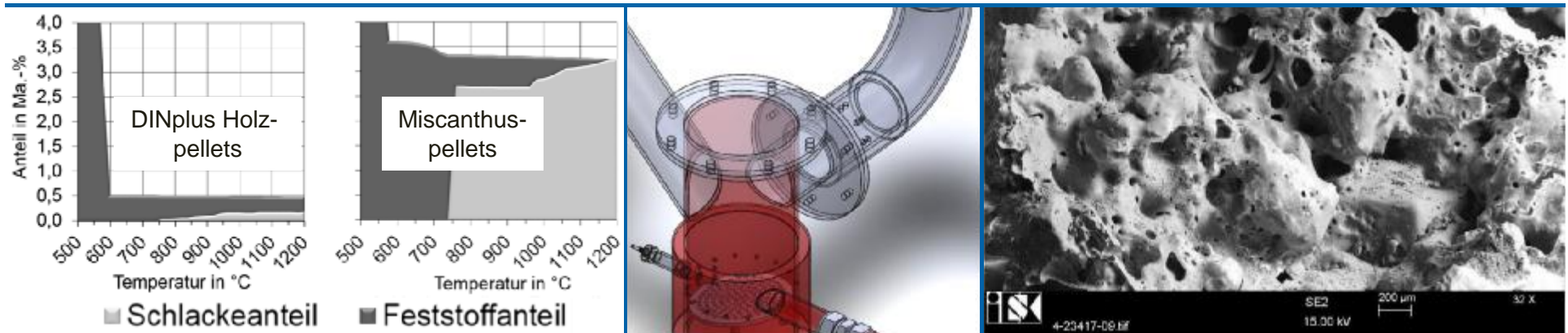


Werkstoffauslagerungen in einem Modellbrenner für Miscanthuspellets

Maria Gilbert*, Mirjam Müller, Volker Uhlig, Gunter Ullmann, Ingo Hartmann, Hartmut Krause*
*Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik der TU Bergakademie Freiberg



3. Freiburger-Feuerfest-Symposium 23.-25. April 2018 im Tivoli, Freiberg

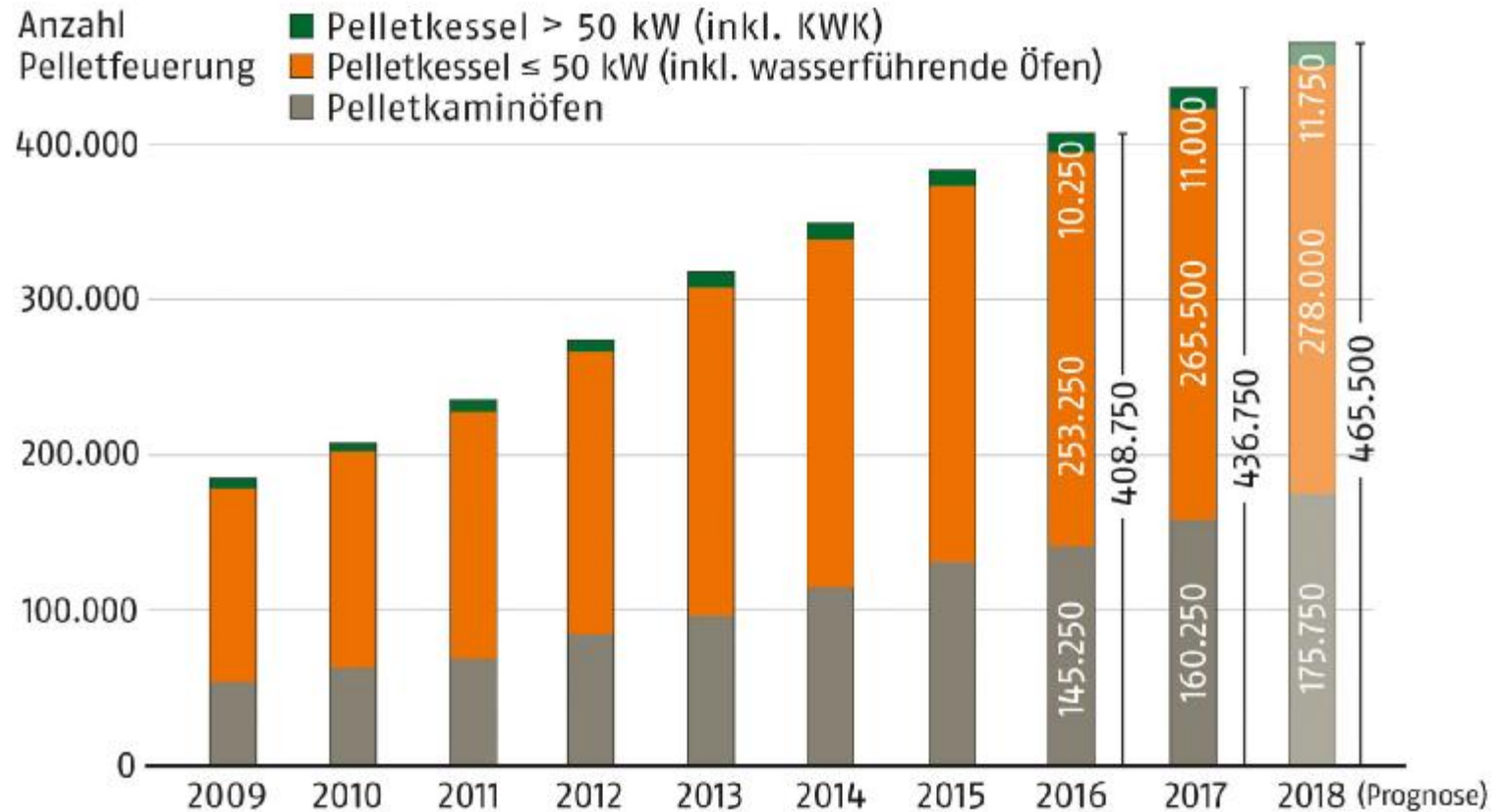


Inhalt



- § Situation am Markt
- § Kritisches Brenngut: Miscanthus
- § Mehrstufiger Pelletbrenner für Korrosionsuntersuchungen
- § Ergebnisse der Auslagerungsversuche
- § Fazit

