



Herausforderungen bei der Ökobilanzierung von CFK-Verwertungsmethoden

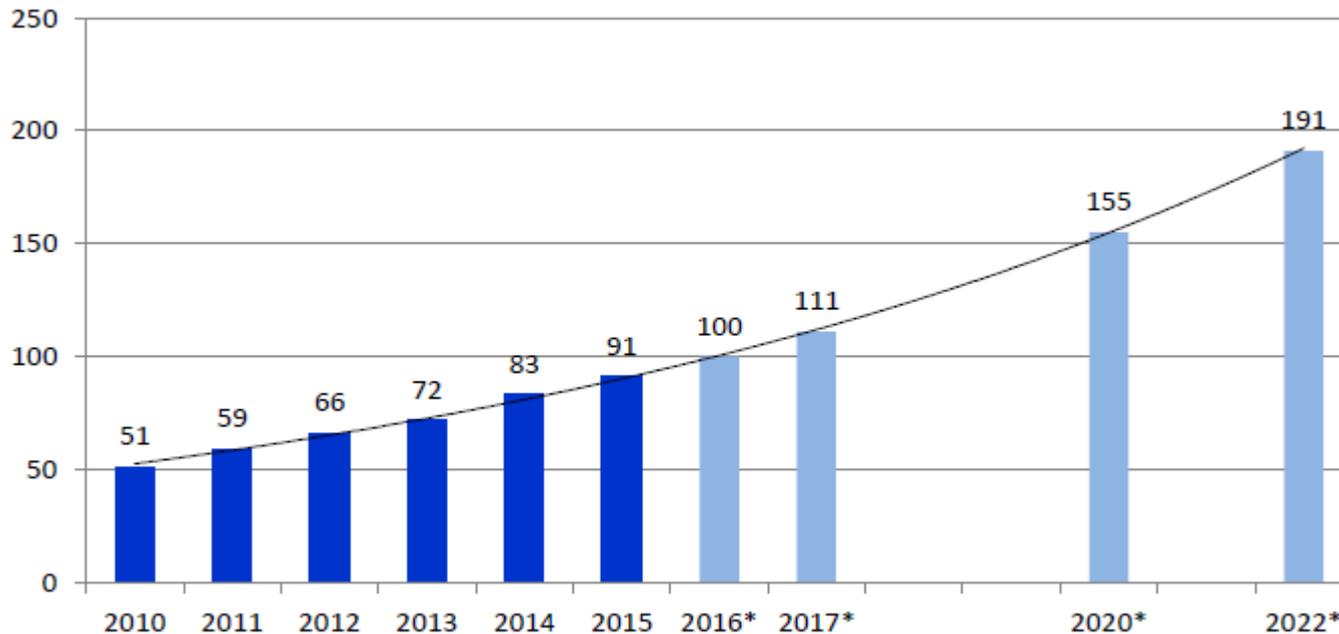
UmweltCluster Bayern - Verwertung von CFK-haltigen Abfällen

Augsburg, 28.09.2017

Maria Reiter

Motivation

Entwicklung nachhaltiger Entsorgungsrouten



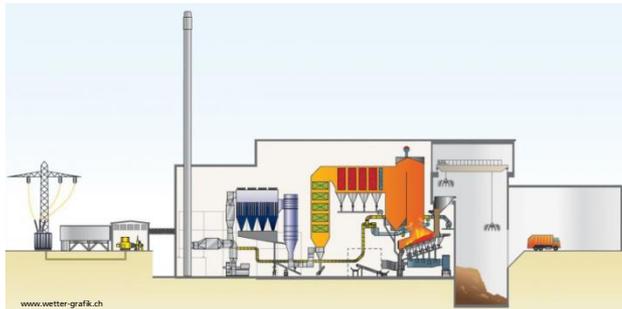
Globaler CFK-Bedarf in Tsd. Tonnen 2010–2022 (*Schätzungen)

Quelle: Composites Marktbericht 2016 (CCeV)

Motivation

– Vergleich unterschiedlicher Entsorgungsrouten:

„Worst case*“



Thermische Verwertung
(Müllverbrennung)

„Middle case*“



Pyrolyse

„Best case*“



Solvolyse (SCF)

*in Bezug auf die Recyclingroute

– Prozesskettenanalyse -> rCF

Faser Matrix Separation → Faseraufbereitung → Faserhalbzeug- und Bauteilherstellung

