

7. Abscheider-Fachgespräch

Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen

Zusatzveranstaltung:
*Fachgespräch Staubmessverfahren an
Kleinfeuerungsanlagen*





Impressum

Herausgeber:

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Telefon: +49 (0)341 2434 - 112
Fax: +49 (0)341 2434 - 133
info@dbfz.de

Förderung:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Geschäftsführung:

Prof. Dr. mont. Michael Nelles
(Wissenschaftlicher Geschäftsführer)
Daniel Mayer
(Administrativer Geschäftsführer)

DBFZ Tagungsreader, Nr. 4

7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen
Feuerungen“ am 8./9. März 2016 in Leipzig
Leipzig: DBFZ, 2016
ISSN: 2199-9856 (online)
ISBN: 978-3-9817707-7-3
Herausgeber: Prof. Dr. Michael Nelles, Dr. Volker Lenz,
Dr. Hans Hartmann

Datum der Veröffentlichung:

18. April 2016

Bilder: Sofern nicht am Bild vermerkt: DBFZ, TFZ,
Herbert Stolz, opolja - Fotolia.com

Desktop Publishing: Daniela Prauß

Gestaltung Deckblatt: Stefanie Bader

Copyright:

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes
darf ohne die schriftliche Genehmigung des Heraus-
gebers vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter
dieses Verbot fällt insbesondere auch die gewerb-
liche Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in
elektronische Datenbanken und die Vervielfältigung
auf anderen digitalen Datenträgern. © DBFZ, 2016

7. Abscheider-Fachgespräch "Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen"

Zusatzveranstaltung:
Staubmessverfahren an Kleinf Feuerungsanlagen
am 8./9. März 2016 in Leipzig

- Tagungsreader -

Veranstalter:

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Telefon: +49 (0)341 2434-112
Telefax: +49 (0)341 2434-133
info@dbfz.de
Internet: www.dbfz.de

Technologie- und Förderzentrum (TFZ)
im Kompetenzzentrum für nachwachsende Rohstoffe
Schulgasse 18
D-94315 Straubing
Tel. 09421-300-110
Fax: 09421 300-211
poststelle@tfz.bayern.de
www.tfz.bayern.de

Ansprechpartner und Herausgeber:

Prof. Dr. Michael Nelles
Telefon: +49 (0)341 2434-112
E-Mail: michael.nelles@dbfz.de

Dr. Volker Lenz
Telefon: +49 (0)341 2434-450
E-Mail: volker.lenz@dbfz.de

Dr. Hans Hartmann
Tel. 09421-300-110
E-Mail: hans.hartmann@tfz.bayern.de

Inhaltsverzeichnis

Grußwort der Veranstalter	6
---------------------------------	---

RAHMENBEDINGUNGEN

<i>Dr. Kaare Press-Kristensen, Danish Ecological Council, Kopenhagen/Dänemark</i> Pollution from residential wood burning	8
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

<i>Gerhard Schmoeckel, Bayrisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg</i> Einfluss von Holzfeuerungen auf die Luftschadstoffbelastungen in Bayern	15
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<i>Markus Schlichter, ZIV, Binabiburg</i> Aktueller Stand bei den wiederkehrenden Emissionsmessungen durch den Schornsteinfeger	22
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<i>Dr. Andrej Stanev, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow-Prüzen</i> Maßnahmen des Lenkungsausschusses zur Weiterentwicklung von automatisch beschickten Kleinfeuerungsanlagen für feste Biobrennstoffe zur Einhaltung aktueller Emissionsanforderungen	33
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

MODELLIERUNG UND PRÜFUNG

<i>Prof. Dr.-Ing. Günter Baumbach, Universität Stuttgart, Stuttgart</i> Bewährt sich die Staubabscheider-Prüfung nach der Vornorm DIN Spec 33999?	45
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<i>Julia Goy, Universität Stuttgart, Stuttgart</i> Entwicklung eines praxisnahen Prüfablaufs zur Bewertung des Langzeitverhaltens von einem Gewebefilter	58
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<i>Donato Rubinetti, FH Nordwestschweiz, Windisch/Schweiz</i> Konzept zur Modellierung und numerischen Berechnung	67
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<i>Laura Kromer, TU Wien, Wien/Österreich</i> Regenerierbarer filternder Abscheider für Kleinfeuerungsanlagen	79
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

KONZEPTE VERSCHIEDENER HERSTELLER

<i>Daniel Jud, OekoSolve AG, Plons/Schweiz</i> OekoSolve: Aktuelle Produkte	87
---------------------------------------------------------------------------------------------	----

<i>Rolf Wagenfeld, Kutzner-Weber, Maisach</i> Kutzner+Weber: Aktuelle Produkte, Stand der Entwicklung, Zulassung und Marktsituation aus Sicht von K+W	98
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<i>Ivo Kastl, Schröder Abgastechnologie, Kamen</i> Schröder: Verfügbare Staubabscheidersysteme, Abreinigungsverfahren und Staubabscheider für die Imagewerbung	108
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>Dr. Hanns-Rudolf Paur, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen</i> Carola®-Feinstaubabscheider für holzgefeuerte Heizkessel – Betriebserfahrungen und Weiterentwicklung	113
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ERFAHRUNGEN AUS AKTUELLEN FORSCHUNGSPROJEKTEN I

<i>Alexander Berhardt, IZES gGmbH Institut für ZukunftsEnergieSysteme, Saarbrücken</i> Entwicklung eines elektrostatischen Partikelabscheiders	123
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>Martin Meiller, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik AG, Sulzbach-Rosenberg</i> Optimierung der Fraktionsabscheidegrade Elektrostatischer Staubabscheider beim Einsatz in Biomassefeuerungen	133
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ERFAHRUNGEN AUS AKTUELLEN FORSCHUNGSPROJEKTEN II

<i>Dr. Mohammad Aleysa, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart</i> Low-Emission-Verbrennungssystem (LEVS) zur Verbrennung von festen Brennstoffen in Vergaserkesseln	148
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>Daniel Wohter, TEER Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe, Aachen</i> Feinstaubabscheidung an biomassebetriebenen Kleinfeuerungsanlagen mit Tiefenfiltern - Praxiserfahrungen RWTH Aachen University	156
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>Friedrich Prill, Universität Paderborn, Paderborn</i> Kombinierte Abscheidung von Feinstäuben und Schadgasen aus Biomassefeuerungsanlagen	170
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>Robert Mack, Dr. Hans Hartmann, TFZ, Straubing</i> Wirkung eines katalytisch aktiven Schaumkeramikeinbaus in einem Kaminofen	185
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ZUSATZVERANSTALTUNG: STAUBMESSVERFAHREN AN KLEINFEUERUNGSANLAGEN

MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN PARTIKELZÄHLENDER VERFAHREN AN BIOMASSEFEUERUNGEN

<i>Dr. Volker Lenz, Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ); Leipzig</i> Warum zählen? Möglichkeiten und Herausforderungen	198
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>Prof. Dr. Alfred Wiedensohler, Leibniz-Institut für Troposphärenforschung, Leipzig</i> Möglichkeiten und Grenzen partikelzählender Verfahren	208
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>Dr. Alejandro Keller, Fachhochschule Nordwestschweiz, Windisch/Schweiz</i> Masse, Anzahl und weitere Metriken: Bestimmung von Emissionsfaktoren für Partikelemissionen aus Systemen zur Biomasseverbrennung	218
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ERFAHRUNGEN MIT AKTUELLEN MESSGERÄTEN AN BIOMASSEFEUERUNGEN

<i>Dr. Carsten Kykal, TSI GmbH, Aachen</i> TSI NPET für Aerosolmessungen an Holzfeuerungsanlagen	229
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>Frederik Weis, Palas GmbH, Karlsruhe</i> Erweiterte Möglichkeiten bei der Partikelanzahl- und Partikelgrößenbestimmung im Aerosol	245
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>Dr. Markus Pesch, GRIMM Aerosol Technik GmbH & Co. KG, Ainring</i> Messungen der Partikelzahlen in der Emission	259
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ANHANG

Veranstalter	275
--------------------	-----

Grußwort der Veranstalter

Sehr geehrte Damen und Herren,

wir freuen uns, dass wir mit dem nunmehr 7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“, wieder zahlreiche interessierte Teilnehmer in Leipzig begrüßen durften. Auch die diesjährige Veranstaltung war wieder durch eine Vielzahl von Fragen und inhaltlichen Diskussionen zum Thema geprägt. Für diese rege Teilnahme möchten wir uns an dieser Stelle herzlich bedanken!

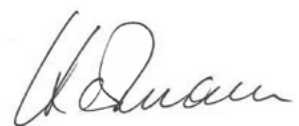
Wie jedes Jahr wurden interessante Neuerungen aus Forschung und Entwicklung sowie die wichtigsten Entwicklungen der Abscheiderhersteller selbst vorgestellt. Neben vielfältigen spannenden Entwicklungen, die nicht nur die Praxistauglichkeit betreffen, wurden auch einige neue Ansätze, wie zum Beispiel die Nutzung von Pellets als Staubfilter mit anschließender Verbrennung vorgestellt. Einleitend wurde die Bedeutung der Staub- und Rußpartikelemissionen für die Gesundheit sowie deren Ausbreitung in zwei Vorträgen nochmals verdeutlicht. Es wurde deutlich, dass es neben den seriennahen Produkten mit elektrostatischem Wirkprinzip auch zunehmend Entwicklungen im Bereich filternder Vorrichtungen bzw. im Bereich Katalyse und gekoppelter Emissionsminderung – Staub und gasförmige Luftschadstoffe – gibt. Am Vortag hatte bereits das Halbtages-Fachgespräch zu Staubmessverfahren an Kleinfeuerungsanlagen stattgefunden. Eine Reihe von Herstellerpräsentationen zu zählenden Partikelmessverfahren wurden eingeleitet durch drei grundlegende Fachvorträge zu den Möglichkeiten, Herausforderungen und Grenzen partikelzählender Verfahren.

Mit dem nun vorliegenden Tagungsreader bieten wir Ihnen die Möglichkeit, die vorgetragenen Vorträge sowie die Abstracts noch einmal nachzuvollziehen. Wir hoffen, er bietet Ihnen spannende Anregungen. Bitte zögern Sie nicht, bei Rückfragen zu einzelnen Themen gerne die entsprechenden Referenten direkt zu kontaktieren. Wir hoffen außerdem, die Dokumentation hilft dabei, die von Ihnen erarbeiteten Forschungsergebnisse weiter zu kommunizieren. Für Rückfragen zum Tagungsreader stehen wir unter publikationen@dbfz.de gerne zur Verfügung.

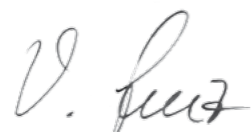
Die nächste Veranstaltung, auf die wir Sie schon jetzt hinweisen möchten, wird am 8. März 2017 stattfinden, dieses Mal dann wieder bei den Kollegen des Technologie- und Förderzentrums in Straubing.

Wir wünschen Ihnen nun viel Spaß und neue Erkenntnisse beim Lesen dieses Tagungsreaders und hoffen, Sie beim nächsten Abscheiderfachgespräch in Straubing wieder persönlich begrüßen zu dürfen.

Mit freundlichen Grüßen



Dr. Hans Hartmann, TFZ



Dr. Volker Lenz, DBFZ



Dr. Volker Lenz und Dr. Hans Hartmann

RAHMENBEDINGUNGEN

Dr. Kaare Press-Kristensen, Danish Ecological Council, Copenhagen/Dänemark

Pollution from residential wood burning

Dr. Kaare Press-Kristensen, Lotte Laurvig, Patrick Huth, Hannah von Blumröder

The Danish Ecological Council

Kompagnistræde 22, 1208 Copenhagen K

Tel.: +45 22 81 10 27

E-Mail: karp@env.dtu.dk

Web: www.ecocouncil.dk

Residential wood burning emits about 50 % of the fine particles and black carbon (soot) in EU-27. It emits as much particles and black carbon as all other pollution sources even though residential wood burning only covers an almost insignificant part of the energy production in the EU.

In Denmark, residential wood burning only covers about 3 % of the energy production but is responsible for about 70 % of the fine particle and black carbon emission, about 80 % of the PAH emission and about 60 % of the dioxin emission. Hence, the Danish emission of key air pollutants could be more than halved by replacing residential wood burning with better insulation, district heating and heat pumps. In Copenhagen, residential wood burning in just 16,000 stoves used in the winter season covering only 0.5 % of the annual energy consumption emits as much fine particles in a season as the hundred thousands of daily cars in the capital emits within a whole year. Hence, by replacing wood burning in Copenhagen with the cheap district heating already available for all homes, the emission of fine particles can be reduced as much as it would by prohibiting all cars in the capital.

New investigations performed by the Danish Ecological Council document that wood burning is a significant source of pollution with ultrafine particles in outdoor air and inside homes with wood stoves in residential areas. Measurements show that indoor air pollution can reach the same levels as city streets in the rush hour and that the pollution quickly spreads to all rooms (unless doors are closed). Measurements of the air quality in gardens next to homes with active wood stoves underline that the air may be more polluted than the most polluted streets in Copenhagen. The pollution reaches levels being 30-50 times higher than the background levels (places without smell of wood smoke) in the same neighborhoods. Emission measurements directly from eco-labelled chimneys connected to new eco-labelled stoves in optimal operation (hot stove, small pieces of dry clean wood and plenty air supply) show pollution levels 1,000 times higher than in the exhaust gas from new truck with particulate filters even though no smoke can be seen from the chimneys.

Key technical solutions are:

1. Better insulation reducing heat consumption thereby minimizing wood burning or making it unnecessary.
2. District heating in cities based on waste heat (or central heat pumps) from biomass based power plants.
3. Heat pumps outside cities based upon (and balancing) electricity production from renewable energy.
4. Optimal stove operation in much better stoves e.g. stoves with particulate filters or afterburning of gases.

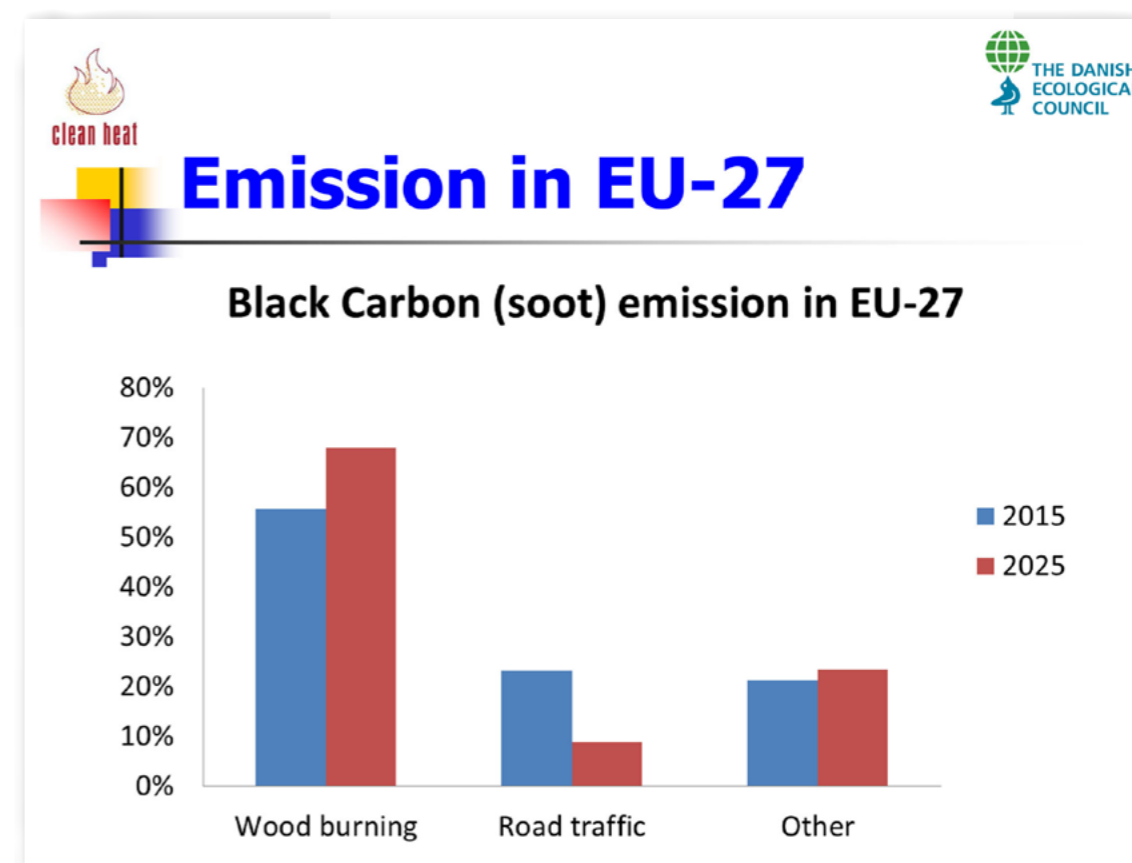
The needed political actions are financial instruments and better regulation (national and EU). In order to motivate the solutions above, both policy makers and consumers urgently have to be provided with in-depth background information about the challenge and solutions.