Pelletfeuerungen / Wärmebereitstellung in Deutschland seit 2008



© Deutsches Pelletinstitut GmbH Quelle: DEPI auf Basis der Zahlen von Biomasseatlas.de, ZIV, HKI, BDH; Stand Februar 2018



Marktsituation



www.fasba.de



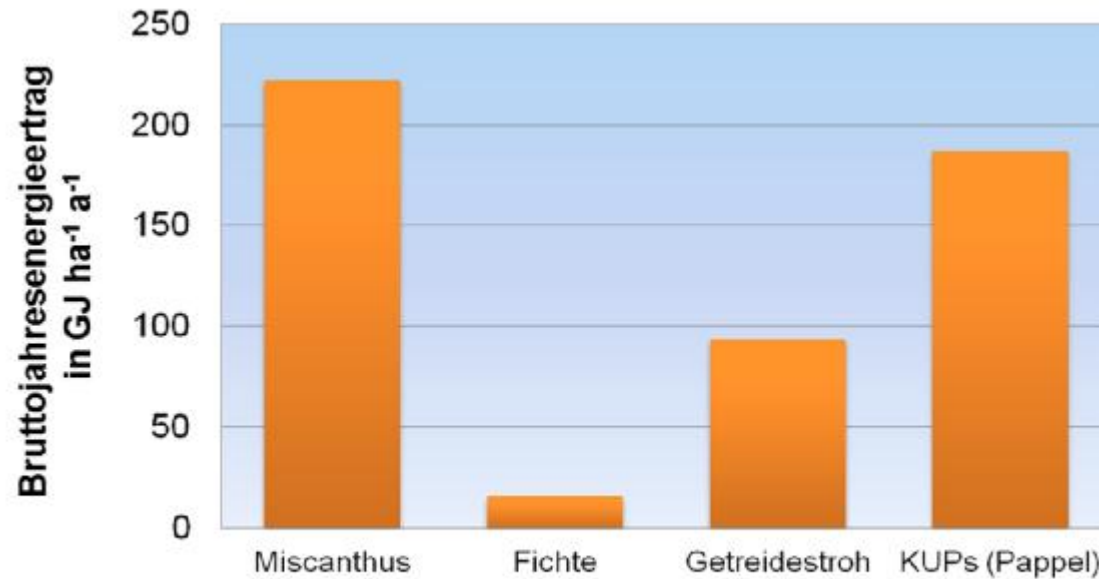
Aktuelle Wärmeversorgung mit Pelletbrennern

- § Holzpelletbrenner im Teillastbereich
- § selten Zulassung für alternat. Brennstoffe

Anforderungen an Brenner für moderne, wärmegeämmte Gebäude

- § Nennleistung ≤ 10 kW
- § emissionsarm ($\text{CO} < 250 \text{ mg/m}^3$, $\text{NO}_x < 500 \text{ mg/m}^3$, Staub $< 20 \text{ mg/m}^3$ - 1.BImSchV)
- § modularer Aufbau für die Anwendung an Kleinkesselanlagen
- § Zulassung für Kleinf Feuerungen mit alternativen Biomassen (1. BImSchV, Nr. 13)

Motivation



Miscanthus [DBFZ 2018]

Energieerträge halmgut- und holzartiger Pellets [FNR2000-2014]

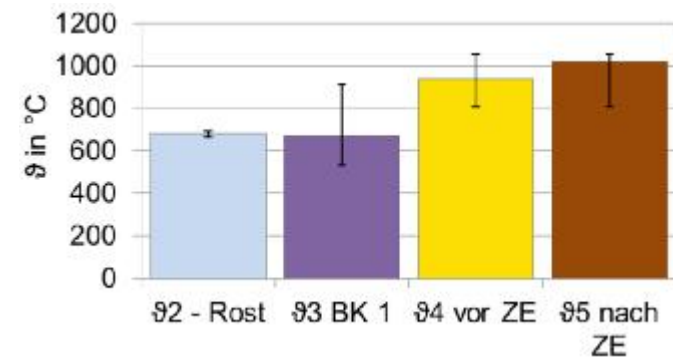
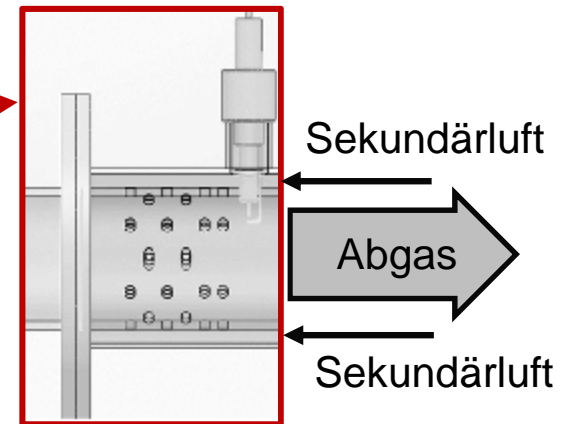
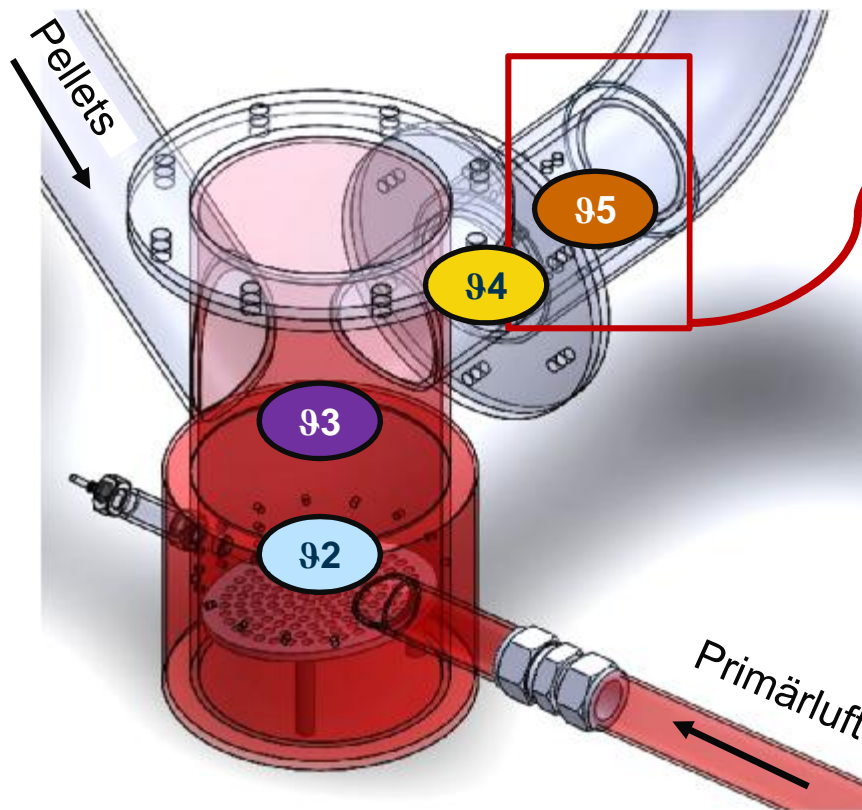
- Miscanthus = nachwachsender Rohstoff mit sehr hohem Bruttojahresenergieertrag
- Anwendung derzeit: Bauzuschlagsstoff, Tiereinstreu, selten: Hackschnitzelheizungen