Motivation

Annahme von CFK-haltigen Abfällen in DE-Müllverbrennungsanlagen problematisch

- Technische Probleme
- Evtl. WHO-Fasern

ABFALLRATGEBER BAYERN

<http://www.abfallratgeber.bayern.de/meldungen/detailansicht.htm?tid=31868>

HAUSHALTE ▾

GEWERBE ▾

VORSCHRIFTEN ▾

PUBLIKATIONEN ▾

BERATUNG ▾

[Startseite](#) >> [Meldungen](#)



Neues aus der Abfallwirtschaft

2017

Neues aus der Abfall- und Ressourcenwirtschaft

05.01.2015

Nr. 2/15

MVA Ingolstadt: Entsorgung von KFK - CFK-haltigen Abfälle

Der Zweckverband Müllverwertungsanlage Ingolstadt (MVA) gibt bekannt, dass ab sofort kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (KFK), auch carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK) genannt, von der Entsorgung ausgeschlossen sind. [mehr im Downloadbereich...](#)

Warum LCA-Studie zur Müllverbrennung von CFK?

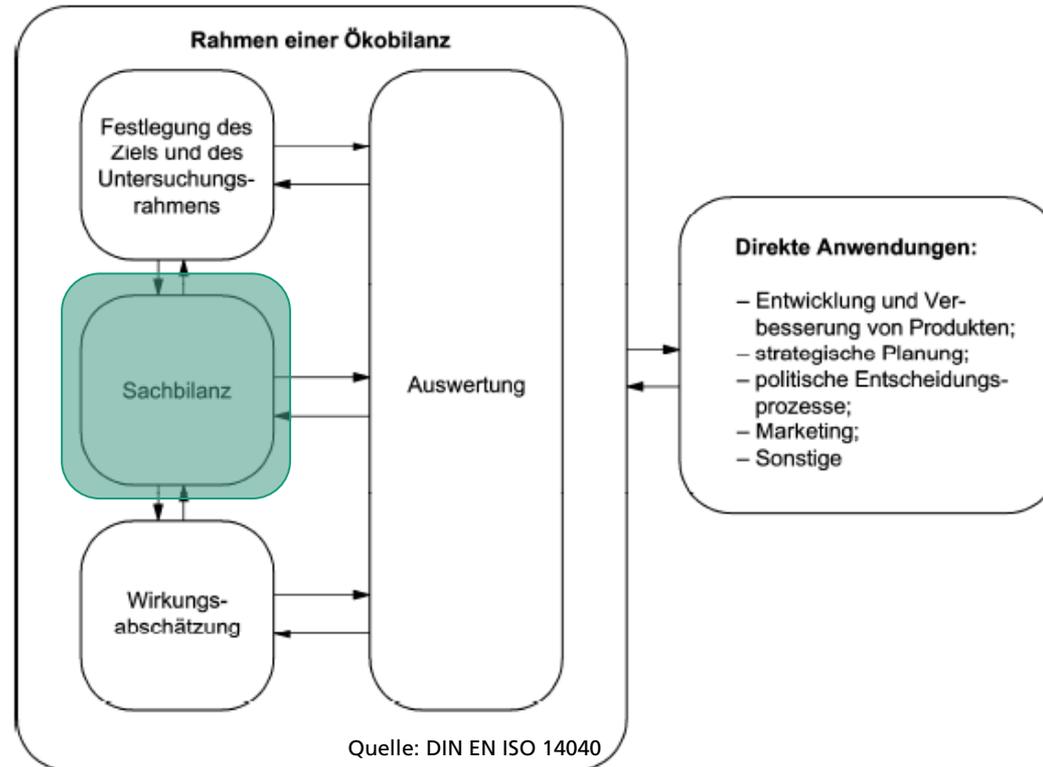
- Mindermengen (KMUs, Privathaushalte)
- Außerhalb DE?
- CFK evtl. nicht endlos recyclebar (finale Lösung)



Ökologischer Impact?

Ökobilanzierung

DIN EN ISO 14040ff.



Datenerhebung → Datenanalyse (Datenqualität)

(Messungen, Literatur, Experteninterviews, Berechnungen, Abschätzungen etc.)