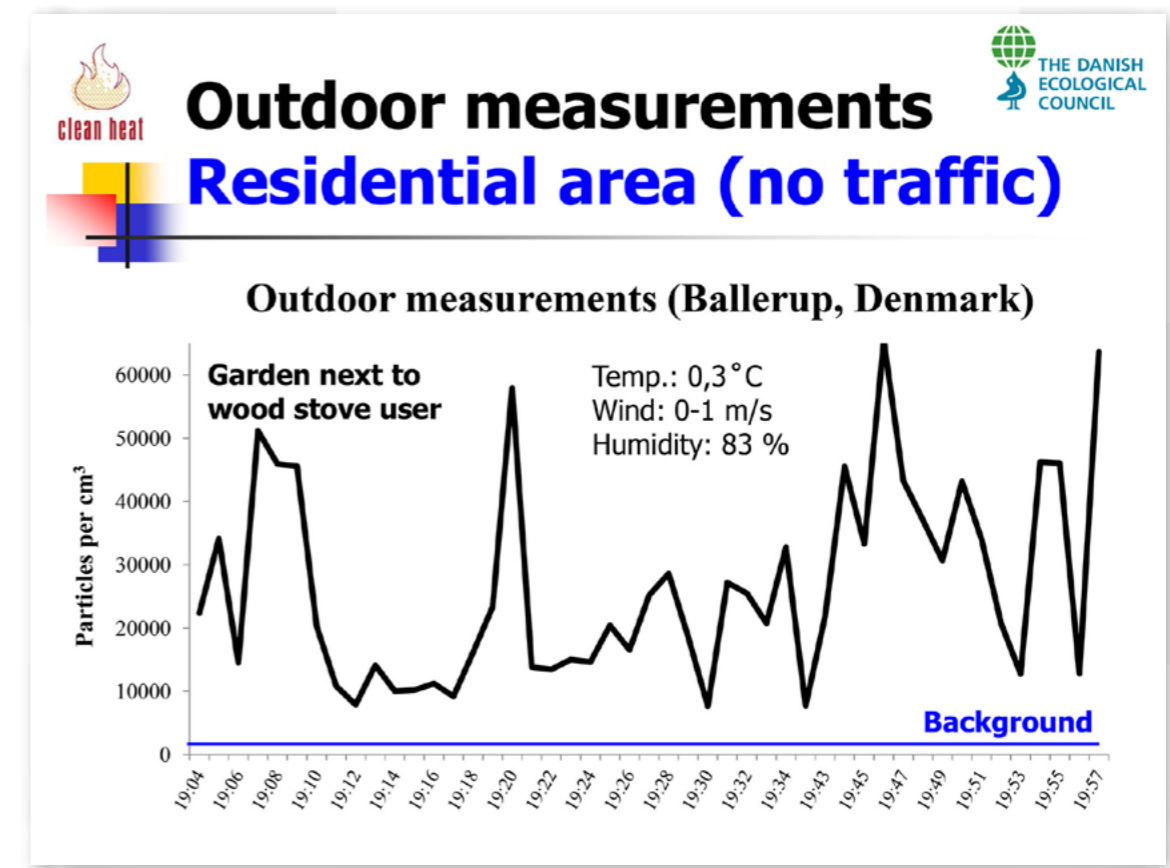
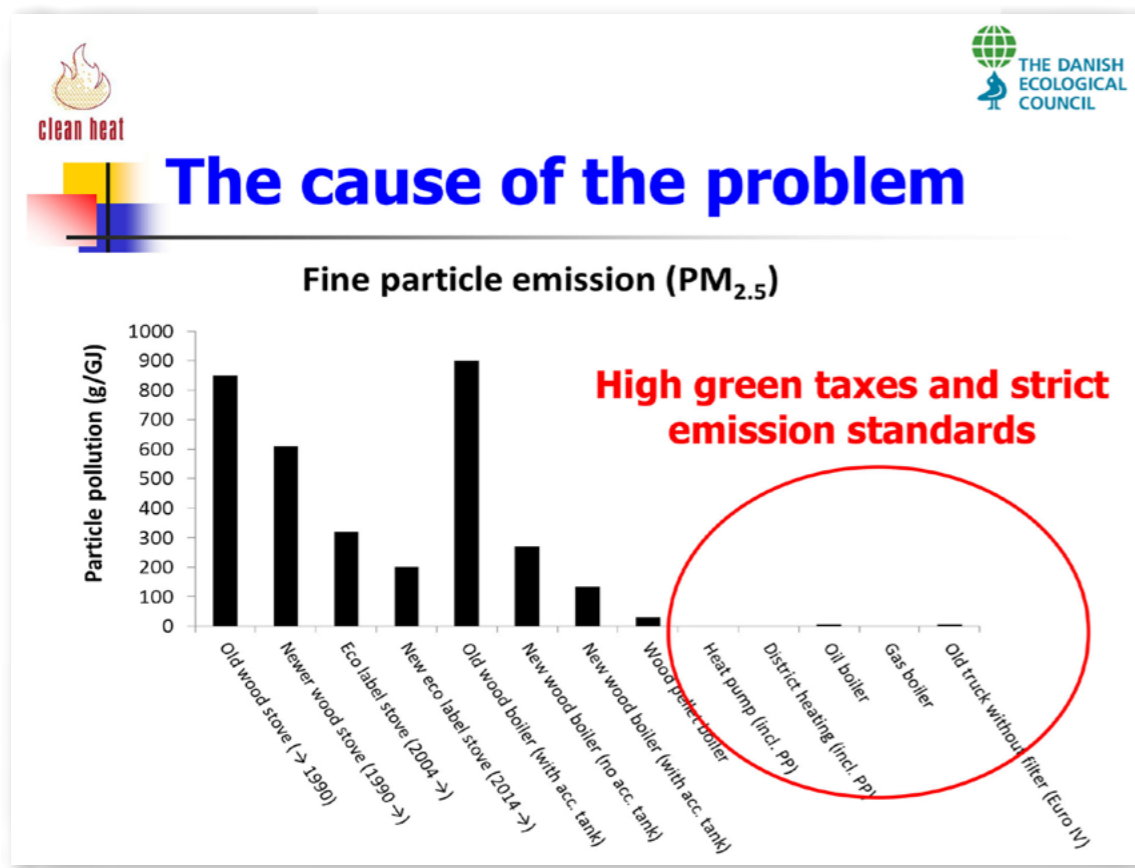
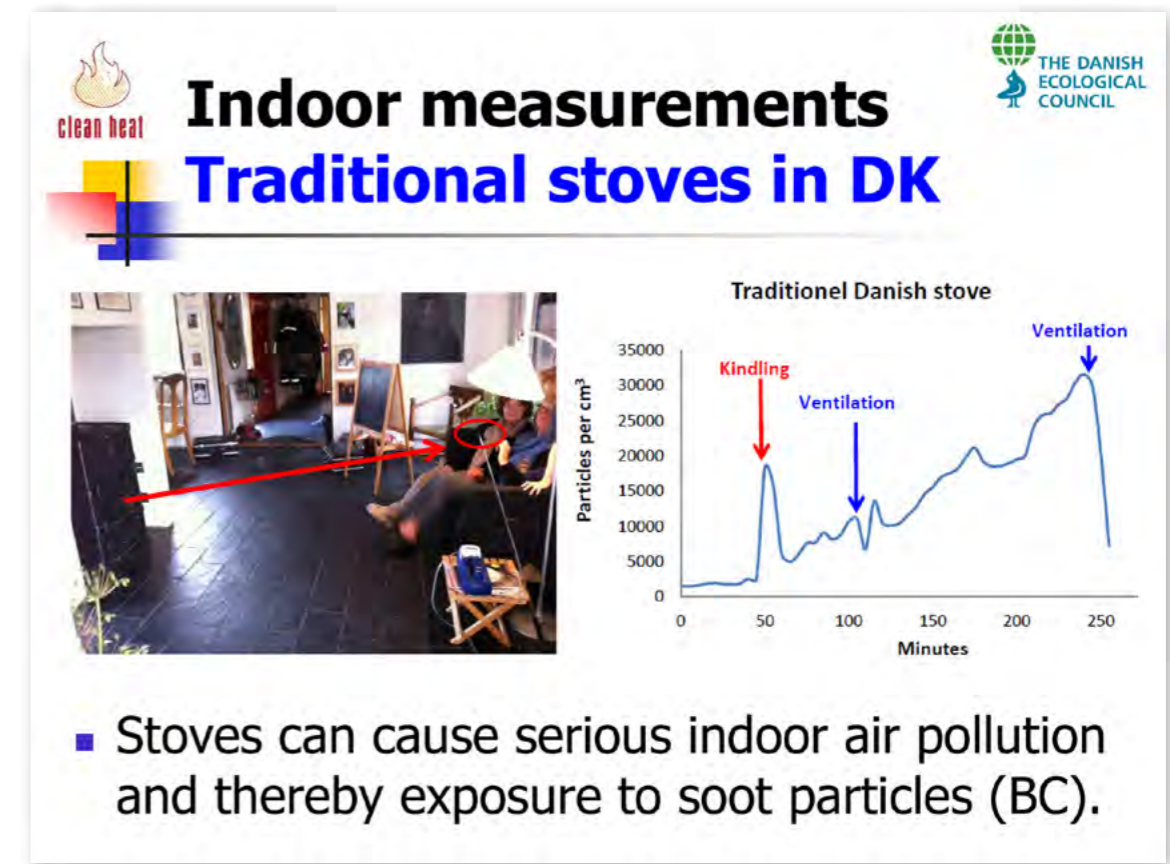
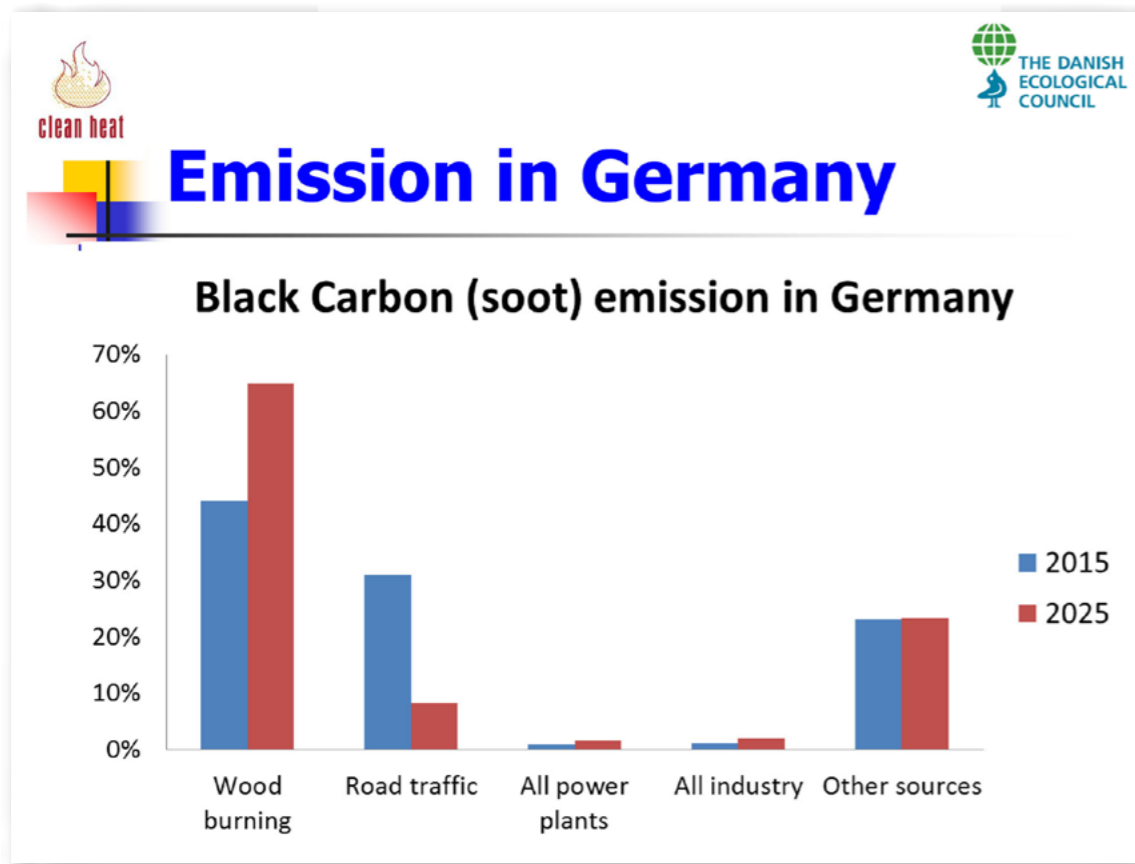
This work is funded by Climate Works Foundation and the LIFE program of the European Union, project: Clean Heat



Residential Wood Burning

Kaare Press-Kristensen
Senior adviser, air quality
The Danish Ecological Council
(+45) 22 81 10 27
karp@env.dtu.dk





clean heat  **Emission measurements**
New stoves are not solutions



- Measurements are constantly above max. measuring limit - even from a brand new low-emission stove with completely dry small pieces of wood and plenty of air.

clean heat  **Technical solutions**

- Better insulation
 - Heat pumps
 - District heating
 - Wood pellet stoves/boilers
 - New two-chamber stoves
 - (Gas → Biogas stoves ?)
- (Air pollution control technology: Filters etc. ?)
- Reduction potential > 90 %**

The solutions are ready – but not profitable !

clean heat  **New stoves vs. new trucks**



Conclusion:
 New low-emission stoves cause much higher emissions (above 500.000 part/cm³) than new trucks with particulate filters (below 1.000 part/cm³).

clean heat  **What should be done**

- Strict emission limit values for new stoves/boilers.
- Strict PM_{2.5} emission limits in the NEC Directive.
- Financial instruments to promote replacement.
- Financial instruments to promote alternatives.
- Laws to promote alternatives / ban in large cities.
- Information on health/climate issues – media !!!
- Information on stove management – campaigns !!!




Our work is funded by:

- Climate Works Foundation 
- EU LIFE program of the EU Commission
Project: *Clean Heat* 

Gerhard Schmoeckel, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg
Einfluss von Holzfeuerungen auf die Luftschadstoffbelastungen in Bayern

Gerhard Schmoeckel
 Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
 Feuerungs-, Holzvergasungs- und Trocknungsanlagen für Zuckerrübenschnitzel und Grünfütter
 Bürgermeister-Ulrich Str. 160, 86179 Augsburg
 Tel.: +49 (0)821 9071-5204
 Fax: +49 (0)821 9071-5204-5560
 E-Mail: Gerhard.Schmoeckel@lfu.bayern.de
 Web: www.lfu.bayern.de


In den zurückliegenden Jahren hat das Bayerische Landesamt für Umwelt zahlreiche Immissionsmessungen an städtisch und ländlich geprägten Orten zur Untersuchung des Einflusses von Holzfeuerungen auf die Luftschadstoffbelastung durchgeführt.

Anhand der Bestimmung der Konzentration der Tracer-Substanzen Levoglucosan, Kalium und Benz(a)pyren in Feinstaubimmissionsproben konnte in den Jahren 2006 bis 2009 gemeinsam mit der Universität Augsburg, dem Helmholtzzentrum und dem ZAE Bayern für das Stadtgebiet Augsburg ermittelt werden, dass Holzfeuerungen an der PM10-Belastung während der Heizsaison einen Anteil von etwa 10 % haben. Ihr Beitrag betrug 2008/2009 an einer verkehrsbelasteten Messstation 3,4 µg/m³. Nur die Hälfte dieses Beitrags ist auf innerstädtische Feuerungen zurückzuführen. Die anderen 50 % werden als Hintergrundbelastung in das Stadtgebiet eingetragen. An verkehrsfurtheren Standorten ist bei geringerer Gesamtbelastung der holzfeuerungsbedingte Anteil an der PM10-Belastung entsprechend höher. In einer ländlich geprägten Ortschaft betrug er ca. 25 % während der Heizsaison.

Dagegen haben Holzfeuerungen in Bayern einen Anteil an der Belastung durch das krebserzeugende Benzo(a)pyren (BaP) von 80 bis 100 %, je nachdem, ob es sich um einen verkehrsnahen oder -fernen Standort handelt. Der Verlauf der BaP-Belastung ist von einem starken Jahresgang geprägt, der im Januar und Februar Spitzenwerte von bis zu 3 ng/m³ im Monatsmittel erreichen kann und in den Sommermonaten auf null zurückgeht. Die seit 2009 durchgeführten Messungen in zahlreichen kleineren und größeren Städten in Bayern zeigen dabei, dass der in der 39. Bundes-Immissionsschutzverordnung genannte Immissionswert von 1 ng/m³ (Jahresmittelwert) sicher unterschritten wird. Zudem lässt sich seit 2010 eine Abnahme der Belastung an nahezu allen Standorten erkennen.

Im europäischen Vergleich liegt die BaP-Belastung in Bayern im Mittelfeld, trotz seiner hinsichtlich der Verteilung der Schadstoffbelastung ungünstig starken Geländestrukturierung und großen Meereseisentfernung und trotz der regional bisweilen hohen Holzfeuerungsichte.

Der Anteil der Holzfeuerungen an der NO_x-Belastung ist gering und liegt bei etwa 1 Prozent.

Questions





Bayerisches Landesamt für Umwelt 

Einfluss von Holzfeuerungen auf die Luftschadstoffbelastungen in Bayern

Immissionsmessungen an städtisch und ländlich geprägten Orten

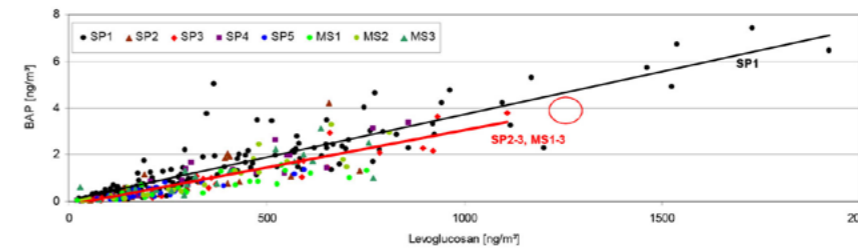


Bayerisches Landesamt für Umwelt 

Einfluss von Holzfeuerungen auf die Luftschadstoffbelastungen in Bayern

Ergebnisse des Augsburger Projekts „Gebäudeheizungen“ (2006 – 2009)

- Hauptverursacher von PM₁₀-Belastungen durch Gebäudeheizung sind Einzelraumfeuerungen (Kamin- und Kachelöfen).
- Die durch Gebäudeheizung verursachte PM₁₀-Belastung in Augsburg betrug am Königsplatz während der Heizperiode 2007/2008 im Mittel **3,4 µg/m³**. Dies entspricht einem Anteil von ca. 9 % an der Gesamtbelastung.
- 50 % dieser Zusatzbelastung wird durch außerstädtische Feuerungen hervorgerufen.
- In einzelnen Bereichen wurden PM₁₀-Zusatzbelastungen durch innerstädtische Feuerungen von bis zu 3,5 µg/m³ im Heizperiodenmittel berechnet (Feuerungsdichte in den 10 max. belasteten Rechenzellen: 1 Anlage je 1000 m² Grundstücksfläche).
- Ausschlaggebende Bedeutung haben Feuerungsdichte, orographische Bedingungen sowie der PM₁₀-Eintrag aus benachbarten Stadtteilen.
- BaP - Jahresmittelwert 2009 : **0,84 ng/m³**; IGW der 39. BImSchV: 1 ng/m³




$$C_{PM, Holz} = \frac{C_{Levo, I}}{C_{Levo, E}}$$

$$C_{Levo, E} = 126 \text{ ng} / \mu\text{g}_{PM10}$$

SP1: Königsplatz

→ Je µg PM₁₀ durch Holzfeuerung ist mit ca. 0,4 ng Benzo(a)pyren zu rechnen

© LfU / Referat 21 / Schmoeckel/ 09.03.2016

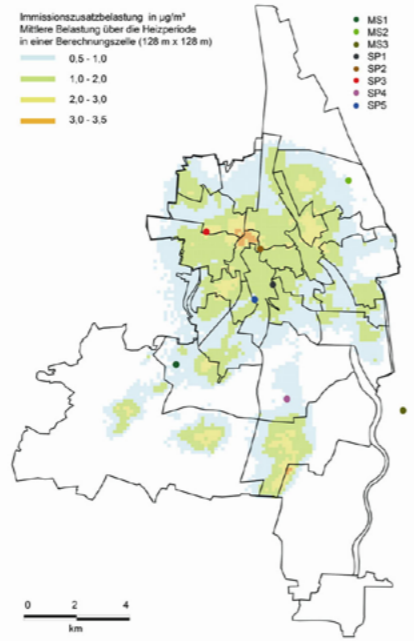
Bayerisches Landesamt für Umwelt 

Einfluss von Holzfeuerungen auf die Luftschadstoffbelastungen in Bayern

Ergebnisse des Augsburger Projekts „Gebäudeheizungen“ (2006 – 2009)