Charakterisierung von Holz- und Miscanthuspellets



Parameter	Einheit	DINplus Holzpellets	DBFZ Miscanthuspellets
C	% TS_KF	52,4	47,3
H	% TS_KF	6,4	5,3
O	% TS_KF	40,52	42,32
S	% TS_KF	0,074	0,069
Cl	% TS_KF	0,005	0,186
N	% TS_KF	0,31	0,35
Aschegehalt 550 °C	% TS_KF	0,29	4,53
total	% TS_KF	100	100
Wassergehalt W	% FM	5,67	11,1
Hu (DIN 17225-1)	MJ/kg FM	17,5	15,5
Haupt-Nebenbestandteile aus Totalaufschluss			
Ca	% TS_KF	0,09	0,19
K	% TS_KF	0,07	0,94
Si	% TS_KF	0,12	1,03

Aufbau des Versuchsbrenners für Miscanthuspellets



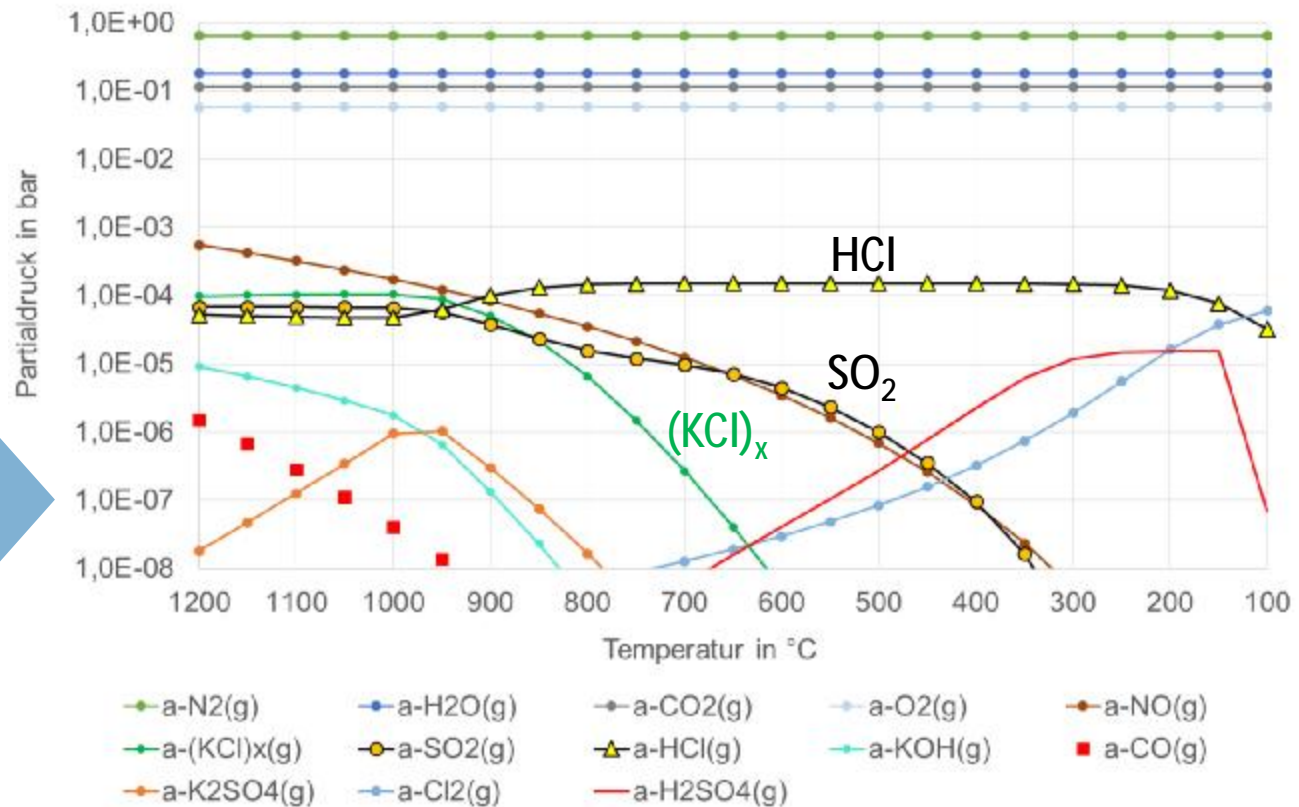
Thermodyn. Gleichgewicht des korrosiven Abgases (factsage 7.2)



(Saugzug: $p_{diff} = 0,5-5$ mbar im Vergaser, $\lambda_{Vergaser} = 0,5$, $\lambda_{ges} = 1,5$)