Herausforderungen bei der Datenerhebung



- Vielzahl an Systemen in einer MVA
- Vielzahl an chemischen und physikalischen Vorgängen in MVA
- Technische Ausstattung in unterschiedlichen MVA
- Datenverfügbarkeit zur Verbrennung von CFK
 - Sauerstoffbedarf
 - Verhalten bei thermischer Zersetzung
 - Emissionen
 - Unterschied je nach Komponenten im CFK-Bauteil
- Th. Verwertung mit Siedlungsabfall oder als Monocharge

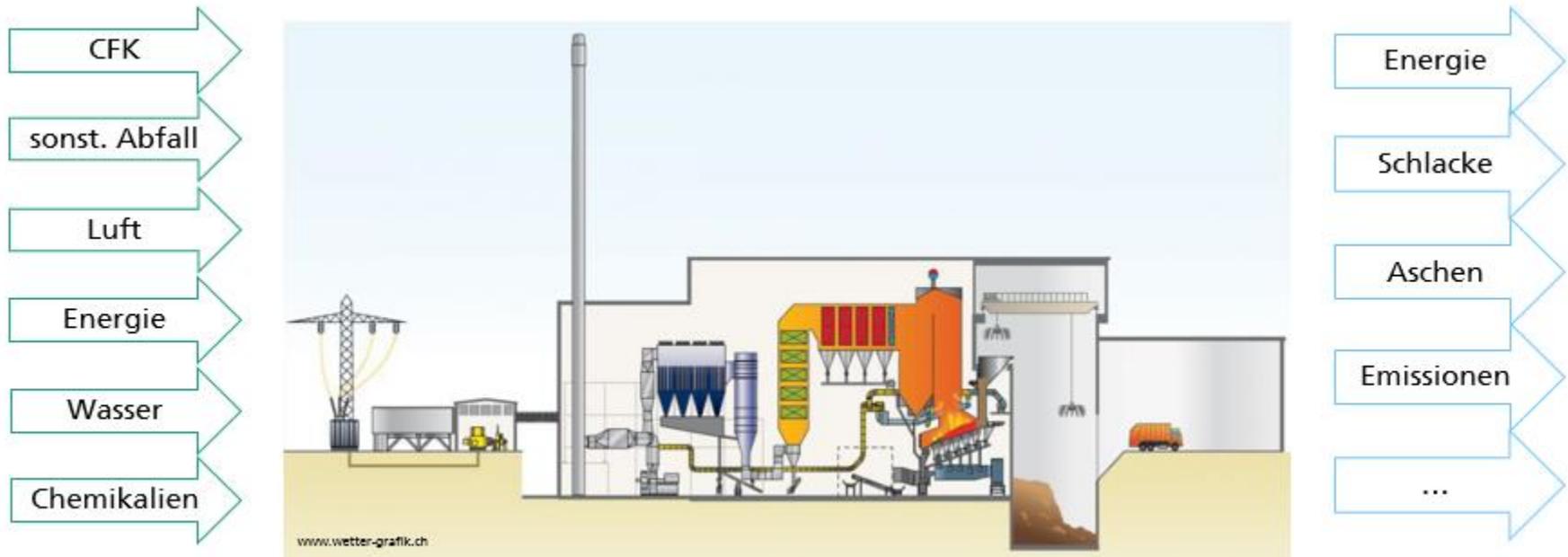
LCA-Studie

Mitverbrennung

(konventionelle Müllverbrennungsanlage)

CFK-spezifische Verbrennung

(Monocharge)