Einfluss der Gebäudeheizung auf Feinstaubimmissionen im Raum Augsburg

- Immissionsmessungen an 8 Messstellen:
 - PM₁₀
 - Levoglucosan
 - Kalium
 - Benzo(a)pyren
- Ausbreitungsrechnungen
 - Holzfeuerungsanzahl in den Kehrbezirken
 - Kehrhäufigkeit (→ Holzverbrauch → Feinstaub-Jahresemission)
 - Verteilung der Jahresemission in Abhängigkeit der Gebäudewohnfläche




Immissionszusatzbelastung in µg/m³
Mittlere Belastung über die Heizperiode
in einer Rechenzelle (128 m x 128 m)

- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 3.0
- 3.0 - 3.5

Quelle: „Einfluss von Emissionen aus der Gebäudeheizung auf Feinstaubimmissionen im Raum Augsburg“, BayLfU (Herausgeber), 2009

© LfU / Referat 21 / Schmoeckel/ 09.03.2016

Bayerisches Landesamt für Umwelt 

Einfluss von Holzfeuerungen auf die Luftschadstoffbelastungen in Bayern

Immissionsmessungen in einer unterfränkischen Ortschaft (2010 / 2011)

- Nachbarschaftsbeschwerden über Holzfeuerungsgerüche
- 1000 Einwohner
- Ca. 500 x 500 m
- Hohe Holzfeuerungs-dichte: 1 Anlage je 925 m²
- Hoher Anteil der Holzfeuerung an der Wärmebereitstellung: > 60 %

Luftbild: © Bayerische Vermessungsverwaltung (www.geodaten.bayern.de)

© LfU / Referat 21 / Schmoeckel/ 09.03.2016

Einfluss von Holzfeuerungen auf die Luftschadstoffbelastungen in Bayern

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Messungen in einer unterfränkischen Ortschaft

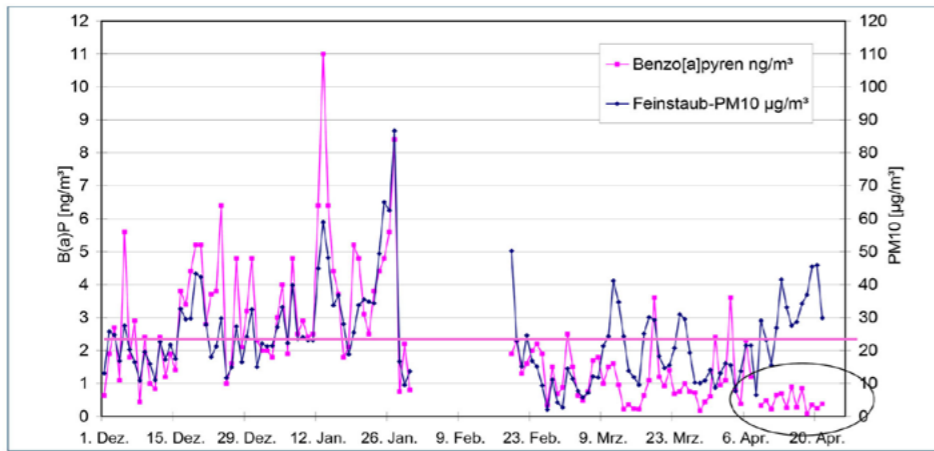


Abb. 1: Verlauf der Immissionskonzentrationen an Benzo(a)pyren und (Gesamt)Feinstaub-PM₁₀

Bei einem Verhältnis von PM₁₀ / BaP von 1 µg / 0,4 ng

→ PM₁₀_{Holzfeuerung} = 2,3 ng * 1 µg / 0,4 ng = 5,8 µg/m³

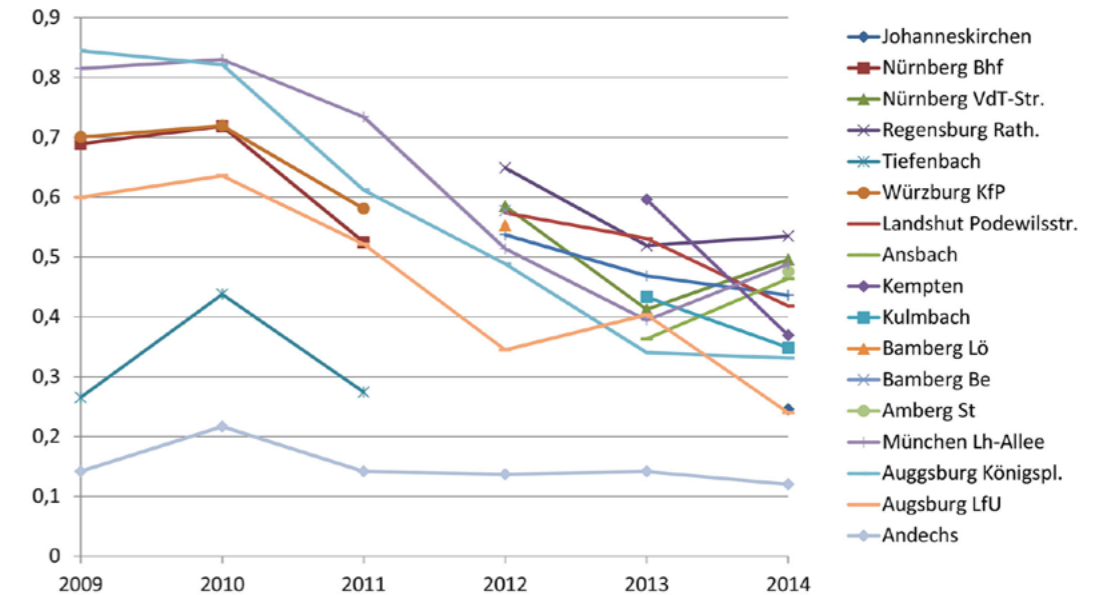
5

© LfU / Referat 21 / Schmoeckel/ 09.03.2016

Einfluss von Holzfeuerungen auf die Luftschadstoffbelastungen in Bayern

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Verlauf der BaP-Jahresmittelwerte (in ng/m³)



7

© LfU / Referat 21 / Schmoeckel/ 09.03.2016

Einfluss von Holzfeuerungen auf die Luftschadstoffbelastungen in Bayern

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Verlauf der BaP-Konzentrationen (Monatsmittelwerte) [ng/m³]

Augsburg (*hd* = 0,054)
Einwohner: 260.000
Anzahl Holzfeuerungen: 14.000

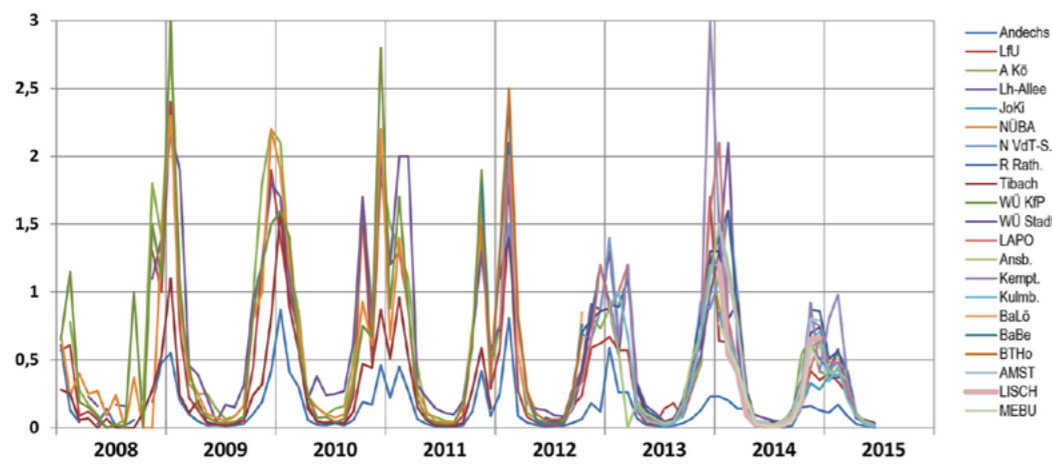
Regensburg (*hd* = 0,042)
Einwohner: 150.000
Anzahl Holzfeuerungen: 6.300

Würzburg (*hd* = 0,061)
Einwohner: 133.000
Anzahl Holzfeuerungen: 8.200

Bamberg (*hd* = 0,094)
Einwohner: 70.000
Anzahl Holzfeuerungen: 6.600

Bayreuth (*hd* = 0,12)
Einwohner: 72.000
Anzahl Holzfeuerungen: 8.500

Ufr (*hd* = 0,27)
Einwohner: 1.000
Anzahl Holzfeuerungen: 270



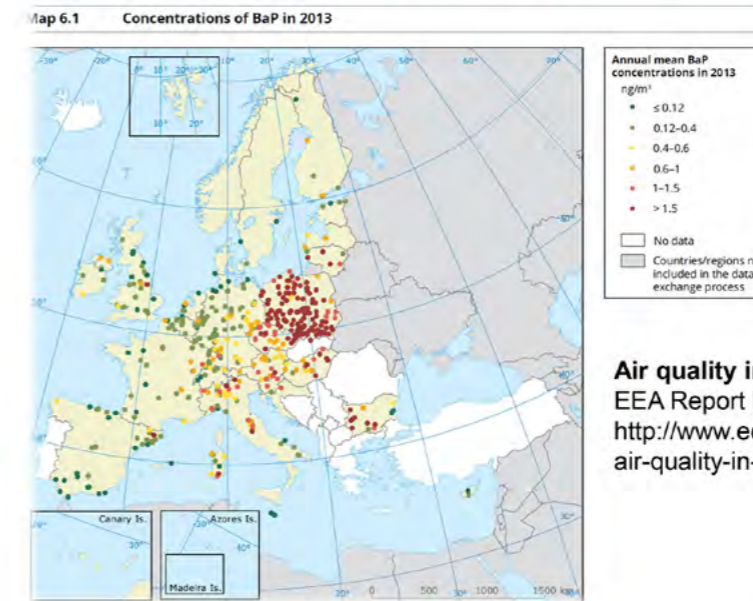
6

© LfU / Referat 21 / Schmoeckel/ 09.03.2016

Einfluss von Holzfeuerungen auf die Luftschadstoffbelastungen in Bayern

Bayerisches Landesamt für Umwelt

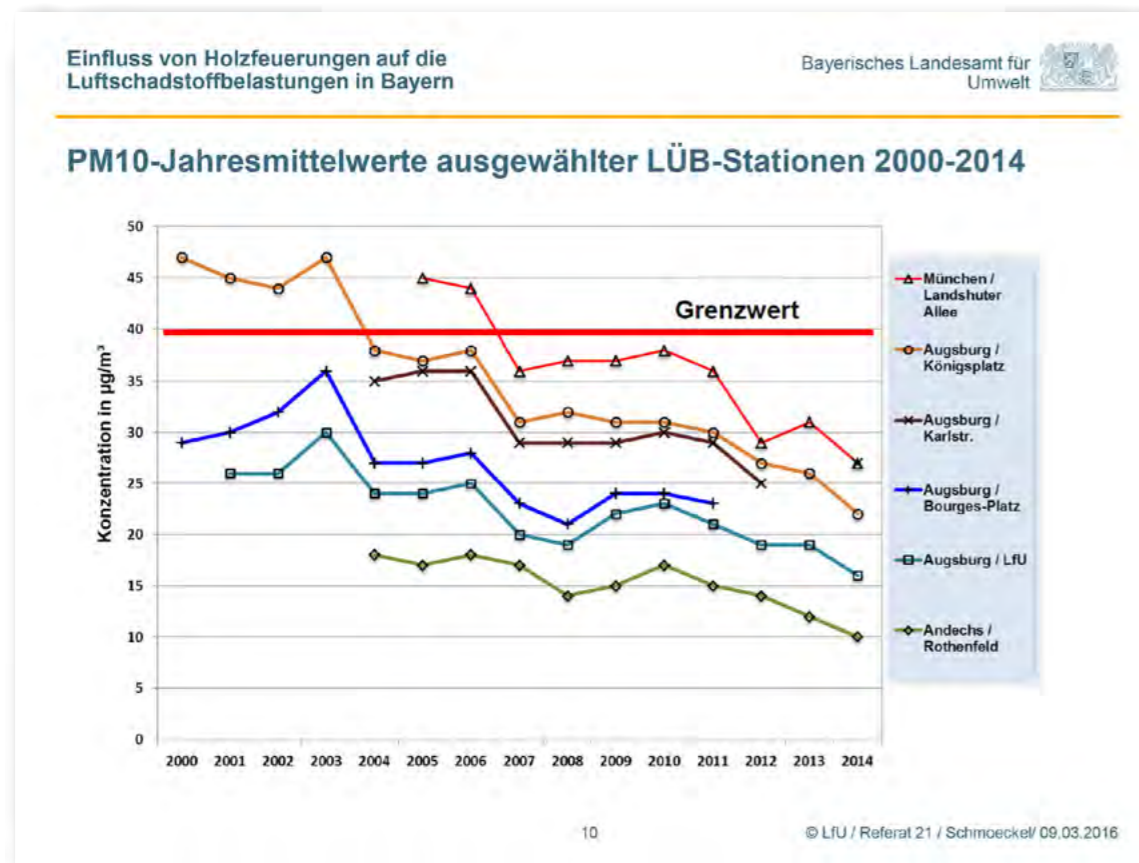
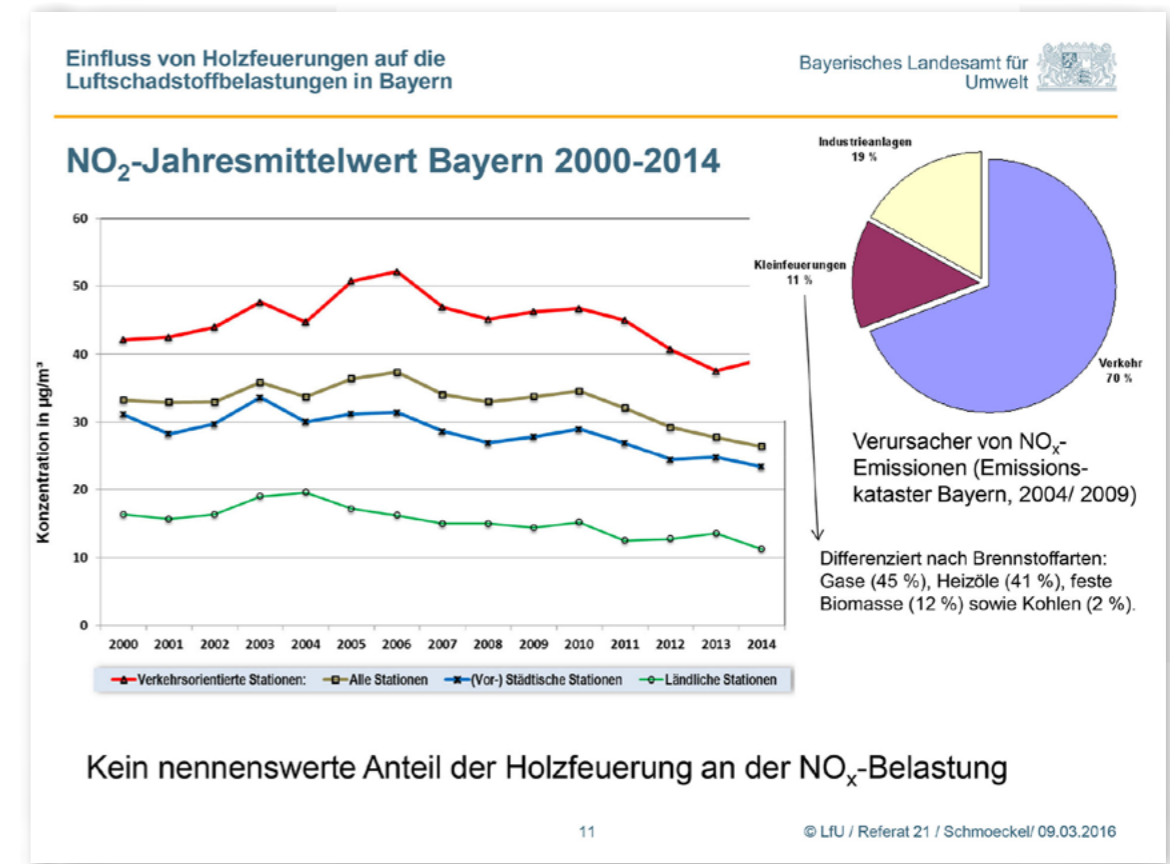
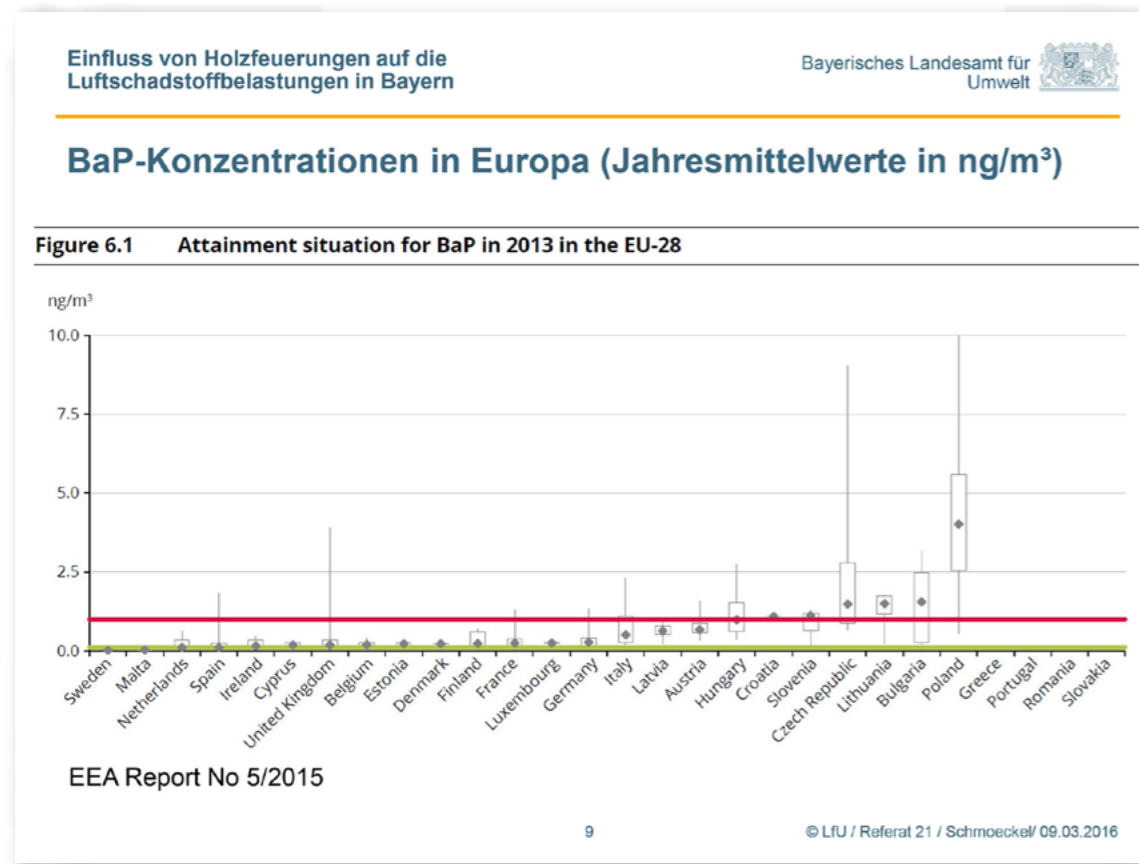
BaP-Konzentrationen in Europa (Jahresmittelwerte in ng/m³)



Air quality in Europe — 2015 report
EEA Report No 5/2015
<http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2015>

8

© LfU / Referat 21 / Schmoeckel/ 09.03.2016



Einfluss von Holzfeuerungen auf die Luftschadstoffbelastungen in Bayern Bayerisches Landesamt für Umwelt

Fazit

- Anteil der Holzfeuerung (in Bayern) an der
 - BaP-Belastung zwischen 80 und 100 %
 - PM10-Belastung zwischen 10 (verkehrsnahe) und 25 % (dörflich) in der Heizperiode
 - NO_x-Belastung ca. 1 %
- Keine Überschreitung des BaP-Zielwerts von 1 ng/m³ an verkehrsbezogenen Messstellen und im städtischen Hintergrund in Bayern
- Rückgang der BaP-Belastungen seit 2009
 - Verbesserte Anlagentechnik?
 - Verschlechtertes Image der Bioenergie?
 - Niedrigerer Ölpreis?
 - Abnehmende Anzahl und Dauer von Inversionswetterlagen?