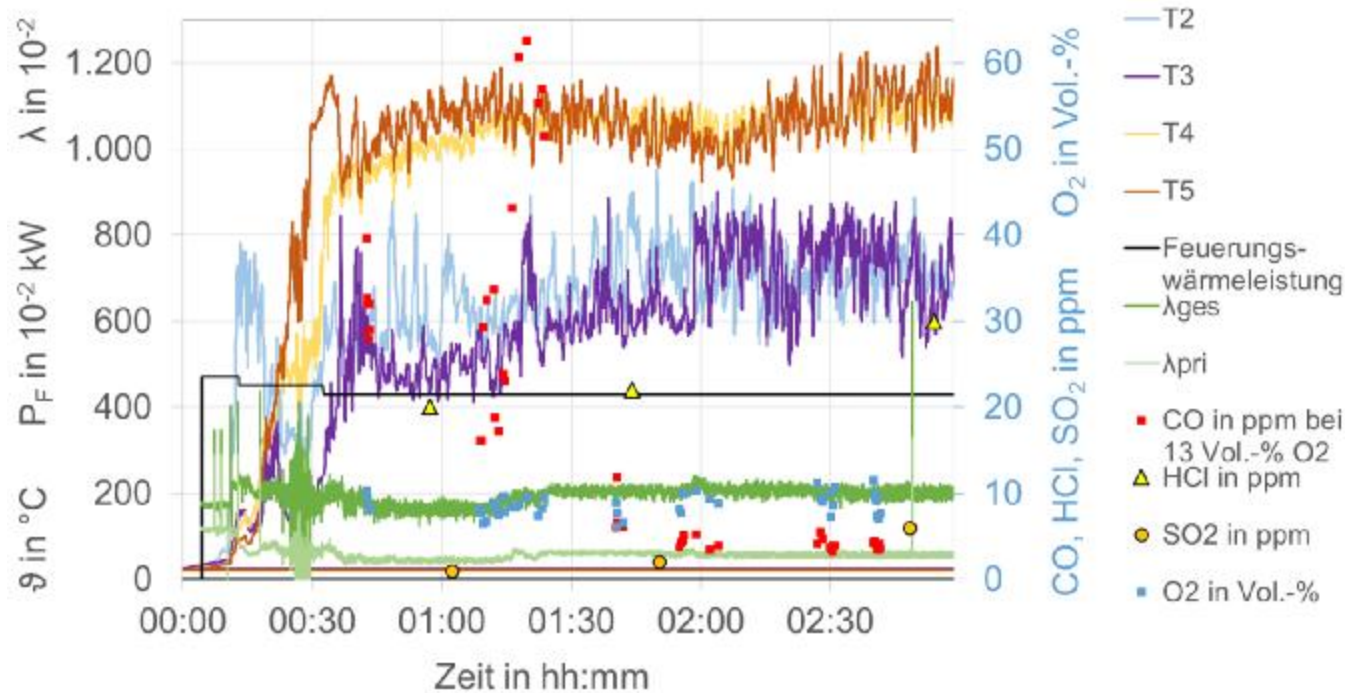
Partialdrücke im Vergasungsgas bei 800 °C, $p_t = 1$ bar

$N_2(g)$	0,47
$H_2O(g)$	0,14
$CO_2(g)$	0,136
$H_2(g)$	0,132
$CO(g)$	0,116
$(KCl)_x(g)$	200 ppm
$H_2S(g)$	150 ppm
$HCl(g)$	98 ppm
$NH_3(g)$	12 ppm
$CH_4(g)$	12 ppm
$COS(g)$	4 ppm
$KOH(g)$	0,1 ppm



Betrieb des Versuchsbrenners mit Miscanthuspellets

(Saugzug: $p_{diff} = 0,5-5$ mbar im Vergaser)



Abgas in quasistat. Phase:

CO (Bezug: 13 Vol.-% O_2)

Versuchsbrenner:

99,5 % < 400 mg/m³ (1.BImSchV)

dabei 95 % < 115 mg/m³

NOx (Bezug: 13 Vol.-% O_2)

Versuchsbrenner:

99,5 % < 500 mg/m³ (1.BImSchV)

dabei 95 % < 330 mg/m³

Real: 6 bis 11 % Vol.-% O_2

HCl

Versuchsbrenner: 15-30 ppm

Factsage: ≤ 150 ppm

SO₂

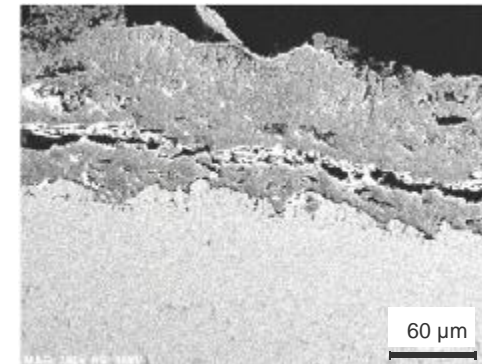
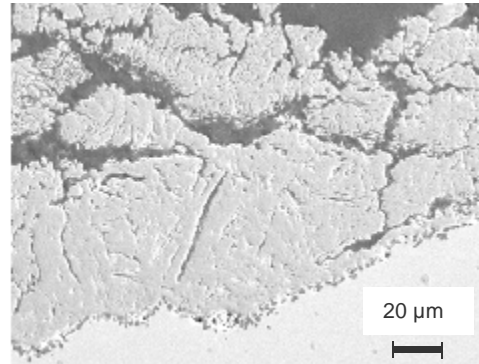
Versuchsbrenner: ≤ 6 ppm

Factsage: ≤ 70 ppm

1.4749

X18CrN28

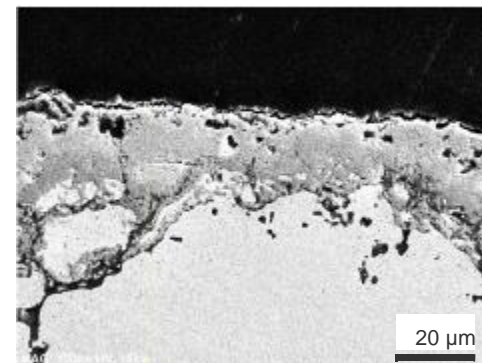
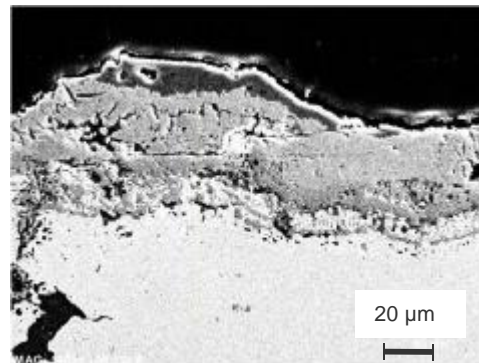
- poröse Restoxidschicht: 80 bis 200 μm
- chromverarmte Randschicht