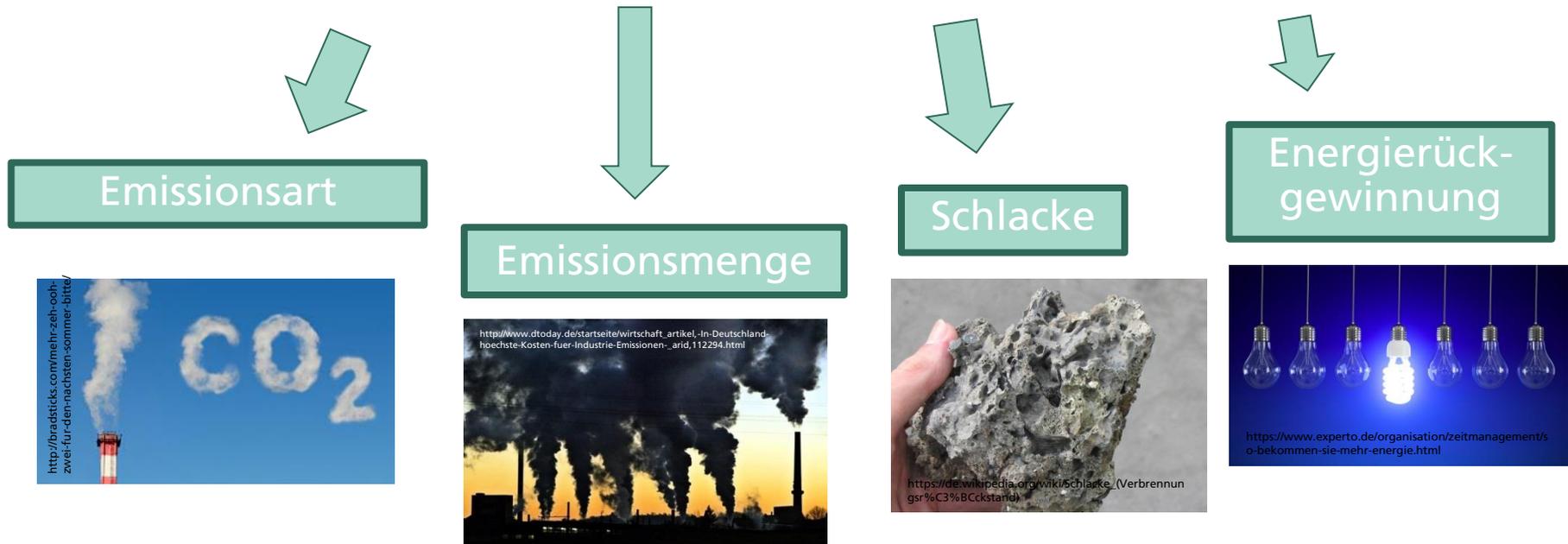
Herausforderung: Datenverfügbarkeit

1.Schritt: Mitverbrennung in konventioneller Anlage

Einfluss des Sauerstoffinputs

Der Sauerstoffinput beeinflusst:

Vollständigkeit der thermischen Zersetzung



$$\lambda = \frac{\text{tatsächliche Luftmenge}}{\text{stöchiometrische Luftmenge}} \hat{=} \frac{O_{2\text{tat.}}}{O_{2\text{min.}}}$$

Ermittlung des Mindestsauerstoffbedarfs

Berechnungen nach Hellfritsch (TU-Dresden)

$$\mu_{O_2, \min} = \frac{M_{O_2}}{M_C} \xi_C + \frac{M_{O_2}}{2 \cdot M_{H_2}} \xi_H + \frac{M_{O_2}}{M_S} \xi_S - \xi_O$$

ξ die Massenanteile aus der Elementarzusammensetzung
 M_i molaren Massen

$> 2 \frac{\text{kg O}_2}{\text{kg CFK}}$

Stark abhängig von diversen Faktoren (Fasermaterial, Matrixwerkstoff, FVG)

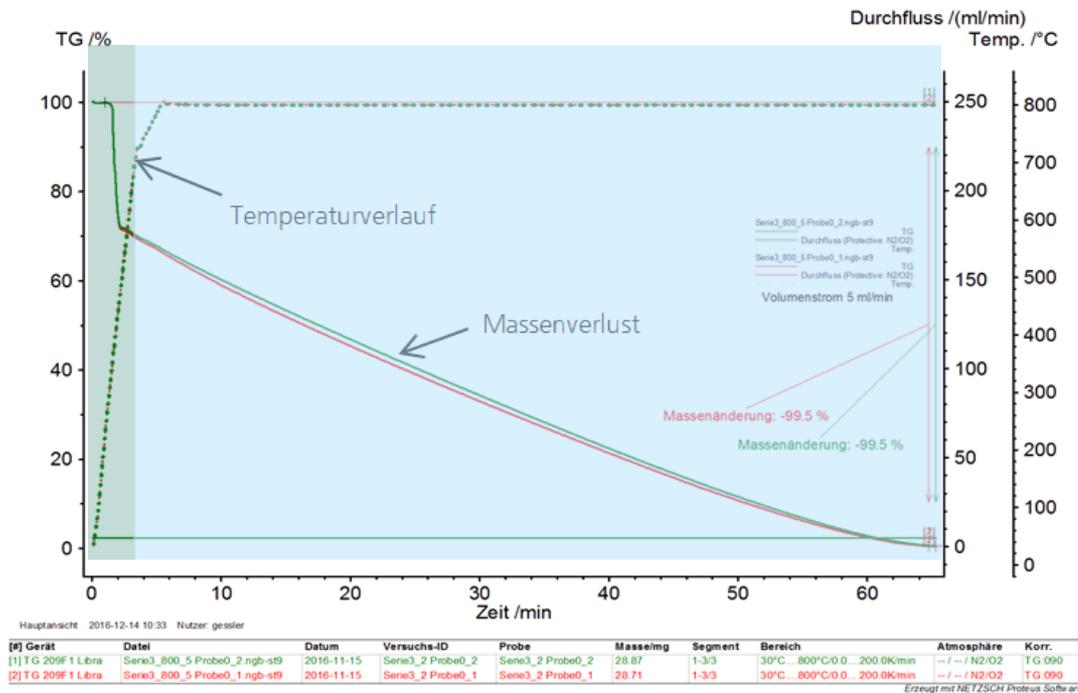


Hoher Kohlenstoffgehalt in CFK

Empirische Datenerhebung

Verbrennungsverhalten von CFK

→ Zunächst eine Materialkomponente (CF/Epoxidharz → FVG ~60%)