© LFU / Referat 21 / Schmoeckel/ 09.03.2016

Markus Schlichter, ZIV, Binabiburg

Aktueller Stand bei den wiederkehrenden Emissionsmessungen durch den Schornsteinfeger

Markus Schlichter

ZIV Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks

Technischer Landesinnungswart

Zollbruckerstraße 20, 84155 Binabiburg

Tel.: +49 (0)8741 27646

Fax: +49 (0)8741 949466

E-Mail: Markus.Schlichter@t-online.de

Web: www.schornsteinfeger.de, www.markus-schlichter.de

Um eine einheitliche Qualität bei der Bestimmung von Emissionen aus kleinen und mittleren Feuerungsanlagen sicherzustellen, werden in der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV) Anforderungen an die Messöffnung, die Messgeräte und die Durchführung der Messungen im Betrieb genannt.

In der Richtlinienreihe VDI 4206 bis 4208 werden Verfahren beschrieben, die eine Einhaltung dieser Anforderungen ermöglichen. Die Richtlinienreihe VDI 4207 richtet sich an Schornsteinfeger, die gemäß der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV) und der Kehr- und Überprüfungsordnung (KÜO) Überwachungstätigkeiten durchführen. Diese Richtlinien sind bei der Durchführung von Schornsteinegerarbeiten zu berücksichtigen, da das Bundesministerium für Umwelt zur Aufrechterhaltung der Qualität der Arbeitsausführung diese Richtlinien als Ergänzung der 1. BImSchV in Auftrag gegeben hat.

Um eine einheitliche Qualität bei der Bestimmung von Emissionen aus kleinen und mittleren Feuerungsanlagen sicherzustellen, werden in der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV) Anforderungen an die Messöffnung, die Messgeräte und die Durchführung der Messungen im Betrieb genannt. In der Richtlinienreihe VDI 4207 Blatt 2 werden Verfahren beschrieben, die eine Einhaltung dieser Anforderungen ermöglichen. Unter Berücksichtigung der darin vorgegebenen Rahmenbedingungen von erzielten Ergebnissen bei Messungen an Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe, die dem Anwendungsbereich der 1. BImSchV zuzuordnen und vom Schornsteinfeger auszuführen sind, erfolgt die Beurteilung der Messergebnisse.

Die statistischen Erhebungen des ZIV werden voraussichtlich im Mai 2016 für das Jahr 2015 wieder veröffentlicht. Mit ersten Schätzungen aus Ergebnissen aus dem Jahr 2015 wird versucht, die Auswirkungen auf die Messergebnisse, insbesondere bei Anlagen, die bereits jetzt die Stufe 2 der 1. BImSchV einhalten müssen, darzustellen.

Fachgespräch Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen

Aktueller Stand der Emissionen von Kleinfeuerungsanlagen bei den Messungen nach 1. BImSchV

09. März 2016

ZIV
Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks

Fachgespräch Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen

Zertifiziertes QM/UM System
nach DIN EN ISO 9001:2008 / ISO 14001:2004
LGA/InterCert
Ein Unternehmen des TÜV-SYSTEM

1

Markus Schlichter
Technischer Landesinnungswart
Technischer Ausschuss ZIV

Gesetzliche Rahmenbedingungen

VDI 4207 Blatt 2

**+
Rundschreiben ZIV**

FS 13.000.20	VDI-RICHTLINIEN	MS 134.04.03.02 UNB 221
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Messen von Emissionen an Kleinfeuerungsanlagen Messen an Anlagen für feste Brennstoffe	VDI 4207 Blatt 2 Entwurf Rev 02-05 2015-11-05

• Bei der Überwachung der CO-Anforderungen für ab 01.01.2015 errichtete Grundöfen nach § 4 Abs. 5 Nr. 1 sowie für nach § 5 Abs. 1 der 1. BImSchV (neue Grenzwerte für ab dem 22.03.2010) errichtete Feuerungsanlagen sind als Messunsicherheit 20 % der gemessenen CO-Konzentration (in g/m³) einzusetzen

09. März 2016


ZIV
Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks

Fachgespräch Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen

Zertifiziertes QM/UM System
nach DIN EN ISO 9001:2008 / ISO 14001:2004
LGA/InterCert
Ein Unternehmen des TÜV-SYSTEM

2

Gesetzliche Rahmenbedingungen



VDI 4207 Blatt 2

+

Rundschreiben ZIV

FS 13.080.20	VDI-RICHTLINIEN	MS 134.04.03.13 UR.N 221
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Messen von Emissionen an Kleinfeuerungsanlagen Messen an Anlagen für feste Brennstoffe	VDI 4207 Blatt 2 Entwurf Rev 02-05 2015-11-05

ZIV

Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks

Fachgespräch Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen


09. März 2016

Zertifiziertes QM/UM System
nach DIN EN ISO 9001:2008 / ISO 19011:2009
LGA / InterCert
Ein Unternehmen des TÜV-Süd

3

- Bei der Überwachung der Staub-Anforderungen für ab 01.01.2015 errichtete Grundöfen nach § 4 Abs. 5 Nr. 1 sowie für nach § 5 Abs. 1 der 1. BImSchV (neue Grenzwerte für ab dem 22.03.2010) errichtete Feuerungsanlagen sind als Messunsicherheit 40 % der gemessenen Staubkonzentration (in g/m³) einzusetzen.

Gesetzliche Rahmenbedingungen



VDI 4207 Blatt 2

+

Rundschreiben ZIV

FS 13.080.20	VDI-RICHTLINIEN	MS 134.04.03.13 UR.N 221
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Messen von Emissionen an Kleinfeuerungsanlagen Messen an Anlagen für feste Brennstoffe	VDI 4207 Blatt 2 Entwurf Rev 02-05 2015-11-05

ZIV

Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks

Fachgespräch Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen

09. März 2016


Zertifiziertes QM/UM System
nach DIN EN ISO 9001:2008 / ISO 19011:2009
LGA / InterCert
Ein Unternehmen des TÜV-Süd

5

falls von der zuständigen Behörde nichts anderes festgelegt ist, sollte der Beurteilungswert für die Grenzwertüberprüfung

durch Subtraktion der bezogenen Messunsicherheit zuzüglich der Unsicherheitsspanne von 0,007 g/m³ vom bezogenen Messwert ermittelt werden.

Gesetzliche Rahmenbedingungen



VDI 4207 Blatt 2

+

Rundschreiben ZIV

FS 13.080.20	VDI-RICHTLINIEN	MS 134.04.03.13 UR.N 221
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Messen von Emissionen an Kleinfeuerungsanlagen Messen an Anlagen für feste Brennstoffe	VDI 4207 Blatt 2 Entwurf Rev 02-05 2015-11-05

ZIV

Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks

Fachgespräch Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen

09. März 2016


Zertifiziertes QM/UM System
nach DIN EN ISO 9001:2008 / ISO 19011:2009
LGA / InterCert
Ein Unternehmen des TÜV-Süd

4

für mechanisch beschickte Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe nach § 3, Nummer 4, 5, und 5 a der 1. BImSchV, die von 01.01.2015 bis 31.12.2018 errichtet werden

Zusätzlich zu beachten:

Gesetzliche Rahmenbedingungen



RVA Sitzung 6. Nov. 2015

Empfehlung an den VDI Arbeitskreis 4207 Blatt 2

Beschluss VDI zur Aufnahme der Empfehlung in die VDI 4207 Blatt 2:

ZIV

Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks

Fachgespräch Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen


09. März 2016

Zertifiziertes QM/UM System
nach DIN EN ISO 9001:2008 / ISO 19011:2009
LGA / InterCert
Ein Unternehmen des TÜV-Süd

6

.... in Übergangszeit zur Klärung der Brennstoffqualitäten bei einer Nichteinhaltung des Staubemissionsgrenzwerts bei zwischen dem 1. Januar 2015 und dem 31. Dezember 2018 errichteten, automatisch beschickten Feuerungsanlagen für den Einsatz von Brennstoffen nach § 3, Nr. 4, Nr. 5 und Nr. 5a der 1. BImSchV, dem Anlagenbetreiber eine Grenzwertüberschreitung aufgrund dieser Schwankungen der Brennstoffqualitäten hinsichtlich der Gehalte an aerosolbildenden Bestandteilen nicht anzulasten.


Gesetzliche Rahmenbedingungen



ZIV
Bundesverband
des
Schornsteinfeger-
handwerks

Fachgespräch
Partikel-
abscheider in
häuslichen
Feuerungen

09. März 2016



7

Auswertung der Messungen und Angabe der Messergebnisse – Beispiel Staubgehalt:


Das Ergebnis der Messungen ist nach Umrechnung auf den Normzustand und den Bezugssauerstoffgehalt des Abgases mit einer Dezimalstelle mehr als der Zahlenwert des festgelegten Emissionsgrenzwerts zu ermitteln.

Die Ziffern hinter der so festgelegten Dezimalstelle werden vernachlässigt und nicht gerundet.

Dies gilt in gleicher Weise für die Angabe der Messunsicherheit.

$$B_{\text{Staub}} = c_{\text{Staub,B}} - U_{\text{Staub,B}}$$


Gesetzliche Rahmenbedingungen



ZIV
Bundesverband
des
Schornsteinfeger-
handwerks

Fachgespräch
Partikel-
abscheider in
häuslichen
Feuerungen

09. März 2016



9


Sofern der Grenzwert nicht eingehalten werden kann und die zuständige Stelle der Anwendung einer brennstoffbezogenen Unsicherheit zustimmt:

$$B_{\text{Staub}} = c_{\text{Staub,B}} - U_{\text{Staub,B}} - 0,007 \text{ g/m}^3$$

Der Emissionsgrenzwert G_{Staub} ist eingehalten, wenn gilt:

$$B_{\text{Staub}} \leq G_{\text{Staub}}$$


Gesetzliche Rahmenbedingungen



ZIV
Bundesverband
des
Schornsteinfeger-
handwerks

Fachgespräch
Partikel-
abscheider in
häuslichen
Feuerungen

09. März 2016



8


Eine positive Zahl wird nach Nr. 4.5.1 der DIN 1333:1992-02 so gerundet, dass zu dieser Zahl der halbe Stellenwert der Rundestelle addiert wird. Anschließend werden im Ergebnis die Ziffern hinter der Rundestelle weggelassen.

Für die Rundung eines Zwischenergebnisses von $BCO = 0,24 \text{ g/m}^3$ und $BCO = 0,25 \text{ g/m}^3$ gilt nach Nr. 4.5.1 der DIN 1333:1992-02:

<u>0.24</u>	<u>0.25</u>
+ 0.05	+ 0.05
<u>0.29</u>	<u>0.30</u>
$B_{CO} = 0.2 \text{ g/m}^3$	$B_{CO} = 0.3 \text{ g/m}^3$

Gesetzliche Rahmenbedingungen


Anwendung der dem Brennstoff geschuldeten Unsicherheitswert von 0,007 g/m³ gemäß VDI 4207 Blatt 2 in den Bundesländern



ZIV
Bundesverband
des
Schornsteinfeger-
handwerks

Fachgespräch
Partikel-
abscheider in
häuslichen
Feuerungen


09. März 2016



10

	Zustimmung zur Anwendung der zust. Stelle? [Ja / Nein]	Sofern keine Zustimmung der Behörde, bitte begründen!
BW	Nein	Begründung vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft BW: Die 1. BImSchV enthält keine Regelungen, die erleichternde Anforderungen unter Bezugnahme auf schwankende Brennstoffqualitäten zulassen. Ohne eine entsprechende Änderung der 1. BImSchV kann in der VDI-Richtlinie aus Rechtsgründen keine anderweitige Regelung getroffen werden.
BY	Ja	-
BE	Bisher keine Aussage	-
BB	Bisher keine Aussage	-
HB	Nein	Begründung vom Ministerium für Umwelt, Bau und Verkehr HB: Die 1. BImSchV enthält keine Regelungen, die erleichternde Anforderungen unter Bezugnahme auf schwankende Brennstoffqualitäten zulassen. Ohne eine entsprechende Änderung der 1. BImSchV kann in der VDI-Richtlinie aus Rechtsgründen keine anderweitige Regelung getroffen werden.
HH	Nein	Nach mündlicher Aussage keine Anwendung. Schriftliche Aussage liegt noch nicht vor.
HE	Nein	-
MV	Ja	Anwendung nach mündlicher Aussage des Ministeriums. Schriftliche Aussage liegt noch nicht vor.

Gesetzliche Rahmenbedingungen



ZIV
Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks


NW	Nein	Begründung des Ministeriums für Klimaschutz, Umweltschutz, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW: Die 1. BImSchV enthält keine erleichternden Anforderungen, mit Bezug auf schwankende Brennstoffqualitäten. Die Einführung einer Unsicherheitsspanne für bestimmte Holz Brennstoffe aufgrund schwankender Brennstoffqualitäten ist aus Sicht des Landes NRW in der vorliegenden Form rechtlich nicht haltbar. Vielmehr wäre eine entsprechende Novellierung der 1. BImSchV erforderlich. Nach der E-Mail von Herrn Carsten Kuhn (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten) vom 14. Januar 2015 wird die Anwendung empfohlen.
RP	Ja	
SL	Ja	
SN	Nein	
ST	Ja	
SH	Nein	
TH	Bisher keine Aussage	-

09. März 2016

Zertifiziertes QM/UM System
nach DIN EN ISO 9001:2008 / ISO 14001:2004
LGA / InterCert
Ein Unternehmen des ZIV-Netzwerks

11

Erste „Schätzungen“ aus 2015



ZIV
Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks

Gemessene Staubemissionen – Brennstoff 4 und 5

C Staub B – U Staub B - 0,007 g/m³ ≤ G Staub B

➤ **90% der Heizungsanlagen lagen nach Abzug der MU und nach Abzug des Unsicherheitswerts unter dem Grenzwert für Staub von 0,02 g/m³**

➤ **90 % der Heizungsanlagen lagen nach Abzug der MU und nach Abzug des Unsicherheitswerts**


➤ **und unter Berücksichtigung der Rundung der DIN 1333 unter dem Grenzwert für Staub von 0,02 g/m³**

09. März 2016

Zertifiziertes QM/UM System
nach DIN EN ISO 9001:2008 / ISO 14001:2004
LGA / InterCert
Ein Unternehmen des ZIV-Netzwerks

13

Erste „Schätzungen“ aus 2015



ZIV
Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks

Gemessene Kohlenmonoxidemissionen – Brennstoff 4 und 5

C CO B

➤ **75% der Heizungsanlagen lagen ohne Abzug der MU unter dem Grenzwert für CO von 0,4 g/m³**


➤ **92% der Heizungsanlagen lagen nach Abzug der MU unter dem Grenzwert für CO von 0,4 g/m³**

09. März 2016

Zertifiziertes QM/UM System
nach DIN EN ISO 9001:2008 / ISO 14001:2004
LGA / InterCert
Ein Unternehmen des ZIV-Netzwerks

12

Erste „Schätzungen“ aus 2015



ZIV
Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks

Gemessene Kohlenmonoxidemissionen – Brennstoff 5a (Pellets)

C CO B

➤ **85% der Heizungsanlagen lagen ohne Abzug der MU unter dem Grenzwert für CO von 0,4 g/m³**

➤ **98% der Heizungsanlagen lagen nach Abzug der MU unter dem Grenzwert für CO von 0,4 g/m³**

09. März 2016

Zertifiziertes QM/UM System
nach DIN EN ISO 9001:2008 / ISO 14001:2004
LGA / InterCert
Ein Unternehmen des ZIV-Netzwerks

14

Erste „Schätzungen“ aus 2015

➤ Gemessene Staubemissionen – Brennstoff 5a (Pellets)