1.4841

X15CrNiSi25-21

- VBZ:
Lochkorrosion bis 25 μm
- ABG:
LK und Interkristalline Korrosion bis 85 μm





Übersicht der untersuchten Auskleidungsvarianten



Produkttyp/ Merkmal	Schamotte	„Saure“ Schamotte + 3 Ma.-% Alkalioxide	Flüssig- schamotte	LCC, Andalusit,	Tonerde + 4 Ma.-% SiC,	> 29 SiC/ Tonerde,
Al ₂ O ₃ / Ma.-%	44	23	(28)	57	58	>32
SiO ₂ / Ma.-%	51	71	(68)	38	30	<31
CaO / Ma.-%	-	-	(4)	2,3	4,2	<3,2
Fe ₂ O ₃ / Ma.-%	1,2	1	< 1	<3	0,9	<0,9
T _{B,max} / °C	> 1200	> 1200	> 1200	1650	1500	1550
Porosität	16%	13%	porös, Wasserbedarf > 12 Ma.-%	17% (800 °C), Wasserbedarf ca. 8 Ma.-%	< 20%, Wasserbedarf ca. 8 Ma.-%	< 20%, Wasserbedarf ca. 7 Ma.-%
λ _{800 °C} / W/(mK)	1,35	1,35	?	1,61	1,44	3,0

Testbedingungen nach DIN 51069:

- DIN liefert Probenabmaße: 100x100x100 mm³ + Deckel, Haltezeit (24 h)
- keine Vorgabe der Haltetemperaturen

1. Industrieller Standard nach [Horn14]:

$\vartheta_{\text{auslager}} = 1100 \text{ °C}$ mit K_2CO_3
 $\vartheta_{\text{Vorbrand}} > 1000 \text{ °C}$

2. Adaptierter Tiegeltest Gräter&Jünger [Horn14]:

$\vartheta_{\text{auslager}} \approx \vartheta_{\text{Brenn-EBS}} = 900 \text{ °C}$ (24 h) mit
 $\text{K}_2\text{CO}_3:\text{Na}_2\text{CO}_3$
 $\vartheta_{\text{Vorbrand}} \leq \vartheta_{\text{auslager}} - 100 \text{ °C} = 800 \text{ °C} / 900 \text{ °C}$ (12 h)

à Durchgeführte Auslagerung am IWTT:

Probekörper: zylinderförmig, Ø ca. 50 mm

$\vartheta_{\text{auslager}} \approx \vartheta_{\text{Brenn-Halmgut}} = 1000 \text{ °C}$

$t_{\text{auslager}} = 5 \text{ h}$ mit K_2CO_3

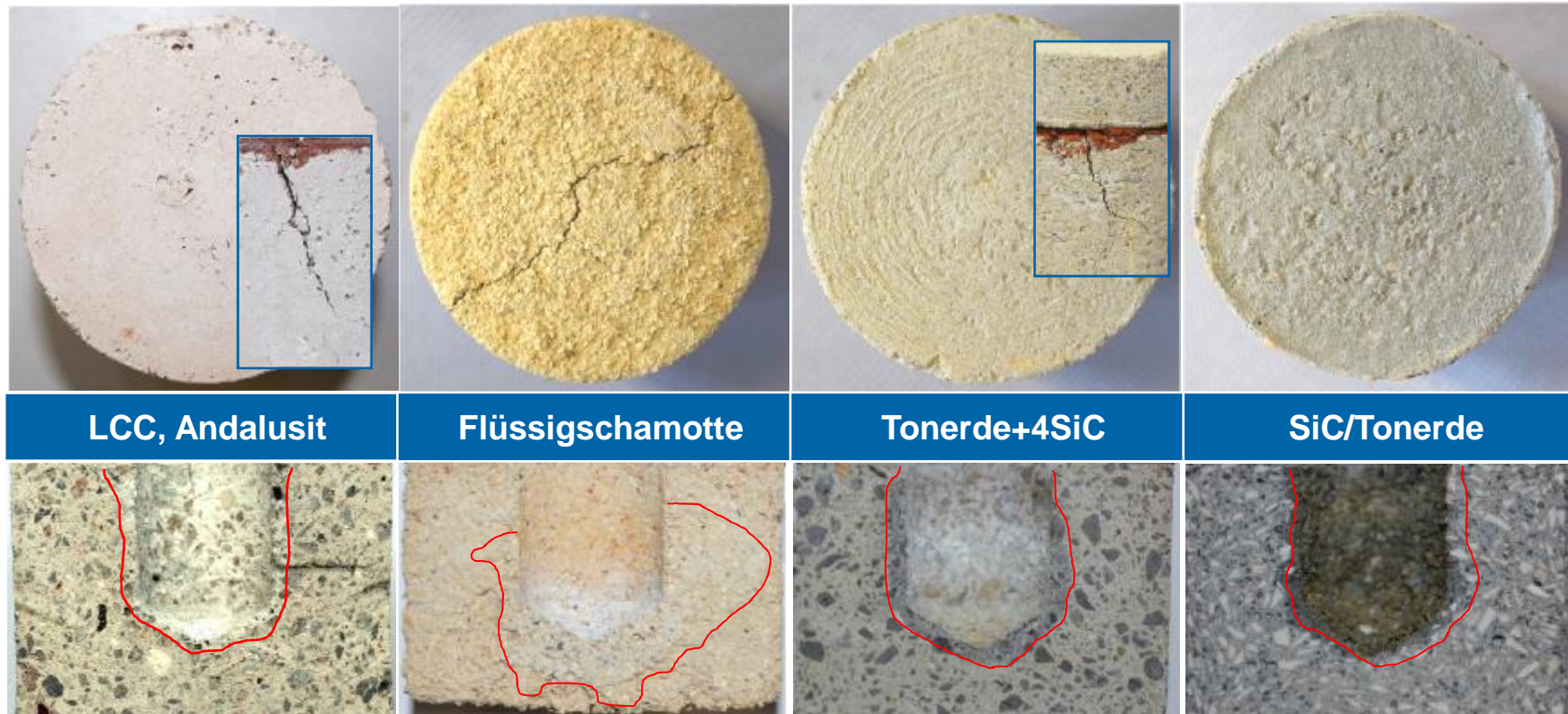
$\vartheta_{\text{Vorbrand}} = 900 \text{ °C}$ (6 h)