Schnelle Zersetzung der Matrix → hoher Sauerstoffbedarf / Zeit

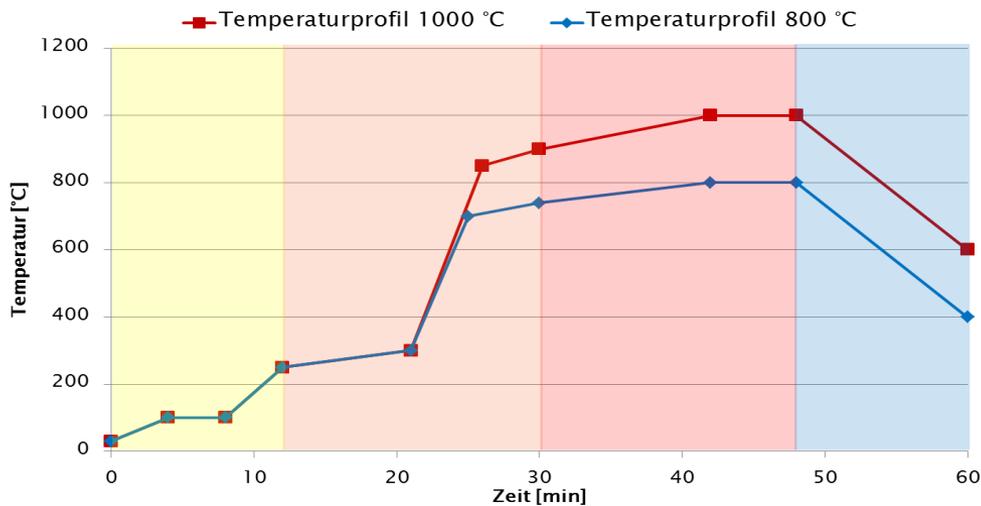
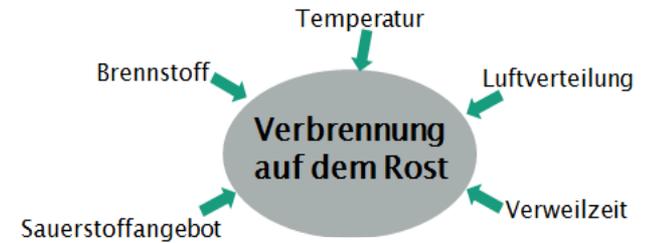
Langsame Zersetzung der C-Faser → geringer Sauerstoffbedarf / Zeit

Empirische Datenerhebung

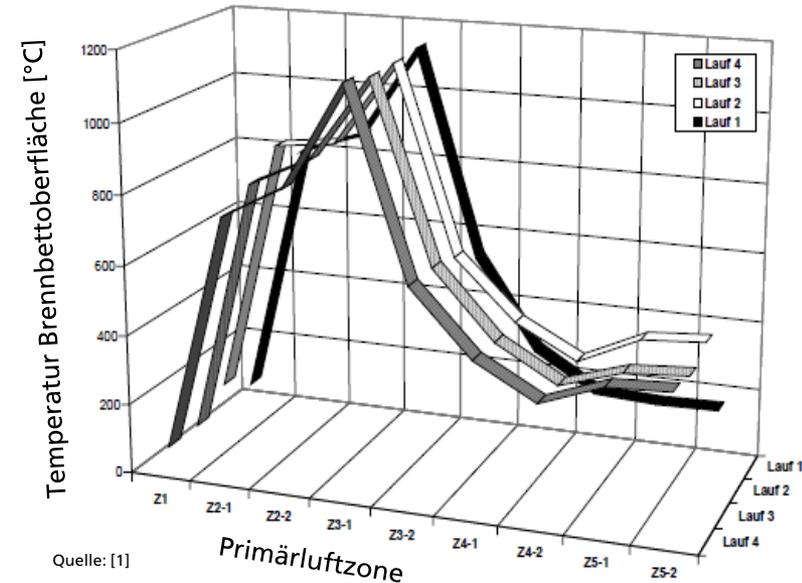
Ermittlung Massenverlust

Nachstellung der Rostfeuerung im Labormaßstab

- Temperaturverlauf
- Sauerstoffzufuhr



In Anlehnung an [2]