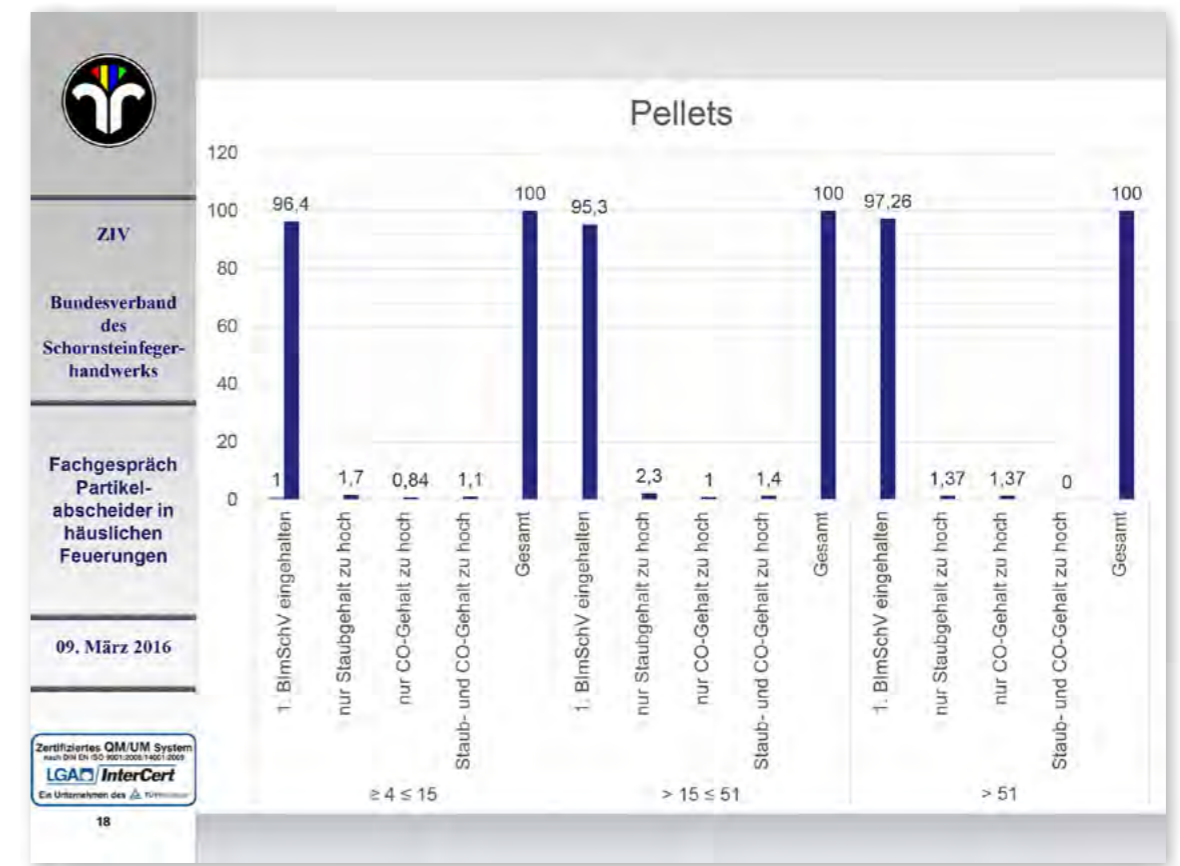
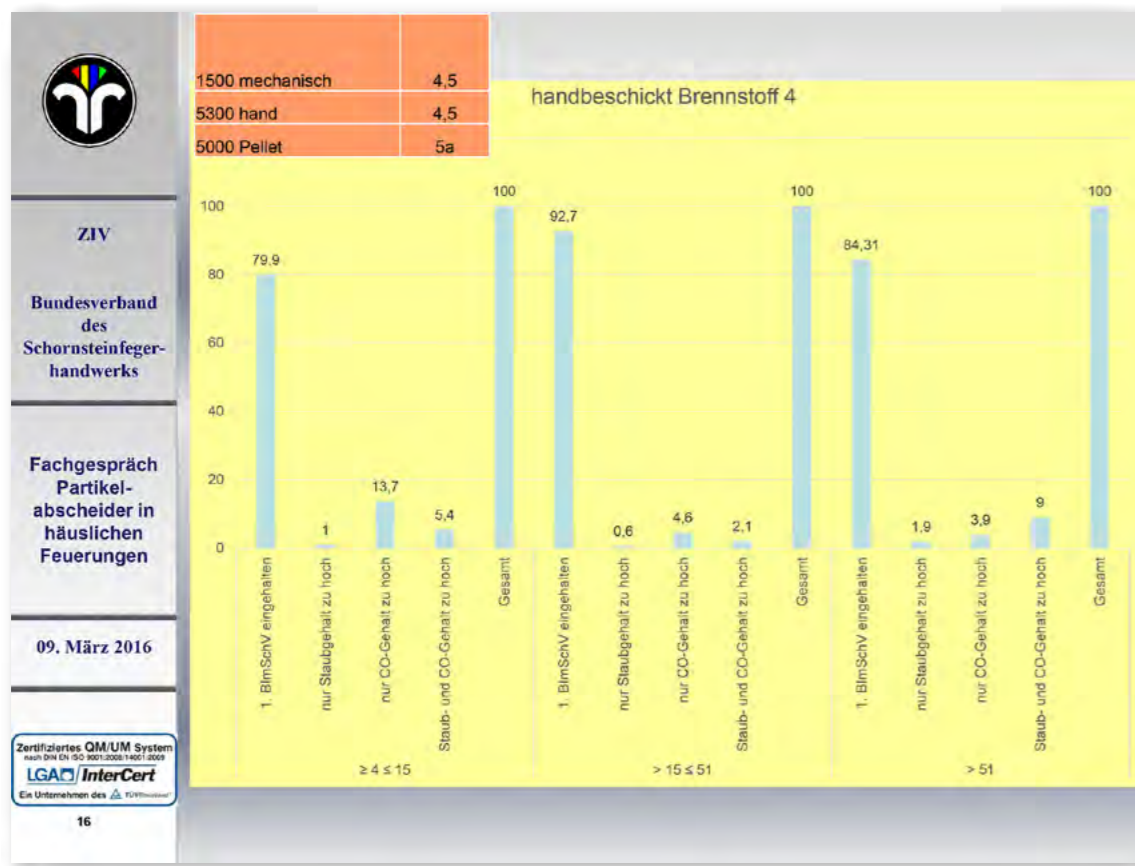
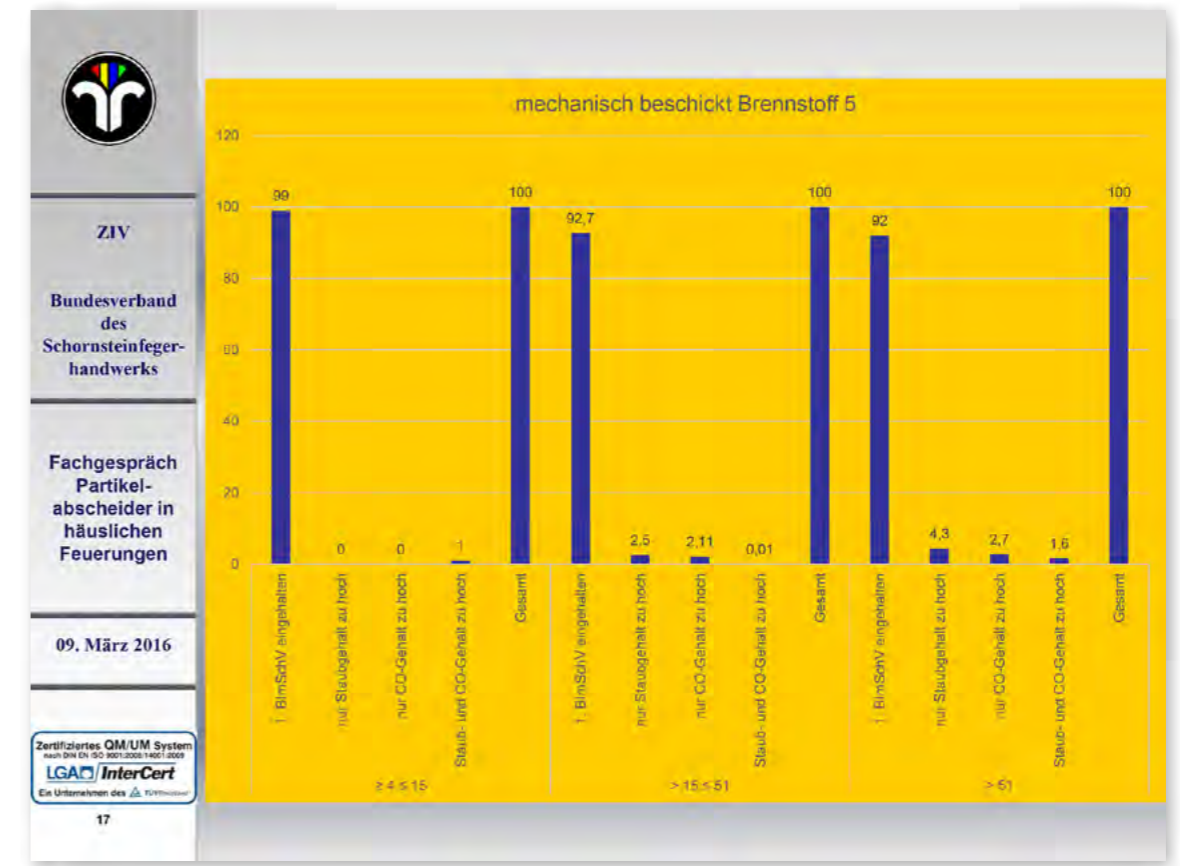
C Staub B – U Staub B - $0,007 \text{ g/m}^3 \leq \text{G Staub B}$

➤ 93 % der Heizungsanlagen lagen nach Abzug der MU und nach Abzug des Unsicherheitswerts und nach Rundung unter dem Grenzwert für Staub von $0,02 \text{ g/m}^3$

➤ 95 % der Heizungsanlagen lagen nach Abzug der MU und nach Abzug des Unsicherheitswerts

➤ und unter Berücksichtigung der Rundung der DIN 1333 unter dem Grenzwert für Staub von $0,02 \text{ g/m}^3$

ZIV
Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks
Fachgespräch Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen
09. März 2016
Zertifiziertes QM/UM System
LGA/InterCert
15



Fachgespräch Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen

Aktueller Stand der Emissionen von Kleinfeuerungsanlagen bei den Messungen nach 1. BImSchV

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Markus Schlichter
Technischer Landesinnungswart LIV Bayern -
Technischer Ausschuss ZIV

ZIV
Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks

Fachgespräch Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen

09. März 2016

Zertifiziertes QM/UM System
nach DIN EN ISO 9001:2008 und ISO 14001:2004
LGA/InterCert
Ein Unternehmen des TÜV

19

Dr. Andrej Stanev, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow-Prüzen
Maßnahmen des Lenkungsausschusses zur Weiterentwicklung von automatisch beschickten Kleinfeuerungsanlagen für feste Biobrennstoffe zur Einhaltung aktueller Emissionsanforderungen

*Dr. Andrej Stanev
 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
 Projektmanagement
 Hofplatz 1, 18276 Gülzow-Prüzen
 Tel.: +49 (0)3843 6930-134
 E-Mail: a.stanev@fnr.de
 Web: www.fnr.de*

Der von der FNR geführte Ausschuss zur Lenkung und Koordinierung von „Maßnahmen zur Weiterentwicklung von automatisch beschickten Kleinfeuerungsanlagen für feste Biobrennstoffe zur Einhaltung der Emissionsanforderungen der 2. Stufe der 1.BImSchV“ (kurz: Lenkungsausschuss zur 1. BImSchV (LA)) hat seit der Gründung im Jahr 2014 eine Reihe von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Bezug auf die Beseitigung von Hemmnissen zur Einhaltung der strengen Staub-Grenzwerte der Stufe 2 der 1. BImSchV ab dem 01.01.2015 bei Firmen und Forschungseinrichtungen initiiert.

Der LA hat bereits umfangreiche FuE-Maßnahmen im Bereich der Staubemissionsminderung bei Kleinfeuerungsanlagen eingeleitet. Im Jahr 2014 und 2015 wurden 25 Projektvorschläge (einschließlich im Verbund) vorgelegt. Zur Zeit laufen insgesamt 23 FuE-Vorhaben (7 Verbundvorhaben mit 20 Teilvorhaben), 2 Vorhaben mit sind in der Vorbereitung. Der LA nahm aktiv an VDI-, DBFZ-, BMWi-Aktivitäten zum Thema: „Staubabscheidertechnologien und Rahmenbedingungen“ (Normung-AK, Industrie-Dialoge u.a.) teil.

Der Fokus der LA-Aktivitäten (FuE, ÖA und Beratung) liegt z.Z. im Bereich der Staubemissionsminderung bei Kleinfeuerungen mit Biobrennstoffen der 1. BImSchV. An der Sitzung der Lenkungsgruppe (LG) des Lenkungsausschusses (LA) zur 1. BImSchV (LA) am 30.11.2015 in Berlin wurde beschlossen, auch neue Ausrichtungsoptionen der LA-Aktivitäten und Maßnahmen zur bevorstehenden Einführung der aktuellen EU-Richtlinien „Ökodesign“ und MCP-RL in das nationale Emissionsrecht in Betracht zu ziehen.

Die nächste LG-Sitzung soll im Monat Mai 2016 (6-monatiger Turnus) durchgeführt werden. Dabei können neben der Darstellung des Standes der aktuellen Aktivitäten gemäß der Beschlüsse der LG-Sitzung vom 30.11.2015 aktuelle Fragestellungen und Entwicklungen diskutiert und der Handlungsbedarf der einzelnen 3 Arbeitsgruppen des LA für die nächste Periode erörtert werden.

www.fnr.de

MAßNAHMEN DES LENKUNGS-AUSSCHUSSES ZUR WEITERENTWICKLUNG VON AUTOMATISCH BESCHICKTEN KLEINF EUERUNGSANLAGEN FÜR FESTE BIOBRENNSTOFFE ZUR EINHALTUNG AKTUELLER EMISSIONSANFORDERUNGEN

DR. ANDREJ STANEV
FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e.V.



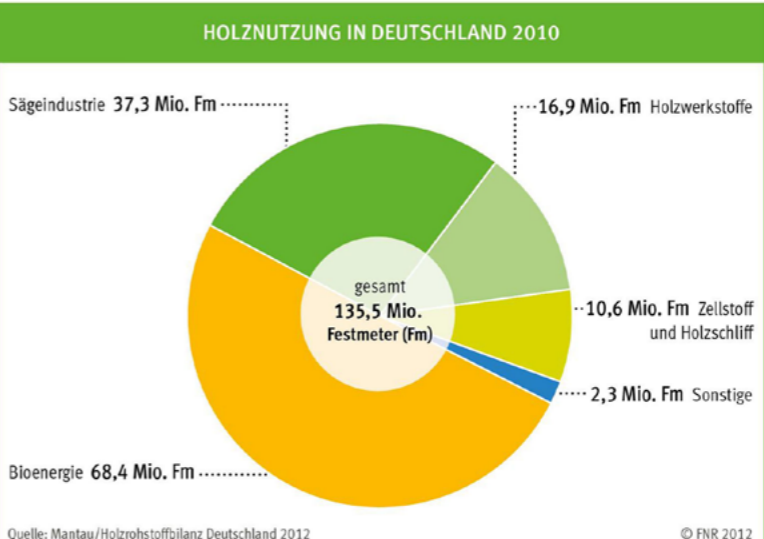


Gefördert durch:

 Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
 im Rahmen des Beschlusses des Deutschen Bundestages


Energetische Nutzung von Holz in Deutschland

HOLZNUTZUNG IN DEUTSCHLAND 2010



Ca. 34 Mio. Fm Holz brennstoffe wurden 2010 in privaten Haushalten verbraucht*

* Quelle: Mantau, 2012




Quelle: Mantau/Holzrohstoffbilanz Deutschland 2012 © FNR 2012

- Der Biomasseanteil der EE- Wärme beträgt ca. 80 % (feste Energieträger),
- 50% der Holzbrennstoffe werden für Biowärme in privaten Haushalten eingesetzt.

FNR Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V. 7. Fachgespräch "Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen", 9.03.2016 Seite: 3

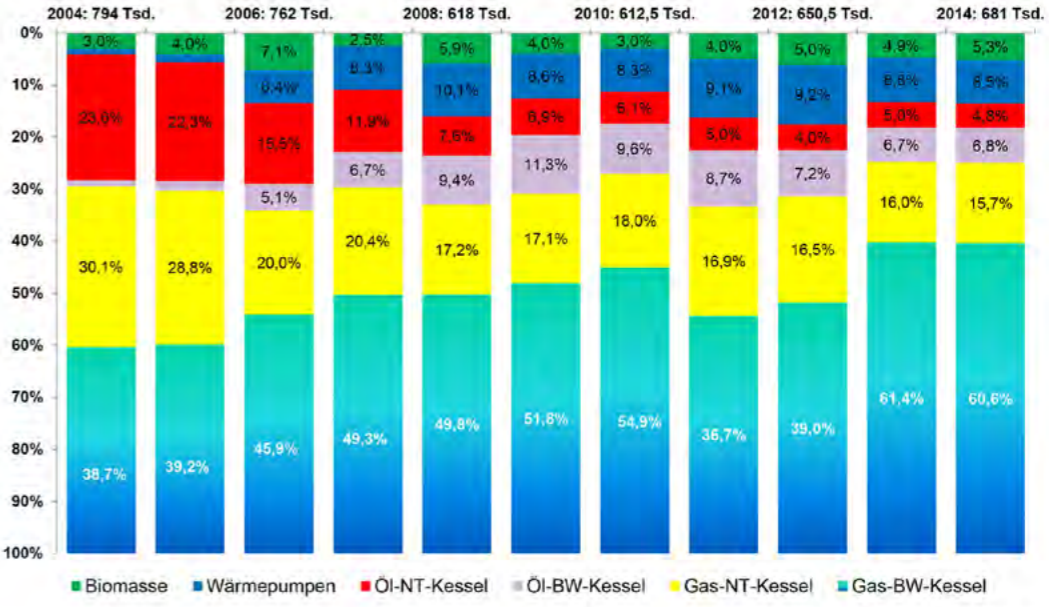
Inhalt

- Einführung,
- Hintergrund des Lenkungsausschusses,
- Stand aktueller Aktivitäten des Lenkungsausschusses zu Maßnahmen in Bezug auf die 2. Stufe der 1. BImSchV,
- Aktuelle Fragestellungen im Kompetenzbereich der SG „Lenkung“ des Lenkungsausschusses,
- Ausblick.



Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V. 7. Fachgespräch "Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen", 9.03.2016 Seite: 2

Absatz Wärmeerzeuger in Deutschland 2004-2014



Quelle: BDH 2015

FNR Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V. 7. Fachgespräch "Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen", 9.03.2016 Seite: 4

Emissionsrelevante Rahmenbedingungen für den Betrieb von Biomassefeuerungsanlagen



- Neue EU-Luftqualitätsrichtlinie (2008/50/EG),
- **VDI-Richtlinien 4206, 4207 und 4208:** „Messen von Emissionen an Kleinfeuerungsanlagen, Messen an Anlagen für Feste Brennstoffe“ (Weißdruck),
- **VDI-Richtlinie 3670:** Abgasreinigung - Nachgeschaltete Staubminderungseinrichtungen für kleine und mittlere Kleinfeuerungsanlagen für feste Brennstoffe (Weißdruck);
- **Novellierte 1. BImSchV, 2. Stufe ab 01.01.2015,**
- **Ab dem 01.01.2020:** Verordnung (EU) 2015/1189 vom 28. April 2015 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Festbrennstoffkesseln (**Ökodesign-Verordnung**)
- **Für Anlagen > 1 MW: Novelle der TA-Luft (Entwurf), Richtlinie (EU) 2015/2193 (MCP-RL: Umsetzungsfrist bis 17.12.2017).**



Hemmnisse beim Einsatz von Holzbrennstoffen nach der Einführung der Stufe 2. der 1. BImSchV

Ergebnisse der FNR-Fachveranstaltungen vom 21.01.2014 und 14.05.2014

- Diskrepanz zwischen Prüfstands- und Praxisuntersuchungen,
- Schwankende Brennstoffqualität hat einen erheblichen Einfluss auf die Schadstoffemission - der Einsatz von Holzhackschnitzeln sowie alternativen Brennstoffen der 1. BImSchV ist problembehaftet,
- Maßgeblicher Einfluss des Betreiberhaltens und des Anlagenzustandes auf das Emissionsverhalten der Heizungsanlagen,
- Langzeiterfahrungen und -erkenntnisse zum praktischen Einsatz sekundärer Emissionsminderungsmaßnahmen (Staubabscheider) liegen kaum vor,
- Produktionskosten von Filtern und Abscheidern sind zu hoch - eine breite Serienfertigung und die Nutzung von Synergieeffekten erscheinen als notwendig

Die sichere und dauerhafte Einhaltung der Staubemissionsgrenzwerte ab dem 01.01.2015 im Rahmen wiederkehrender Prüfungen ist bei neu installierten Anlagen risikobehaftet!