44- Al_2O_3 /51 SiO_2
 à Infiltration

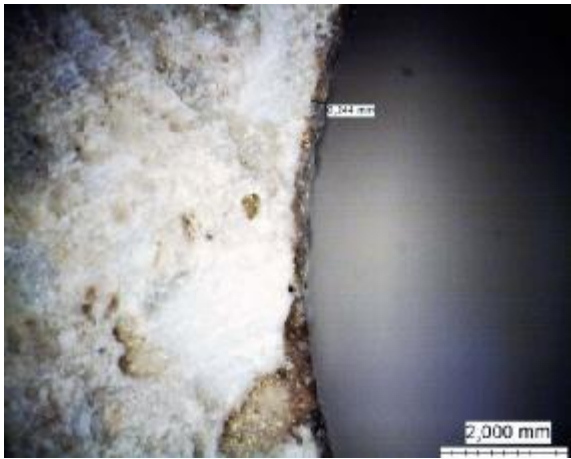


23 Al_2O_3 /71 SiO_2 /3 % Alkali
 à Verglasung

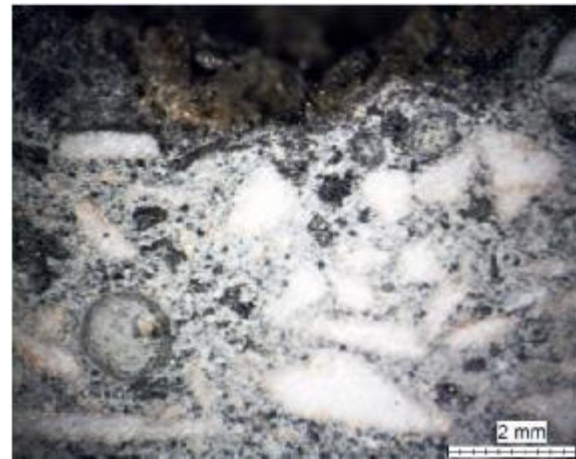


Saure Schamotte

Feuerbeton: 29 SiC / Tonerde



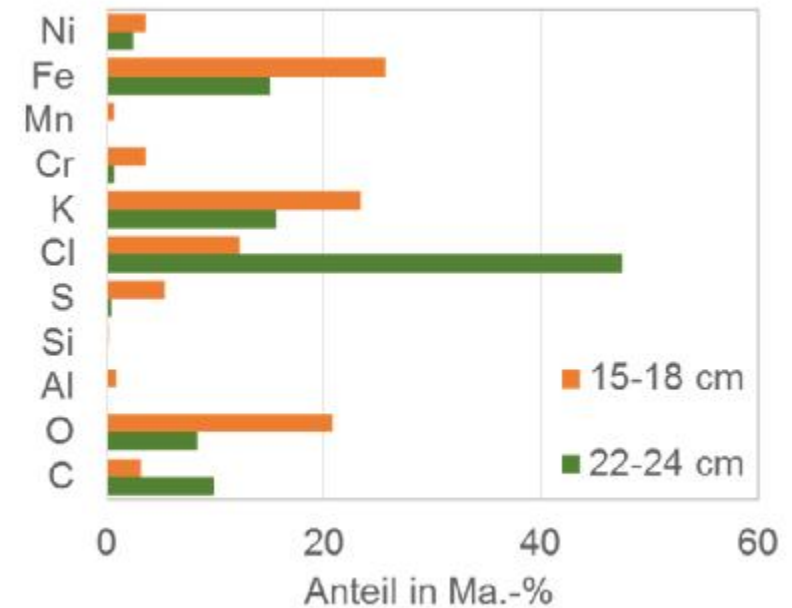
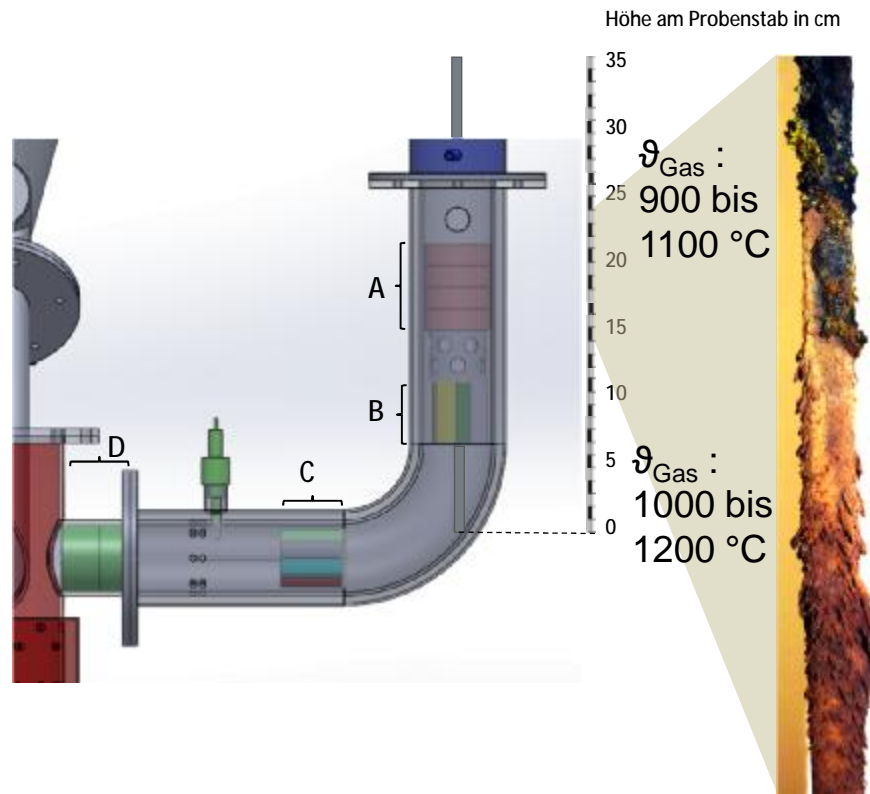
Glasige Phase weniger Zehntel Millimeter schließt die offenporöse Oberfläche



