinforced epoxy resin composites in oxygen supercritical water, Mater. Des., 31, 999–1002.
12. Oliveux, G.; Dandy, L. O.; Leeke G. A. (2015) Degradation of a model epoxy resin by solvolysis routes, Polymer Degradation and Stability, 118, 96–103.
13. Morin, C.; Loppinet-Serani, A.; Cansell, F.; Aymonier, C. (2013) Near- and supercritical solvolysis of carbon reinforced polymers (CFRPs) for recycling carbon fibers as a valuable resource: State of the art, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00695025>
14. Piñero-Hernanz, R., et al. (2008) Chemical recycling of carbon fiber composites using alcohols under subcritical and supercritical conditions, J. Supercrit. Fluids, 46, 1, 83–92.
15. Okajima, I.; Hiramatsu, M.; Shimamura, Y.; Awaya, T.; Sako, T. (2014) Chemical recycling of carbon fiber reinforced plastic using supercritical methanol, The Journal of Supercritical Fluids, 91, 68–76.
16. Cheng, H.; Huang, H.; Zhang, J.; Jing, D. (2017) Degradation of carbon fiber-reinforced polymer using supercritical fluids, Fibers and Polymers, 18, 4, 795–805.
17. Nie, W.; Liu, J.; Liu, W.; Wang, J.; Tang, T (2015) Decomposition of waste carbon fiber reinforced epoxy resin composites in molten potassium hydroxide, Polymer Degradation and Stability, 111, 247–256.
18. Orzol, C. H. M., Jäckel, H.-G. (2017) Kohlenstofffaserrecycling – Voruntersuchungen zum elektrohydraulischen Aufschluss von kohlenstofffaserverstärktem Duroplast – In: Rohstoffe und Recycling, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin.
19. Roux, M.; Eguémann, N; Dransfeld, C; Thiébaud, F.; Perreux, D. (2015) Thermoplastic carbon fibre-reinforced polymer recycling with electrodynamic fragmentation: From cradle to cradle, Journal of Thermoplastic Composite Materials, 30, 3.
20. Hofmann, M.; Gulich, B. (2014) Verarbeitung von rezyklierten Carbonfasern zu Vliesstoffen für die Herstellung von Verbundbauteilen, In: Siebenpfeiffer, W. Leichtbau-Technologien im Automobilbau, Springer Vieweg, Wiesbaden.