Stufe 2. der 1. BImSchV vom 26.01.2010

Neu errichtete Einzelraumfeuerungsanlagen

Die Einhaltung der Grenzwerte wird über ein entsprechendes Zertifikat des Herstellers nachgewiesen, das bei der Abnahme der Anlage dem bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger vorgelegt wird.

Feuerstättenart	CO (g/m³)	Staub (g/m³)
Raumheizer, Speichereinzelfeuerstätten, Kamin- und Kachelofeneinsätze	1,25	0,04
Herde, Heizungsherde	1,5	0,04
Pelletöfen ohne Wassertasche	0,25	0,03
Pelletöfen mit Wassertasche	0,25	0,02



Neu errichtete Heizkessel für Holzhackschnitzel und -Pellets:

Heizkessel für feste Brennstoffe (NWL > 4 kW), die ab dem 01.01.2015 errichtet werden, müssen folgende Grenzwerte der Stufe 2 einhalten:

Brennstoff	CO (g/m³)	Staub (g/m³)
Hackschnitzel	0,4	0,02
Pellets	0,4	0,02



Lenkungsausschuss zu Maßnahmen in Bezug auf die 2. Stufe der 1. BImSchV

- **Aufgaben:** Koordination der Arbeiten zu Emissionsminderungsmaßnahmen und -aktivitäten zu den o.g. Forschungsthemen Abstimmung, Vernetzung und Kommunikation nach Außen sowie Einleitung von ÖA-Maßnahmen und Beratung.
- **Konstituierende Sitzung:** 15. Juli 2014 in Berlin
- **Struktur:** Der Ausschuss hatte eine Struktur von 4 AG und eine Steuerungsgruppe (**SG „Lenkung“**)



AG Sprecher Herr Dr. Lenz, DBFZ AG Sprecher Herr Dr. Kuptz, TFZ AG Sprecher Herr Brügger, LK NRW AG Sprecher Herr Ewens, BMUB



Lenkungsausschuss zu Maßnahmen in Bezug auf die 2. Stufe der 1. BImSchV

- **Struktur aktuell:** Die 3 AG führen FuE-Maßnahmen durch;
- Die Steuerungsgruppe (SG „Lenkung“) entscheidet über den Bedarf zusätzlicher Maßnahmen und Aktivitäten, die im Kompetenzbereich der 3 AG liegen,
- Die AG „Politische Rahmenbedingungen“ fließt in die SG „Lenkung“ ein.



AG Qualitätssicherung und Normung - FuE

Stand der Forschungsaktivitäten- Verbundprojekte zum Thema „Qualitätssicherung fester Bioenergieträger“:

- **DBFZ:** „Deutschlandweites Holzpellet-Screening“ (HoPeS), FKZ: 14NR179
- **DEPI/DEPV e.V.:** Verbund „HackZert“; zum Thema: „Entwicklung eines Zertifizierungsprogramms für Holzhackschnitzel“, DEPI/TFZ, FKZ. 14NR255, 14NR303
- **BBE e.V.(Holzwärme Plus):** Verbund „qualiS“ zum Thema: „Quali-Schnitzel-Brennstoff-Qualifizierung und –Managementsystem für HHS“; BBE/DBFZ/TFZ/HAWK, FKZ: 14NR318, 14NR357, 14NR358 und 15NR058;
- **HAWK Göttingen:** Verbund „OptiChip“ zum Thema: „Optimierung der Emissionen von Holzhackschnitzel-Kleinf Feuerungsanlagen durch geeignete Brennstoffauswahl und Verbrennungsführung“; HAWK/HAW, FKZ: 14NR181, 15NR080

Handlungs- bzw. Forschungsbedarf

- Brennstoffqualität und -sicherung, erweiterte Normung, Standardisierung und Zertifizierung in Bezug auf die Emissionsminderung bei Anlagen mit Holzhackschnitzeln,
- Emissionsarme Verbrennungstechnik von automatisch beschickten Biomassefeuerungen in der Praxis mit Ausnahme von Prüfstandsuntersuchungen,
- ÖA-Maßnahmen und Beratung, Zielgruppen: Betreiber, Projektnehmer, Schornsteinfeger, Anlagenbetreiber
- Erprobung, Bewertung und Weiterentwicklung von Partikelabscheidern und Partikelfiltern für kleine und mittlere Biomasseanlagen zum dauerhaften Einsatz unter Praxisbedingungen.

AG ÖA und Beratung

HACKSCHNITZEL-HEIZUNGEN 2015
Was muss aktuell beachtet werden

INHALT	
1	Einleitung
2	Notwendigkeit zur Realisierung von Biomasse-Heizungsanlagen ab dem 1. Januar 2015
3	Schnitzhacker als Brennstoff- und Erzeuger
3.1	Geometrische Rahmendingungen
3.2	Minimale Umfängerzeugung an Holzschneidmaschinen
3.3	Verlängerung des Schwenkbereichs
4	Erzeugnisse einer Holzhackmaschine, die zu beachten sind
4.1	Planung und Identifizierung der Holzschneidmaschinen
4.2	Reinigung, Wartung und Betriebsanleitung
4.3	Einwirkzeitpunkt
4.4	Anzahl der Belegteile pro Probe
5	Zusammenfassung der Datenanforderungen zur Bewertung von Erzeugnissen
6	Wichtige Informationen und Quellen

AG Technologie - FuE

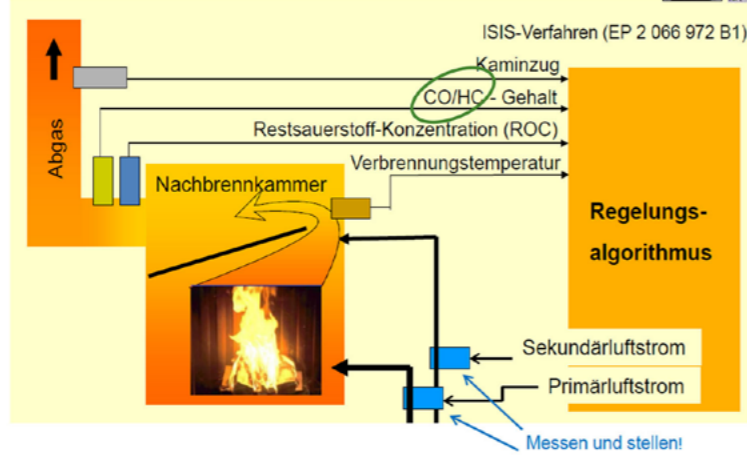
Primäre Emissionsminderungsmaßnahmen- Verbund SenSTEF

Verbundvorhaben SenSTEF
Emissionsarme
Verbrennungstechnik von
automatisch beschickten
Biomassefeuerungen
FKZ 22032414

Verbund:
DBFZ g GmbH,

Institut für Sensorik und
Informationssysteme (ISIS),
Hochschule Karlsruhe,

SICK AG, Division Analyzers



Methodik
Verbrennungsluftströme = $f(T, ROC, CO/HC)$ zur Vermeidung von
 • Sauerstoffdefizit (\rightarrow unvollständige Verbrennung),
 • Sauerstoffüberschuss (\rightarrow Abkühlereffekte \rightarrow unvollständige Verbrennung und erhöhte PM-Emissionen).

Quelle: Prof. Kohler, ISIS



AG Technologie - FuE

Sekundäre Emissionsminderungsmaßnahmen- Verbund FRESBI



- Projektkoordination
- Impaktmessungen
- Versuche mit zwei Filtern im UMSICHT-Technikum
- Versuchsauswertung
- Optimierung

- Messungen mit SMPS
- Versuche mit einem Filter in den Laboren der OTH
- Versuchsauswertung
- Optimierung

- Bereitstellung von Filteranlagen
- Unterstützung bei Integration und Inbetriebnahme der Filter
- Optimierung



- OekoTube**
- Einstufig
 - Manuelle, trockene Abreinigung
 - Kamin als Abscheideelektrode
 - Bis 40 kW
 - Anschluss an Kamin



- Schraeder Filterbox S**
- Einstufig
 - Automatische, trockene Abreinigung
 - Rohre als Abscheideelektrode
 - 50-150 kW
 - Anschluss nach Kessel



- Schraeder Filterbox**
- Zweistufig
 - Automatische, nasse Abreinigung
 - Schüttung als Abscheideelektrode
 - 200 - 800 kW
 - Anschluss nach Kessel

Quellen:
FhG
UMSICHT,
Schröder



AG Technologie - FuE

Sekundäre Emissionsminderungsmaßnahmen- Verbund CAROLA

Carola®-Abscheider für Heizkessel

Verbundvorhaben CAROLA
Weiterentwicklung von
Feinstaubabscheidern und
Feldtests mit Holzgefeuerten
automatisch beschickten
Heizkesseln
FKZ 22017814

Verbund:
KIT

HDG Bavaria GmbH

Carola Clean Air GmbH

Elektrostatische Aufladung
Feinstaubabscheidung
Automatische Abreinigung

Abscheidegrad 70 – 90%
Energiebedarf 40 – 100 W

Kompakte Konstruktion
Rohre aus Edelstahl 1.4301
Für Kessel 25 – 200 kW



LA-Aktivitäten: Zusammenfassung

- Im Jahr 2014 und 2015 wurden 25 Projektvorschläge (einschließlich im Verbund) vorgelegt.
- **Zur Zeit laufen insgesamt 23 FuE-Vorhaben (7 Verbundvorhaben mit 20 Teilvorhaben),** 2 Vorhaben mit sind in der Vorbereitung.
- Der LA nahm aktiv Teil an VDI-, DBFZ-, BMWi-Aktivitäten zum Thema: „Staubabscheidertechnologien und Rahmenbedingungen“ (Normung-AK, Industrie-Dialoge u.a.),
- **Weitere Aktivitäten sind geplant.**

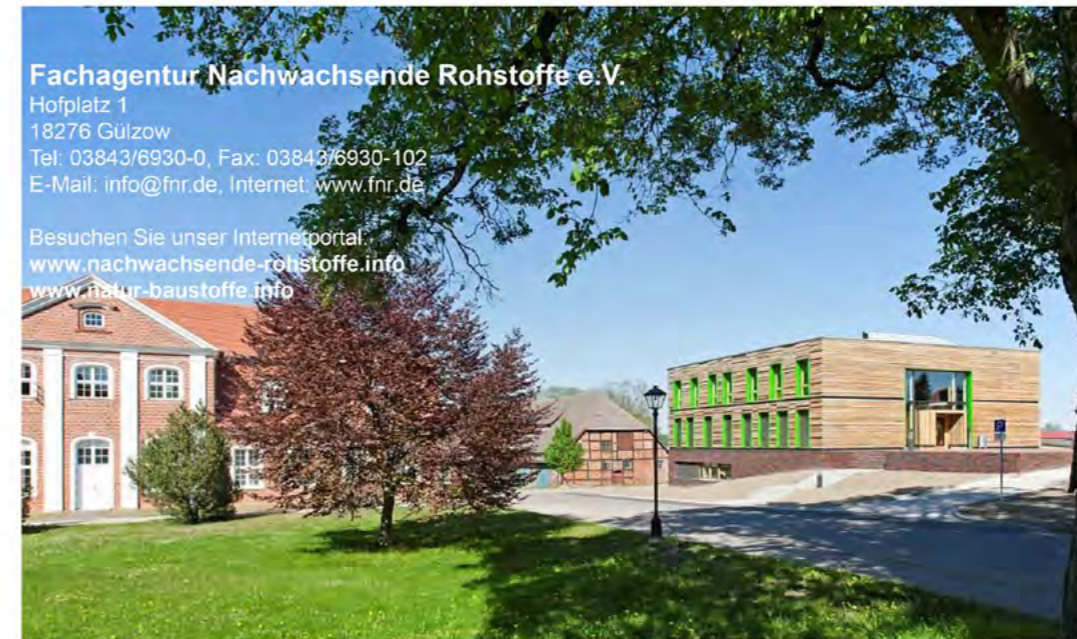


Aktuelle Fragestellungen im Kompetenzbereich der SG „Lenkung“ des Lenkungsausschusses

- **Brennstoffunsicherheitsfaktor** von $0,007 \text{ g/nm}^3$ bei HHS (VDI RL 4207, neue und wiederkehrende Prüfungen der Staubemission bei Anlagen der 1. BImSchV): **uneinheitliche und länderspezifische Vorgehensweise?**
- **Integrierte Staubabscheidereinrichtungen** werden zur Zeit im Rahmen des MAP **nicht berücksichtigt**, es sei denn, die Anlage und die sekundäre Staubabscheidereinrichtung lassen sich getrennt überprüfen, bei den meisten Lösungen (HDG, Gerlinger) ist dies aber nicht bzw. nur bedingt möglich: **Berücksichtigung von besonders emissionsarmen Feuerungsanlagen im Rahmen des MAP – Verbesserung möglich?**
- **On-Top-Staubabscheiderlösungen** in der Praxis mit zugelassener Messtechnik nicht überprüfbar, neue Wege der wiederkehrenden Prüfung sind notwendig: **Lösungen unter Berücksichtigung der DIN SPEC 33999 bzw. des ERA-Net-Vorhabens des TFZ: „Entwicklung einer abgestimmten Methode zur Bestimmung der Partikelemissionen von mit fester Biomasse betriebenen Feuerstätten (EN-PME-Test)“ möglich?**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Hofplatz 1
18276 Gülzow
Tel: 03843/6930-0, Fax: 03843/6930-102
E-Mail: info@fnr.de, Internet: www.fnr.de

Besuchen Sie unser Internetportal:
www.nachwachsende-rohstoffe.info
www.natur-baustoffe.info



Ausblick

- Die **Zulassungspraxis** bei Kleinfeuerungsanlagen der 1. BImSchV (2. Stufe) ist ab dem 01.01.2015 bzw. dem 01.01.2017 mit **Hemmnissen** belastet;
- Die **Verschärfung der Emissionsanforderungen** an Biomassefeuerungen wurde z.T. mit gezielten **Lenkungsausschussaktivitäten** begegnet;
- **Fragestellungen**, die von LA bearbeitet werden könnten, sind noch **offen**, die **Koordination** und die **Abstimmungswege** müssen verbessert werden;
- Der gesamte **Lenkungsausschuss** muss aus aktuellem Anlass **als Emissionsminderungsausschuss für kleine und mittelgroße Biomassefeuerungsanlagen etabliert** werden!



Prof. Dr. Günter Baumbach, Universität Stuttgart, Stuttgart

Bewährt sich die Staubabscheider-Prüfung nach der Vornorm DIN Spec 33999?

Prof. Dr. Günter Baumbach¹, Dr. Volker Lenz², Peter Plegniere³

¹ *Universität Stuttgart, Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik*

Pfaffenwaldring 23, 70569 Stuttgart, Tel.: +49 (0)711 685-67211, Fax: +49 (0)711 685-63491

E-Mail: Guenter.Baumbach@ifk.uni-stuttgart.de, Web: www.ifk.uni-stuttgart.de

² *Deutsches Biomasseforschungszentrum, Leipzig, Web: www.dbfz.de*

³ *Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Web: www.vdi.de/technik/fachthemen/reinhaltung-der-luft*

Die Technische Spezifikation DIN Spec 33999 „Emissionsminderung – Kleine und mittlere Feuerungsanlagen (gemäß 1. BImSchV) – Prüfverfahren zur Ermittlung der Wirksamkeit von nachgeschalteten Staubminderungseinrichtungen“ wurde im Dezember 2014 veröffentlicht. Zur Vergleichbarkeit der Abscheideleistung verschiedener Staubabscheider sind einheitliche Prüfkriterien erforderlich.

Aufgabe dieser Vornorm ist es, Prüfverfahren zur Bestimmung der Wirksamkeit von Staubabscheidern für Kleinfeuerungen, die den Regeln der 1. BImSchV unterliegen, festzulegen. Die Prüfverfahren werden unterschieden einerseits für Staubabscheider, die für Feuerungen mit diskontinuierlicher Beschickung bestimmt sind, wie Einzelraumfeuerungsanlagen und Naturzugkessel ohne Gebläse, und andererseits für Staubabscheider für kontinuierlich beschickte Feuerungen, wie Hackschnitzel- und Pelletkessel sowie Pelletöfen. Sie gilt für Staubminderungseinrichtungen, die als Einzelbauteile z. B. an bestehenden Feuerungsanlagen nachgerüstet werden können und nicht für Staubminderungseinrichtungen, die integrierter Bestandteil einer Feuerungsanlage sind.

Wer einen Staubabscheider für seine häusliche Feuerung kaufen will, sollte darauf achten, dass der angegebene Abscheidegrad nach dieser DIN Spec 33999 ermittelt wurde. Da der Abscheidegrad von verschiedenen Faktoren abhängt, sind zur Vergleichbarkeit einheitliche Prüfkriterien erforderlich, die in dieser Vornorm festgelegt sind.

Die Staubabscheider-Prüfung obliegt anerkannten Prüfinstituten. In einer Fragebogenaktion soll derzeit ermittelt werden, ob, von wem und für welche Feuerungen diese Vornorm bisher angewendet wurde und welche Erfahrungen damit gemacht wurden. Fragen sind z.B. folgende: Entspricht die Norm den Erfordernissen? Ist die vorgesehene Prüfung handhabbar und bezahlbar? Sind die Prüfergebnisse in einem gewissen Toleranzbereich reproduzierbar?

Die gesammelten Erfahrungen sollen in die Norm einfließen, wenn sie aus dem Vornorm-Status in eine verbindliche Norm überführt wird. Dies muss innerhalb von drei Jahren, also bis Dezember 2017 erfolgen.



MODELLIERUNG UND PRÜFUNG


 Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL
 

Bewährt sich die Staubabscheider-Prüfung nach der Vornorm DIN Spec 33999?



Apl. Prof. Dr.-Ing. Günter Baumbach
Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik
der Universität Stuttgart
Dr.-Ing. Volker Lenz
Deutsches Biomasseforschungszentrum, Leipzig
Dipl.-Ing. Peter Plegniere
Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN




 Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL
 

Rauch- Probleme in Wohngebieten

- Zweiter Teil der Problemlösung:**
Verbesserung der Verbrennungstechnik: -> nicht Inhalt dieser Präsentation
- Dritter Teil: Abgasreinigung, z.B. durch Einbau von Staubabscheidern:**
Prüfnorm DIN SPEC 33999: 2014-12 (D)
 „Emissionsminderung — Kleine und mittlere Feuerungsanlagen (gemäß 1. BImSchV) — Prüfverfahren zur Ermittlung der Wirksamkeit von nachgeschalteten Staubminderungseinrichtungen“

Was heißt „Wirksamkeit“?