Glasige Phase (Elementanteile in Ma.-%):

O	Si	K	Al	C	Ca	Na	Fe	S
46,4	24,3	13,2	5,8	4,1	3,4	1,9	0,4	0,3

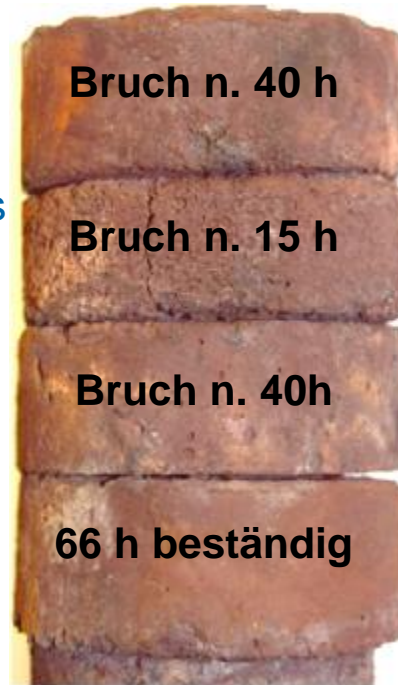
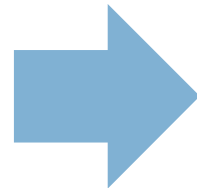
Ablagerungsbildung am Probenstab im Abgasstrom



Abscheidungen am Probenstab beim Brennerbetrieb mit 4 kW Miscanthuspellets [IKS Dresden, 2017]



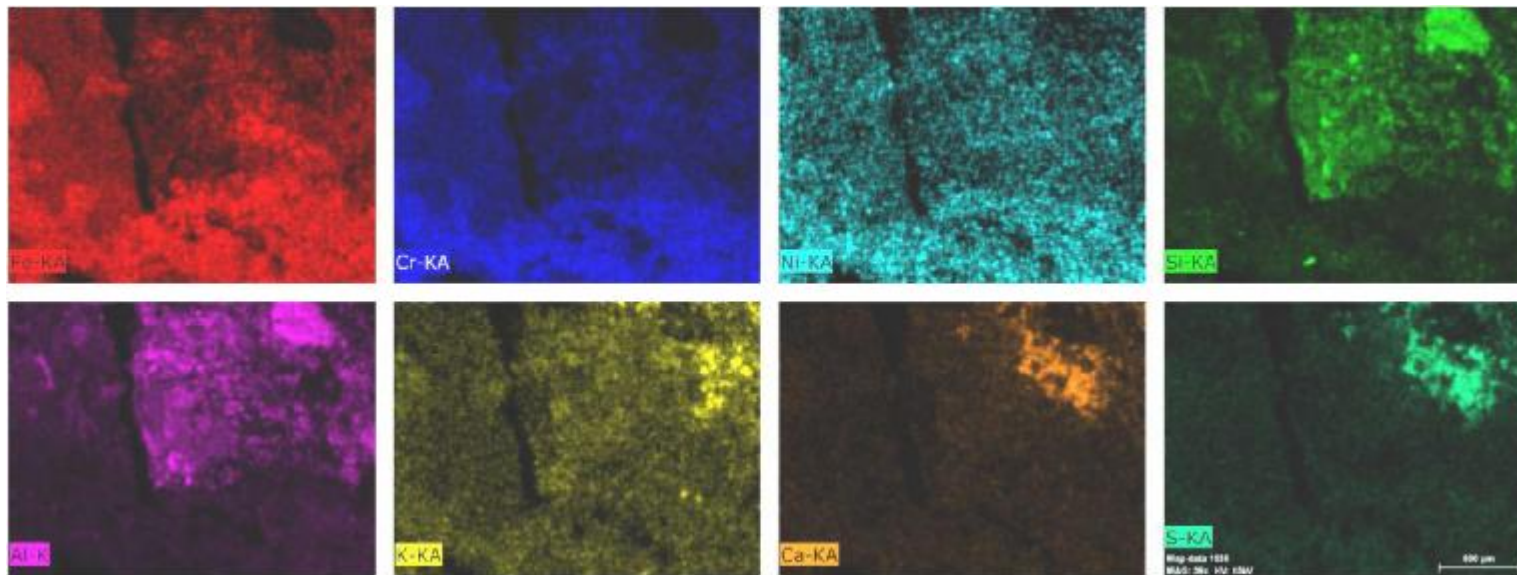
Zyklischer
Betrieb des
Brenners



Querbruch: Saure Schamotte



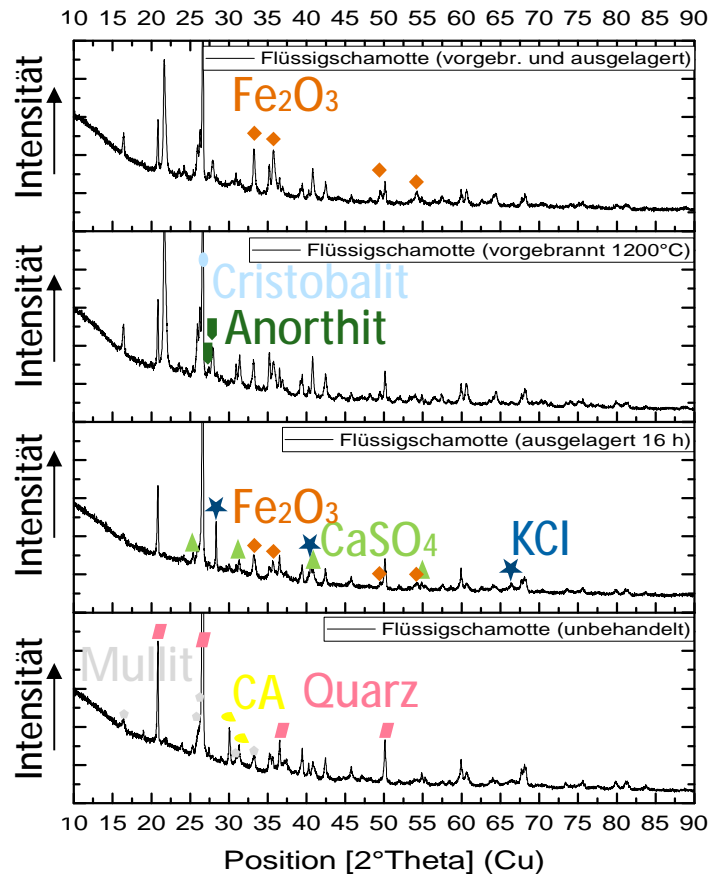
Riss und Querbruch:
Tonerde + 4 Ma.-% SiC