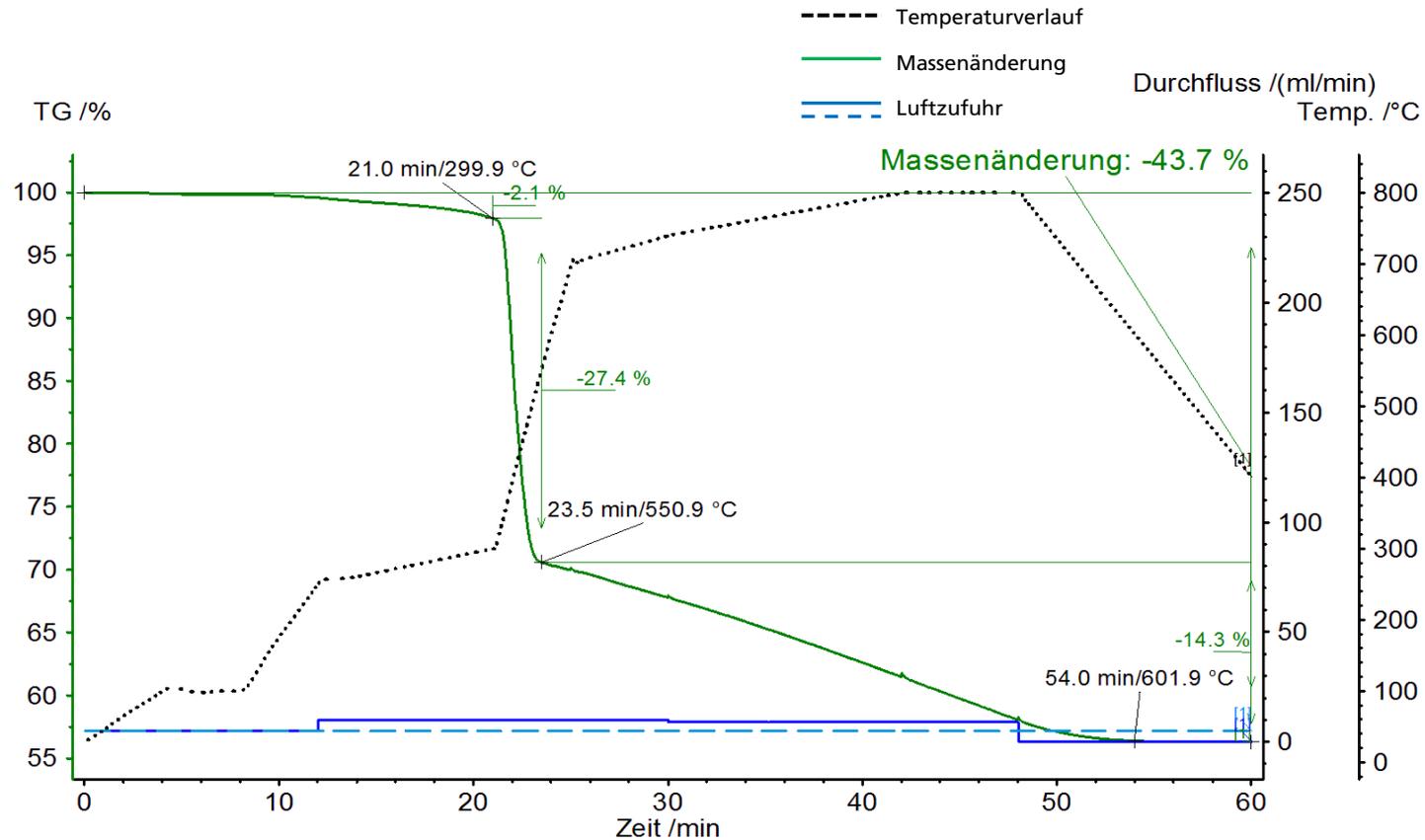


Quelle: [1]

Luftzuführung in 4 Zonen – überstöcheometrisch in Bezug auf Hausmüll

Empirische Datenerhebung

Ermittlung Massenverlust



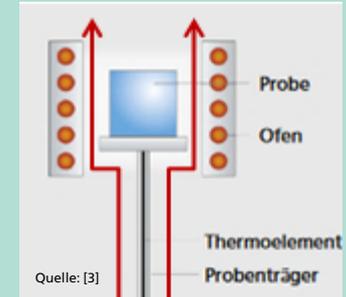
➔ Massenabbau < 50%

Empirische Datenerhebung

Methodik, Emissionsbestimmung

Versuche im Labormaßstab - TGA

- Luftzuführung
- Keine Berücksichtigung der Durchmischung
 - mech. Einflüsse werden vernachlässigt
 - evtl. Temperaturschwankungen im Brennbett
- keine Nachverbrennung der Emissionen