- Abscheidegrad
- Erreichen von Reingasstaubgehalten, mit denen die Grenzwerte der 1. BImSchV eingehalten werden können


 Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL
 

Rauch- Probleme in Wohngebieten

Problemlösung, erster Teil: Verschärfung der 1. BImSchV

(5) Grundöfen, die nach dem 31. Dezember 2014 errichtet und betrieben werden, sind mit nachgeschalteten Einrichtungen zur Staubminderung nach dem Stand der Technik auszustatten. Satz 1 gilt nicht für Anlagen,

(6) Die nachgeschalteten Einrichtungen zur Staubminderung nach Absatz 5 dürfen nur verwendet werden, wenn ihre Eignung von der zuständigen Behörde festgestellt worden ist oder eine Bauartzulassung vorliegt. Die Eignungsfeststellung und die Bauartzulassung entfallen, sofern nach den bauordnungsrechtlichen Vorschriften über die Verwendung von Bauprodukten auch die immissionsschutzrechtlichen Anforderungen eingehalten werden.

Neue Staubgrenzwerte: 0,04 – 0,02 g/m³

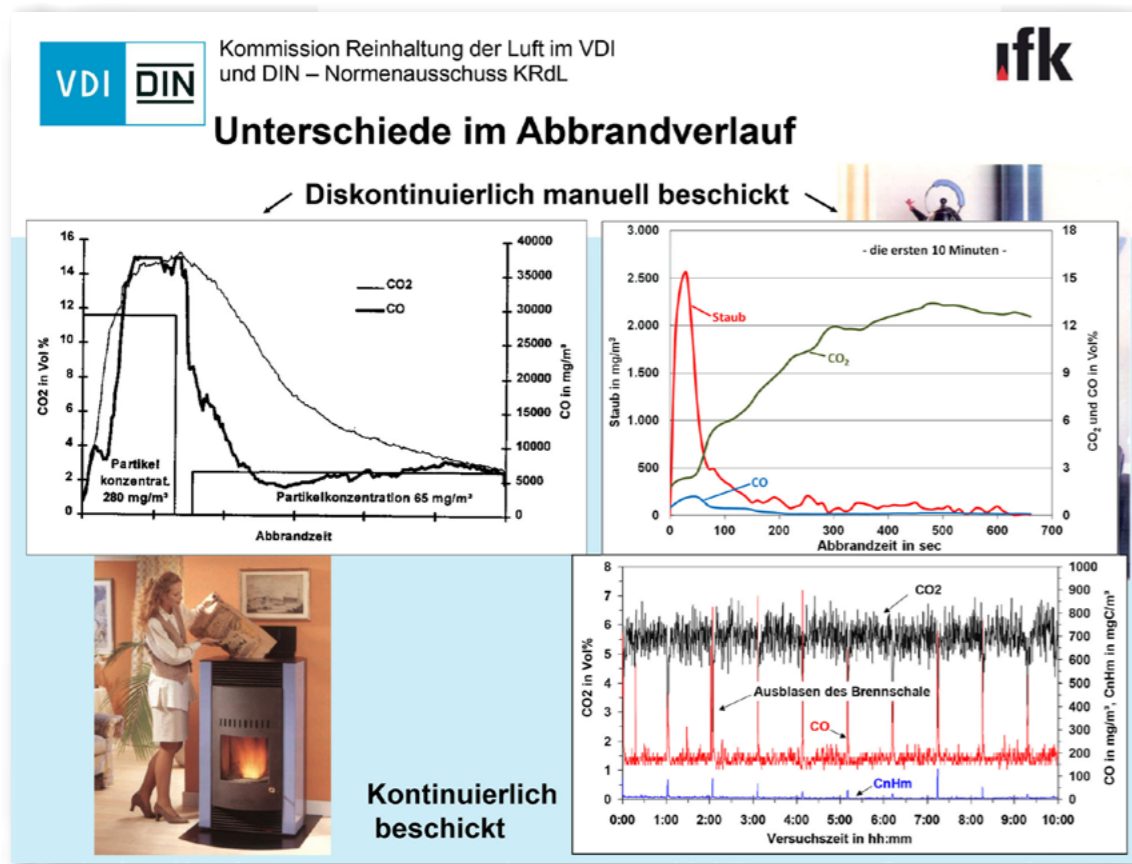
Fazit:
 In Zukunft wird es vermehrt dazu kommen, dass ein nachträglicher Einbau oder von vorneherein ein Einbau von Staubabscheidern erforderlich oder angeraten ist.


 Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL
 

Ziel der DIN SPEC 33999

Zertifizierte Abscheider, die im Betrieb funktionieren, durch Schaffung und Beschreibung einheitlicher und reproduzierbarer Methoden (Prüfbedingungen) zur Überprüfung der Wirksamkeit von Staubabscheidern an Kleinfeuerungen:

- Reproduzierbarkeit der Abgaseinstellungen einer Versuchsfeuerung
- Schaffung vergleichbarer Prüfbedingungen für die verschiedenartigen Abscheider
- Reproduzierbarkeit der Wirksamkeit der Staubabscheider
- Dauerbelastbarkeit der Abscheider?
- Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Messinstitute

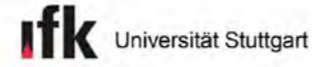


- VDI DIN Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL ifk Universität Stuttgart
- ### Einbauort für Staubabscheider
- Aufstellung im Gebäude im Verbindungsstück zwischen Feuerung und Kamin**
→ Abgasweg ist nicht Bestandteil der Abscheidefläche (Abscheider ist eigenständiges Bauteil)
 - Aufstellung im Gebäude im Schornstein
 - Aufstellung im Freien im Schornstein
 - Aufstellung im Freien an der Schornsteinmündung (Schornsteinaufsatz)
→ Abgasweg ist z.B. Bestandteil der Abscheidefläche

- VDI DIN Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL ifk Universität Stuttgart
- ### Einbauort für Staubabscheider
- Aufstellung im Gebäude im Verbindungsstück zwischen Feuerung und Kamin
→ Abgasweg ist nicht Bestandteil der Abscheidefläche (Abscheider ist eigenständiges Bauteil)
 - Aufstellung im Gebäude im Schornstein
 - Aufstellung im Freien im Schornstein**
 - Aufstellung im Freien an der Schornsteinmündung (Schornsteinaufsatz)**
→ Abgasweg ist z.B. Bestandteil der Abscheidefläche
- Weitere Unterscheidung:**
- Abscheider mit extra Gebläse
 - Abscheider ohne extra Gebläse



Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL

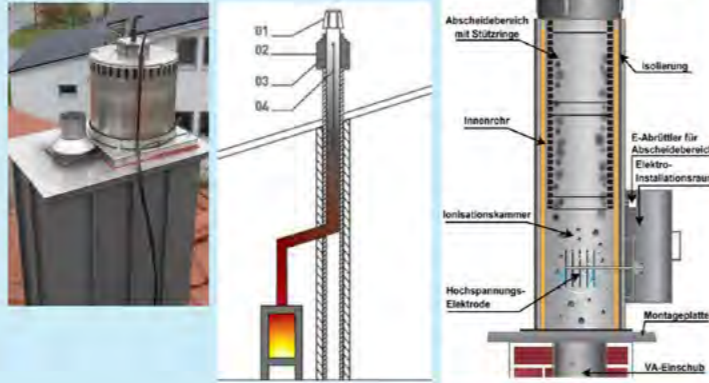


Bauformen von kleinen elektrostatischen Abscheidern (2)



Schornsteinabscheider

Abscheider als Schornstein-Aufsatz



Herausforderung: Abscheiderprüfung im Labor



Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL



Zwei Prüfansätze

1. Abscheiderprüfung über den gesamten Abbrandverlauf (bei diskontinuierlicher Beschickung): Stark variierende Staubkonzentration, variierender Zug und Volumenstrom
2. Abscheiderprüfung bei verschiedenen Beaufschlagungen, aber jeweils konstanten Bedingungen (Konzentration, Volumenstrom, Zug)



Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL



Anforderungen an die Messungen

Herausforderungen für eine Messvorschrift für Abscheider für Biomassekleinfeuerungen



Reproduzierbarkeit

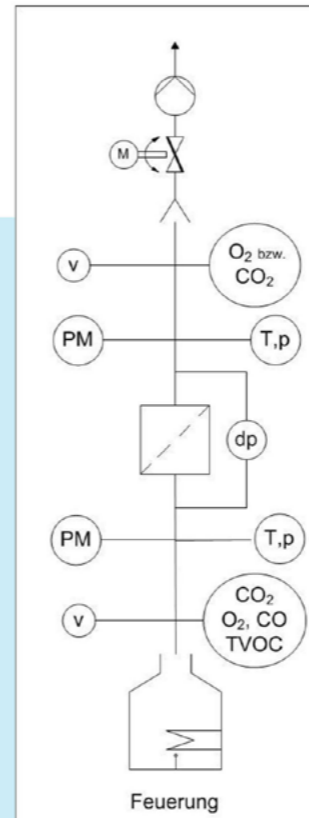
„einfache“ und klar definierte Messbedingungen

Aussagekraft

Ergebnis sollte unabhängig von Betriebsbedingungen stabil bleiben

1. Messgröße und Messverfahren
2. Messstandsaufbau und Durchführung einer Messung
3. Prüfprogramm und dessen Bewertung

10



Prüfaufbau für Staubabscheider an diskontinuierlich, handbeschickten Einzelraumfeuerstätten

- PM-Messung nach VDI 2066 und Kontinuierliche PM-Messung vor und nach dem Abscheider!
- Abscheidegrad- und Reingasbestimmung 15 Minuten von Beginn des Abbrands (30 s nach Auflegen des Holzes)



Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL



Zu simulierende Abgasstaubzustände (Prüfbedingungen)

Prüfung bei verschiedenen Betriebszuständen (Prüfzyklen), z.B. an Kaminöfen:

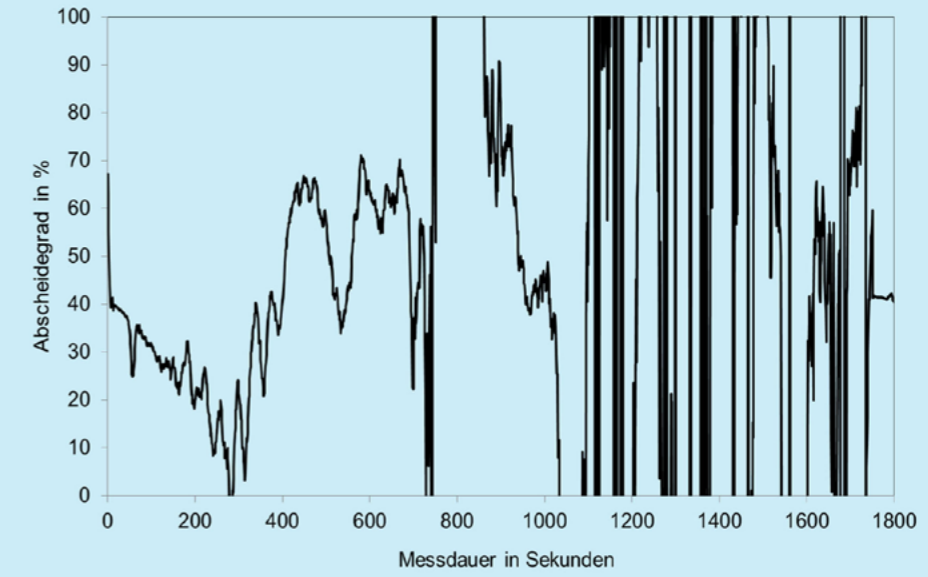
1. Gute Verbrennung: fast nur Flugasche, PM niedrig
2. Hohe Staubkonzentration mit hohen Ruß- und Teeranteilen



Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL



Zeitlicher Verlauf des Abscheidegrads



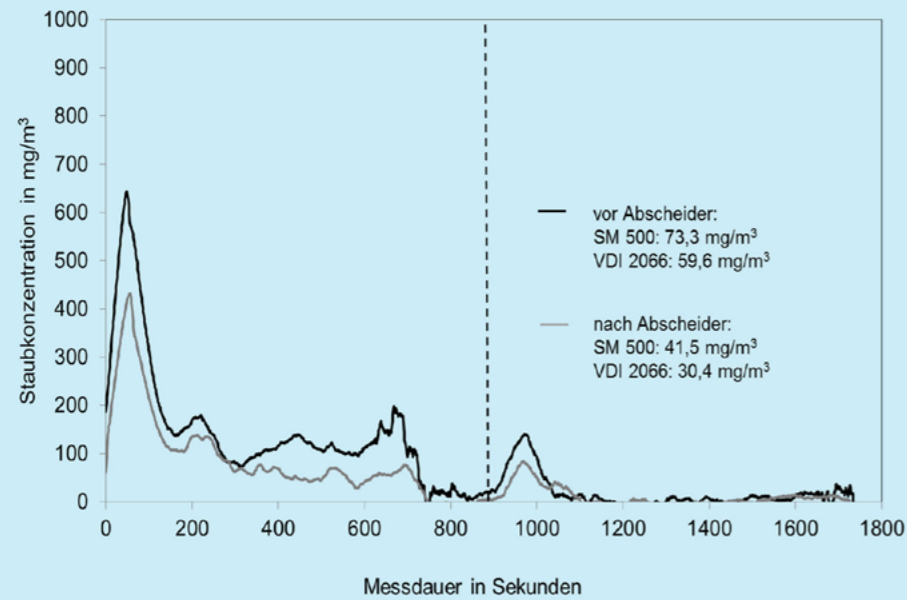
15



Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL



Staubkonzentration vor und hinter Staubabscheider kontinuierlich gemessen



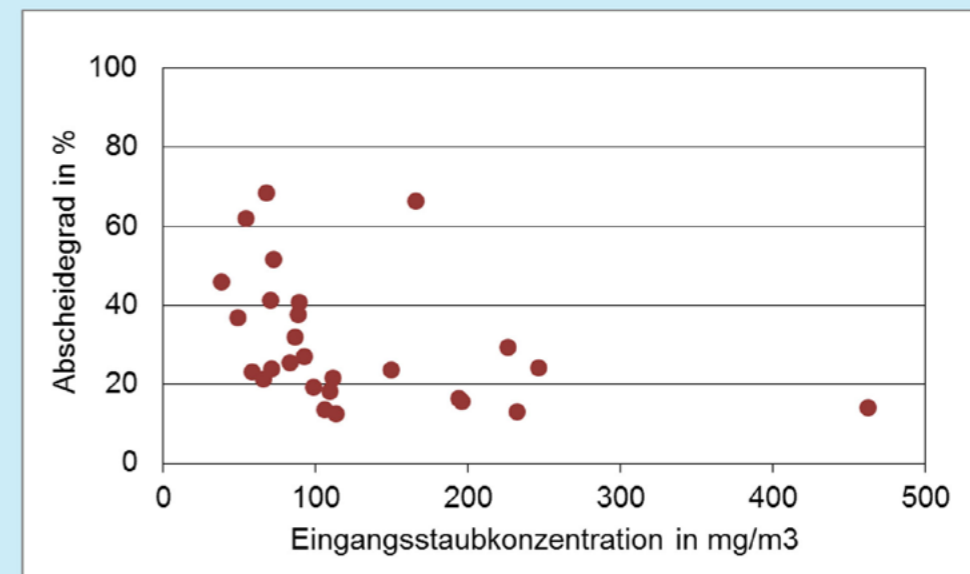
14



Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL



Abscheidegrade in Abhängigkeit von der Rohgas-Staubkonzentration – Ergebnisse eines IFK-Projektes gefördert durch die DBU



Mögliche Einflussgrößen auf die Staubabscheidung: Eigenschaften der Partikel und der Feuerungen

- Konzentrationen der emittierten Stäube
- Konzentrations- und Mengenschwankungen in Abhängigkeit der Betriebszustände
- Korngrößenverteilungen
- Chemische Zusammensetzung der emittierten Stäube
- Partikelstrukturen, Agglomerations- und Verklebungsneigung
- Abgastemperaturen
- Abgaszusammensetzung, insbesondere Wassergehalt und Taupunkt

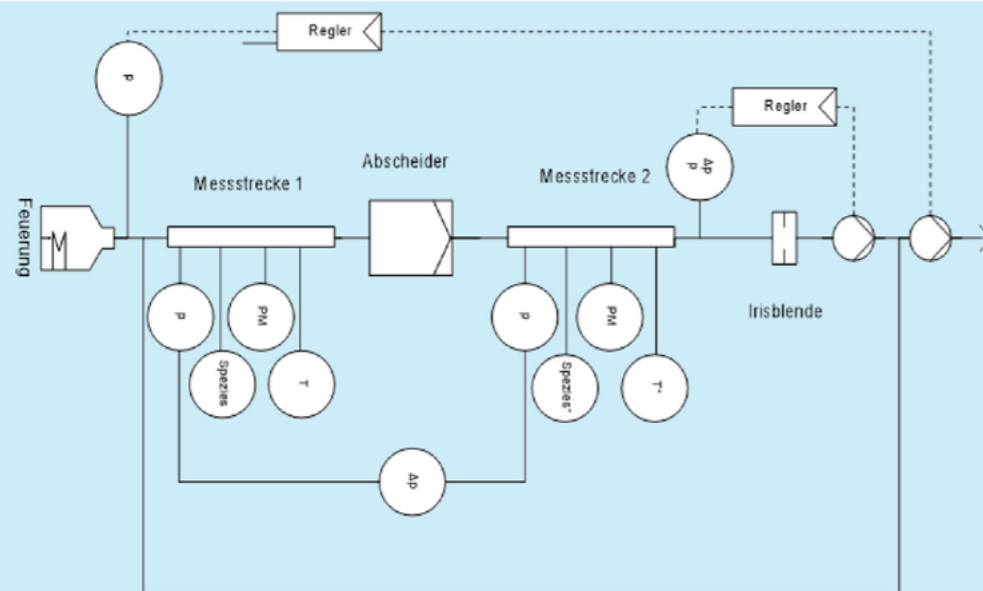
Durchführung einer Messung an kontinuierlich betriebener Feuerung (nach DBFZ)

- ordnungsgemäßer Einbau des Abscheiders in den Prüfstand
- Inbetriebnahme der Feuerung zur Generierung der gewünschten Staubqualität und -quantität mittels Betriebsbedingungen und Brennstoff
- Einstellung des Volumenstroms im Abscheiderzweig mittels der Anpassung der By-Pass-Strömung (ggf. Nachjustierung der Feuerung)
- nach Erreichen einer weitgehend konstanten Belastung des Abscheiders gemäß den Anforderungen des Prüfprogramms wird der Abscheider aktiviert
- gleichzeitiger Beginn der Messungen vor und hinter dem Abscheider – Staubprobenahme in Anlehnung an VDI 2066
- Kontrolle von Schwankungen in CO und Abgastemperatur
- gleichzeitiges Ende der Staubmessung

20

17

DIN Spec 33999 Prüfaufbauten an kontinuierlich beschickter Feuerung



Weitere Vorgehensweise zu DIN 33999

- „Technischen Spezifikation“ (Vornorm) DIN SPEC 33999: im Dezember 2014 veröffentlicht
- Anwendung der Vornorm der DIN SPEC 33999 durch Prüfinstitute und Sammlung von Erfahrungen
- Mitteilung der Erfahrungen über einen Fragebogen der KRdL im VDI und DIN
- Auswertung der Erfahrungen in der KRdL-Arbeitsgruppe, damit Aktualisierung der Vornorm und schließlich Verabschiedung als „richtige“ Norm



Kommission Reinhaltung der Luft im VDI
und DIN – Normenausschuss KRdL

Bisherige Rückmeldungen zur Bewährung der DIN SPEC 33999

- Verschiedene europäische Prüf- und Forschungseinrichtungen haben die Vornorm angefragt und wollen Prüfung nach der Vornorm versuchen.
- Bisher sind dem VDI noch keine Zulassungsmessungen nach der Norm bekannt.
- Das DIBt hat in seine bauaufsichtliche Zulassung den Verweis auf die Norm vorgesehen, wartet aber derzeit noch die Erfahrungen ab, um den Funktionsnachweis auf Basis der Norm durchführen zu lassen.
- Das BAFA hat weiterhin für die Förderung eine eigene Vorgabe.
- Die VDI 3670 „Stand der Technik von Abscheidern“ verweist auf die DIN spec 33999, lässt aber übergangsweise auch vergleichbar ermittelte Ergebnisse zu.
- Erste Akteursrückmeldungen sehen das erforderlich Spektrum an Abgasstaubzuständen zumindest für einige der erforderlichen Anwendungen als zu breit -> nach der Konkretisierung der Vorschläge über den Fragebogen soll hier eine Präzisierung der Norm erfolgen.