Elementverteilung an Bruchfläche des andalusitbasierten FB [IKS Dresden, 2017]

- Oberflächlich: Calciumsulfat und Aluminiumsilikate
- In den Poren: eisen-, chrom- und nickelhaltige Verbindungen, vermutlich Zunder

Röntgendiffraktometrie [E.Qoku18] an Flüssigschamotte









Vorbrand 1200 °C:

- § Quarz/ Mullit/ CA → Cristobalit, Anorthit,
- § Amorpher Anteil sinkt, 53 Ma.-% → 29 Ma.-%

Zyklische Auslagerung im Abgas:

- § Mullitanteil sinkt, amorpher Anteil steigt
- § Einlagerungen von Hämatit, Sylvit und Anhydrit in poröser Auskleidung
- § Vorgebrannte Teile zeigen keine Anhydrit und Sylviteinlagerungen

- à Alkalikorrosion: nicht nachweisbar, aber Hinweise auf Albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) um 6 Ma.-% in allen FB-Qualitäten
- à Salz- und Eiseneinlagerungen sowie Cristobalitbildung verdichten das Material, TWB sinkt

Produkttyp/ Merkmal	Schamotte	„Saure“ Schamotte + 3 Ma.-% Alkalioxide	Flüssig- schamotte	LCC, Andalusit,	Tonerde + 4 Ma.-% SiC,	> 29 SiC/ Tonerde,
Tiegeltest K₂CO₃, 5 h 1000 °C	breite Diffusions- zone	oberflächlich Glasphasen- bildung	breite Diffusions- zone, Risse	mittelbreite Diffusionszon e Risse	schmale Diffusions- zone, kl. Riss	schmale Diff. Zone, massive Glasphasen
Bruchfläche n.Auslagerung						
Rissbildung nach h	rissfrei nach 66 h	rissfrei nach 66 h	nach 15 h	Anriss nach 40 h	Anriss nach 40 h	rissfrei nach 66 h
Hämatit / Ma.-% (h/Zyklen)	n.b.	n.b.	7 (31/13)	10 (66/28)	7 (66/28)	10 (66/28)
Eignung	mäßig	gut	ungeeignet	ungeeignet	mäßig	(gut)



Marktsituation [FNR2013 und Herstellerinformationen der Pelletöfen]



Werkstoff	Hersteller / Nennleistung	min. Grundpreis in €
Edelstahl-BK	Biotherm, EXTRAFLAME , SBS-Heizkessel, Herz Energietechnik, Helbig TwinHeat ab 12 kW	4380-7399 Ø 5665
schamottierte BK	ETA PE-K, Hargassner GesmbH, Hoval GmbH , Nolting Holzfeuerungstechnik GmbH, Rennergy Systems, SOLARFOCUS GmbH ab 8 kW	8470-13940 Ø 11137
schamottierte BK, Gussrost/Gussretorte	FERRO BIOMAT Wärmetechnik GmbH >99 kW Thermorossi S.p.a. Ecotherm Compact, ab 18kW Viessmann Gruppe > 45-85 kW	4336-13265
Guss	Janfire Pelletswärme , P&H Energy PH, ab 12kW	6435-8400
Feuerbeton und Edelstahl	Herz Energietechnik GmbH (FB mit SiC), > 80 kW ÖkoFEN F&E G.m.b.H. 4-8 kW	8990
SiC/Edelstahl	Guntamatic Heiztechnik Biostar ab 12 kW! Lindner & Sommerauer Biom. – Heizanlagen, Fröling,	9623



Fazit



- § Limitierung Glutbetttemperatur hemmt Verschlackung
 - à Stabilisierung der Verbrennung à Verminderung der Emissionen
- § Einbindung von Aerosolbildern wie K in der Asche
- § Chloridkorrosion durch Vergasungsstufe nicht vermeidbar à Materialkosten ↑

Korrosionsstabile Auskleidung für Halmgutbrennkammern:

- à eisenarme, dichte keramische Auskleidungen
- à hohe TWB der Materialien (ca. 10 Ma.-% SiC)
- à Selbstglasur erhält innere Porosität à kein Zusetzen mit Einlagerungen
- à Zementarme Qualitäten (geringer Wasseranteil beim Zustellen)

à Brenner kleiner Leistung für Miscanthus momentan ökonomisch kritisch



Danksagung / Kontakt



Das Forschungsvorhaben wurde unterstützt durch die AiF Projekt GmbH als ZIM-Kooperationsprojekt: MicsPellTherm: Entwicklung eines neuartigen Brenners im unteren Leistungsbereich für den Einsatz von Brennstoffpellets aus Miscanthus bzw. Misc.-/Holz-Mischungen in modernen, wärme gedämmten Gebäuden. FKZ: 2569910ST4



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt: **Maria Gilbert**
TU Bergakademie Freiberg
Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik
Telefon: 03731/392013
E-Mail: maria.gilbert@iwtt.tu-freiberg.de



TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik | Professur für Gas- und Wärmetechnische Anlagen | Gustav-Zeuner-Str. 7, 09596 Freiberg | 3. Freiberger-Feuerfest-Symposium 23.-25. April 2018, Freiberg