Emissionen direkt über dem Rost:

Abhängig von Verbrennungstemperatur (800°C – 1000°C)

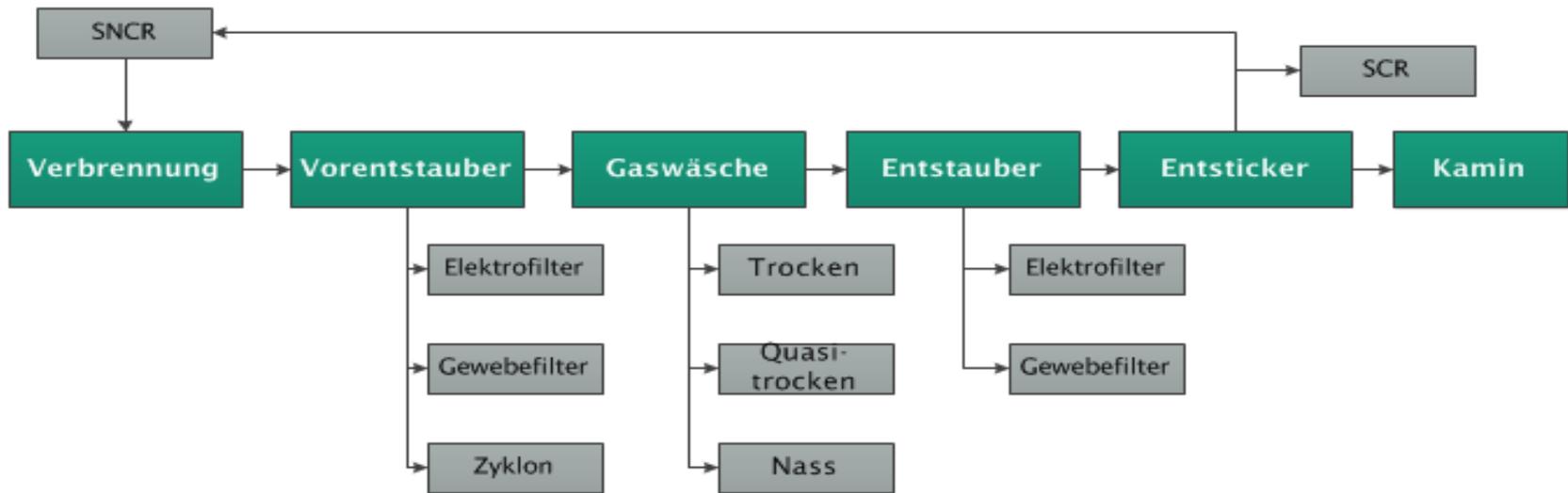
GC-MS-Messungen

- Chlorverbindungen
- Kohlenwasserstoffe

Emissionsbestimmung

- GC-MS-Messungen
- FTIR-Messungen
- TG-Daten
- Elementaranalyse

Emissionen direkt über dem Rost
& zersetzte Masse als Basis der Emissionsberechnung



- Variierende Rauchgasreinigung je nach Anlage/Standort
- Wechselwirkungen mit Restmüll (z.B. Cl)
- Differenz zwischen Theorie und Praxis

Analyse von:

- Szenarien
- Sensitivitäten

Energiebilanz

Eigenbedarf der Anlage

Beispiele Literaturwerte:

- BVT Merkblatt (2005) [4]
- ifeu: 1-6% je el. & th.* [5]

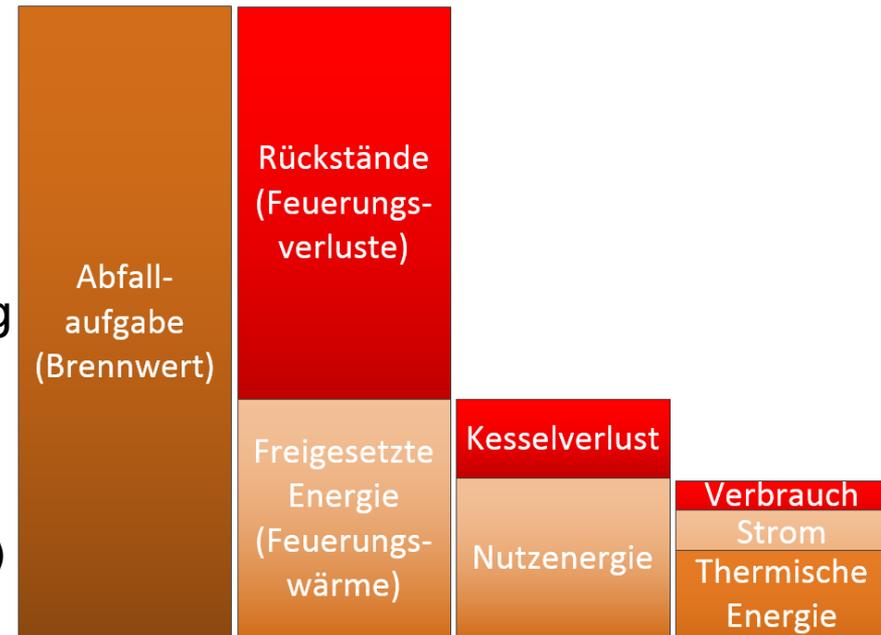
Energy demand type	Units	Minimum	Average	Maximum
Electricity (absolute)	MWh _e /t waste	0.062	0.142	0.257
	GJ _e /t waste	0.223	0.511	0.925
Heat (absolute)	MWh _{th} /t waste	0.021	0.433	0.935
	GJ _{th} /t waste	0.076	1.559	3.366
Total demand (equivalents)	MWh _{eq} /t waste	0.155	0.575	1.116
	GJ _{eq} /t waste	0.558	2.070	4.018

Quelle: [4]

Gutschrift für Energieumwandlung

Hoher Heizwert von CFK: bis zu ~ 30 MJ/kg

- Anlagenwirkungsgrade
- Energienutzung (thermisch / elektrisch)
- tatsächlich zersetzter Masse



*bezogen auf die Feuerungswärme

Fazit

- **Vielzahl an Variationsmöglichkeiten**
 - Unterschiedliche Anlagentechniken/Energienutzung
 - Unterschiedliche Temperaturprofile / Müllzusammensetzung
 - Unterschiedliche CFK-Komponenten

Hohe Zahl an Variationen → Szenarien- und Sensitivitätsanalysen erforderlich

- **Unterschied: Laborversuche / Realbedingungen**
 - Massenverlust (Schlacken, Aschen, Emissionen, Energie...)
 - Luftzuführung
 - Durchmischung
 - Probengröße
 - Emissionsbestimmung
 - Wechselwirkungen
 - Theoretische Werte (Berechnungen, Literaturdaten etc.)

Fazit / weiteres Vorgehen:

- Untersuchungen eignen sich für Einschätzung des Verbrennungsverhaltens von CFK jedoch:
 - Weitere Versuche notwendig
 - Variation von Temperaturzyklen/ Primärluftzuführung
 - Variation der CFK-Komponenten
 - Überprüfen vorhandener Daten nach Qualität (bzw. Verfügbarkeit)
 - Keine exakte Datenerhebung anhand der verwendeten Laborsysteme möglich
→ REALVERSUCHE notwendig
- Untersuchung Reststoffaustrag (Entsorgung/Verwertung von Schlacken und Aschen)?
- Notwendigkeit alternativer Lösungswege
 - Untersuchung zu CFK-spezifischen Müllverbrennungsanlagen
 - Evtl. Untersuchung der CFK-Entsorgung über Sondermüllverbrennung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

**Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-,
Composite- und Verarbeitungstechnik (IGCV)**

Am Technologiezentrum 2,
86159 Augsburg

Ansprechpartner:

Kerstin Angerer

Effizienz & Bilanzierung

Telefon +49(0) 821-90678-251

kerstin.angerer@igcv.fraunhofer.de



Quellen

- [1] Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Christian Wolf: Erstellung eines Modells der Verbrennung von Abfall auf Rostsystemen unter besonderer Berücksichtigung der Vermischung - ein Beitrag zur Simulation von Abfallverbrennungsanlagen
- [2] Kecke HJ. Grundlagenuntersuchungen zum Dickstoffverfahren mit chemisch/toxischen Abfällen, insbesondere MVA-Filteraschen, im Salinar: Forschungs- und Entwicklungsvorhaben. Schlussbericht. Magdeburg; 2000.
- [3] Netzsch. Thermogravimetrie - TG: Technik, Gerät, Applikation. TG 209 F1 Libra. Netzsch Analysieren & Prüfen.
- [4] Umweltbundesamt: BVT-Merkblatt über beste verfügbare Techniken der Abfallverbrennung; 2005
- [5] ifeu: Beispielhafte Darstellung einer vollständigen, hochwertigen Verwertung in einer MVA unter besonderer Berücksichtigung der Klimarelevanz
- [6] Umweltbundesamt: Stellenwert der Abfallverbrennung in Deutschland; Oktober 2008