22



Kommission Reinhaltung der Luft im VDI
und DIN – Normenausschuss KRdL



Mitglieder der KRdL-Adhoc-Arbeitsgruppe für die DIN 33999

- Apl. Prof. Dr.-Ing. Günter Baumbach, IFK Universität Stuttgart (Obmann)
- Dipl.-Ing. Peter Plegniere, KRdL im VDI und DIN
- Dr. Hans Hartmann, Technologie- u. Förderzentrum (TFZ), Straubing
- Dr. Volker Lenz, Deutsches Biomasse Forschungszentrum, Leipzig
- Dr. Volker Schmatloch, Spartherm Feuerungstechnik GmbH, Melle
- Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Schmoeckel, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg
- Gesamte KRdL-Arbeitsgruppe DIN 33999:
Weitere Vertreter von Firmen, Institutionen und Verbänden



Kommission Reinhaltung der Luft im VDI
und DIN – Normenausschuss KRdL

Beispielhafte Fragen zur Bewährung der DIN SPEC 33999

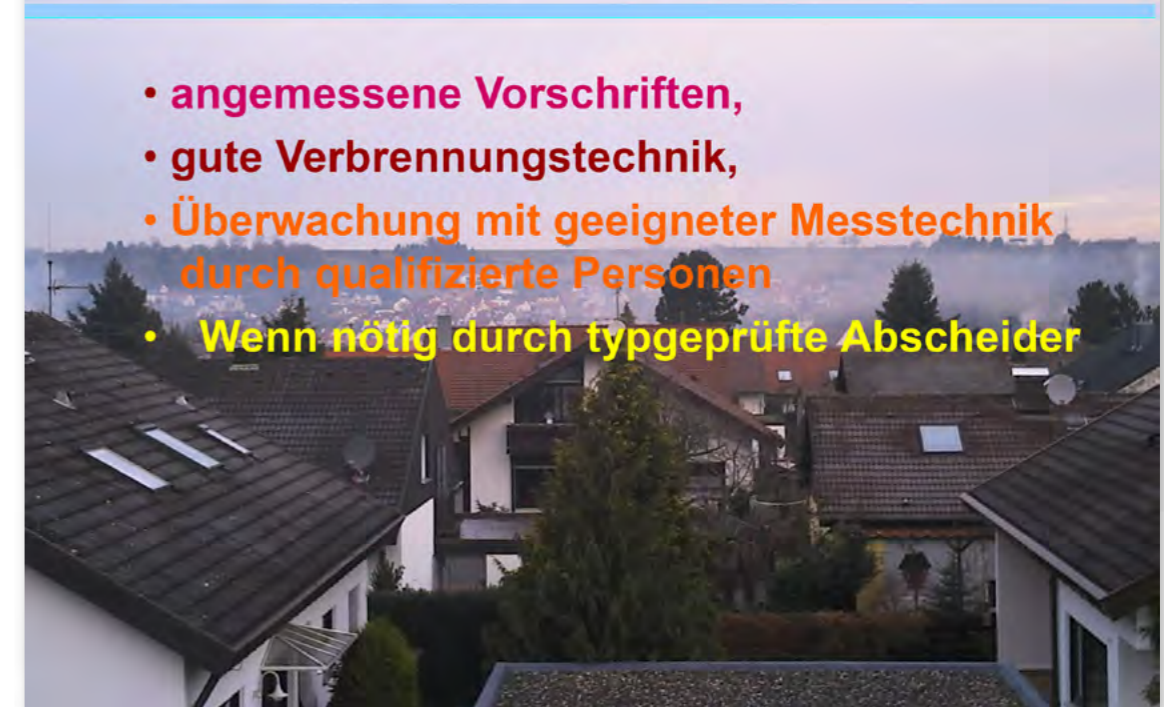
Die Fragen sollen aus der praktischen Erfahrung beantwortet werden!

- Welche Methode wenden Sie an, gemäß Abschnitt 5 (für handbeschickte Feuerungen) oder gemäß Abschnitt 6 (Zentralheizungsfeuerungen und Pelletöfen) oder beide?
- Welche Erfahrungen haben sie bereits mit der Prüfnorm gemacht?
 - mit dem Prüfaufbau
 - bei der Versuchsdurchführung
 - mit Fehlmessungen/Ausreißern
 - mit den Messergebnissen
 - mit dem Auswertverfahren
 - Praktikabilität der Vornorm generell?
- Prüfung unterschiedlicher Größen einer Baureihe entsprechend DIN SPEC 33999
- Reproduzierbarkeit von gemessenen Wirkungsgraden
- Kosten für die Durchführung eine Prüfung eines Abscheiders je nach Anwendung?

23

Der Rauch muss weg durch:

- angemessene Vorschriften,
- gute Verbrennungstechnik,
- Überwachung mit geeigneter Messtechnik durch qualifizierte Personen
- Wenn nötig durch typgeprüfte Abscheider



Julia Goy, Universität Stuttgart, Stuttgart

Entwicklung eines praxisnahen Prüfablaufs zur Bewertung des Langzeitverhaltens von einem Gewebefilter

Julia Goy, Michael Struschka
 Universität Stuttgart
 Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK)
 Pfaffenwaldring 23, 70569 Stuttgart-Vaihingen
 Tel.: +49 (0)711 685-63493
 Fax: +49 (0)711 685-63491
 E-Mail: julia.goy@ifk.uni-stuttgart.de
 Web: www.ifk.uni-stuttgart.de

Hintergrund

Staubabscheider für kleine Biomassefeuerungen sind ein aktuelles Thema, wie neuere Entwicklungen und Forschungsvorhaben sowie die Fachgespräche „Partikelabscheider“ zeigen. Nach wie vor ist das Verhalten der Staubabscheider in der Praxis jedoch nicht umfassend mit allgemeinen Auslegungen und Laborversuchen abzubilden. Aus diesem Grund ist der nachfolgend beschriebene Prüfstand mit dem Ziel entwickelt worden, Staubabscheider unter definierten aber praxisnahen Bedingungen an realen Feuerungsanlagen untersuchen zu können.

Prüfstand mit mobiler Abscheidereinheit

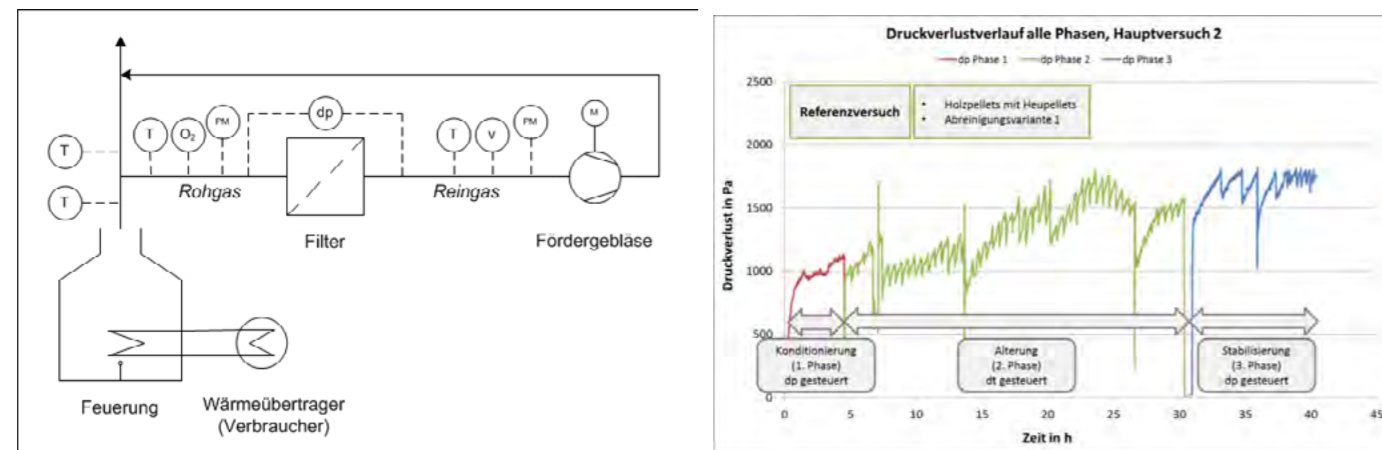
Der Betrieb des Feuerungsprüfstands mit Abscheidereinheit mit separatem Fördergebläse erfolgt im Bypass. Dies ermöglicht vergleichende Untersuchungen und Parameterstudien, die von Feuerungen und aktuellen Bedingungen unabhängig sind. Zur Untersuchung und Bewertung von mehreren Varianten und Einfluss-faktoren auf das Verhalten eines Gewebefilters mit einer neuartigen Abreinigung wurde ein standardisierter Prüfablauf entwickelt. Zur Abschätzung des Langzeit-verhaltens mit stark verkürzter Versuchszeit erfolgte eine künstliche Alterung in mehreren Phasen mit an den Feuerungsbetrieb angepassten Vorgaben und Einstellungen.

Variantevergleiche

Als hauptsächliche Bewertungsgröße wurde der Druckverlust über den Filter und dessen Stabilität über die Zeit herangezogen. Als Variante-vergleiche wurden verschiedene Brennstoffe und Brennstoff-mischungen sowie der Einfluss von Abreinigung und Versuchsdauer betrachtet.

Einsatzmöglichkeiten

Mit dem Prüfstand können auch andere Staubabscheider-Bauarten untersucht und verschiedenste Prüfabläufe und Parameterstudien entwickelt und durchgeführt werden.



Entwicklung eines praxisnahen Prüfablaufs zur Bewertung des Langzeitverhaltens von einem Gewebefilter

Fachgespräch Partikelabscheider
 09.03.2016

FNR Projekt 22031611
 Laufzeit 01.10.2013 – 31.05.2015
 Julia Goy, Michael Struschka

Institut
Abteilung
Arbeitsgruppe

Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik
 Reinhaltung der Luft
 Emissionen Kleinfeuerungen

Forschungsthemen

- Untersuchung und Entwicklung von Kleinfeuerungsanlagen, hauptsächlich Biobrennstoffe
- Primär- und Sekundärmaßnahmen zur Emissionsminderung
- Untersuchung von messtechnischen Fragestellungen
- Planung und Durchführung von Feldmesskampagnen
- Modellierung von Strömungs- und Verbrennungsprozessen
- Ermittlung von Emissionsfaktoren

Projektrahmen ifk

Projekt „Entwicklung eines kompakten und kostengünstigen Gewebefilters für Biomassekessel“ (FKZ 22031611)

Projektbeteiligte

- LK-Metallwaren GmbH, Schwabach
- Oskar Winkel Filtertechnik, Amberg
- IFK, Universität Stuttgart

Inhalt

- Entwicklung eines Funktionsmusters
- Aufbau Prüfstand
- **Entwicklung eines standardisierten Prüfablaufs**
- Durchführung der Variantenvergleiche

Prüfablauf Gewebefilter Fachgespräch Partikelabscheider 09.03.2016 Julia Goy, Michael Struschka 3

Prüfstand ifk

Prüfablauf Gewebefilter Fachgespräch Partikelabscheider 09.03.2016 Julia Goy, Michael Struschka 5

Funktionsmuster ifk

Prüfablauf Gewebefilter Fachgespräch Partikelabscheider 09.03.2016 Julia Goy, Michael Struschka 4

Regelung mobile Abscheidereinheit ifk

Regelungsmöglichkeiten

- Gebälse**
 - Betrieb mit konstanter Leistungsstufe
 - Betrieb mit konstantem Volumenstrom (Regelung nach gemessener Gasgeschwindigkeit)
- Abreinigung**
 - Verschiedene Parameter einstellbar
 - Ansteuerung nach Zeit (dt) oder nach Druckverlust (dp) möglich

Sicherheits- und Überwachungsfunktionen

- Datenerfassung**
 - Temperaturen
 - Drücke
 - etc.
- Temperaturschwellen**
 - Schwelle für Rohgastemperatur → Filterbetrieb nur bei Kesselbetrieb
 - Schwelle für Reingastemperatur → Abreinigung

Prüfablauf Gewebefilter Fachgespräch Partikelabscheider 09.03.2016 Julia Goy, Michael Struschka 6

Mobile Abscheidereinheit

Eintritt Rohgas

Gewebefilter

Austritt Reingas

Datenerfassung

Fördergebläse

Prüfablauf Gewebefilter Fachgespräch Partikelabscheider 09.03.2016 Julia Goy, Michael Struschka 7

Entwicklung des Prüfablaufs

Ziel: Aussage über das Langzeitverhalten mehrerer Varianten in überschaubarer Versuchszeit

Ausgangslage: Feuerungsprüfstand *Reales Abgas* / Prüfablauf VDI 3926 & 3677 *Prüfstaub* → Kombination

- Warum reales Abgas und kein Prüfstaub?
- Anpassung des Basis-Schemas nach VDI für die Anwendung an Kleinfeuerungen

Prüfablauf Gewebefilter Fachgespräch Partikelabscheider 09.03.2016 Julia Goy, Michael Struschka 9

Entwicklung des Prüfablaufs

Ziel: Aussage über das Langzeitverhalten mehrerer Varianten in überschaubarer Versuchszeit

- Kernfrage zum Langzeitverhalten: bleibt der Druckverlust stabil?

Bild 3a. Schematische Darstellung des Druckverlustverlaufs über mehrere Filtrationszyklen bei stabilem Filtrationsbetrieb

Bild 3b. Schematische Darstellung des Druckverlustverlaufs über mehrere Filtrationszyklen bei instabilem Filtrationsbetrieb

Quelle Bilder: VDI 3677 Blatt 3: VDI-Richtlinie Filternde Abscheider, Heißgasfiltration, Beuth Verlag, Berlin, November 2012

- Entwicklungshilfe für die Bewertung unterschiedlicher Varianten mit vergleichbarer Basis

Prüfablauf Gewebefilter Fachgespräch Partikelabscheider 09.03.2016 Julia Goy, Michael Struschka 8

Entwicklung des Prüfablaufs

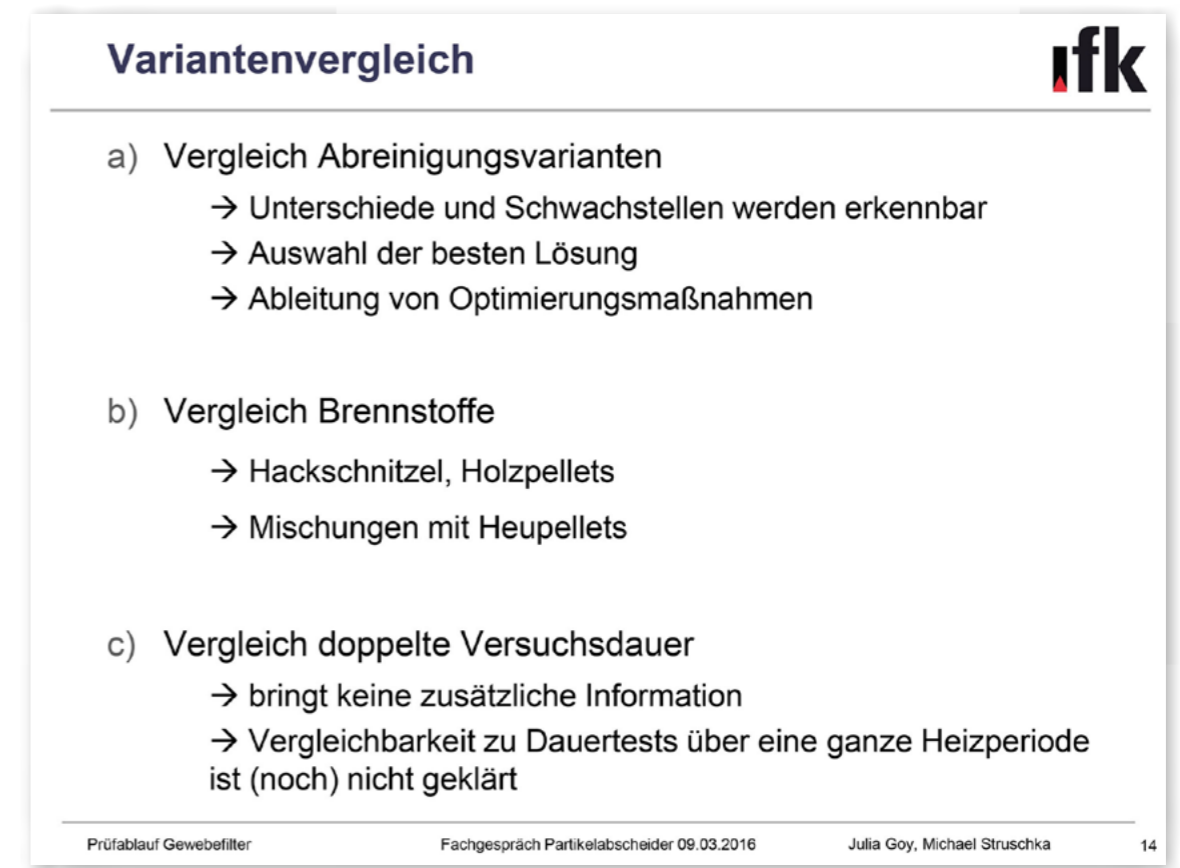
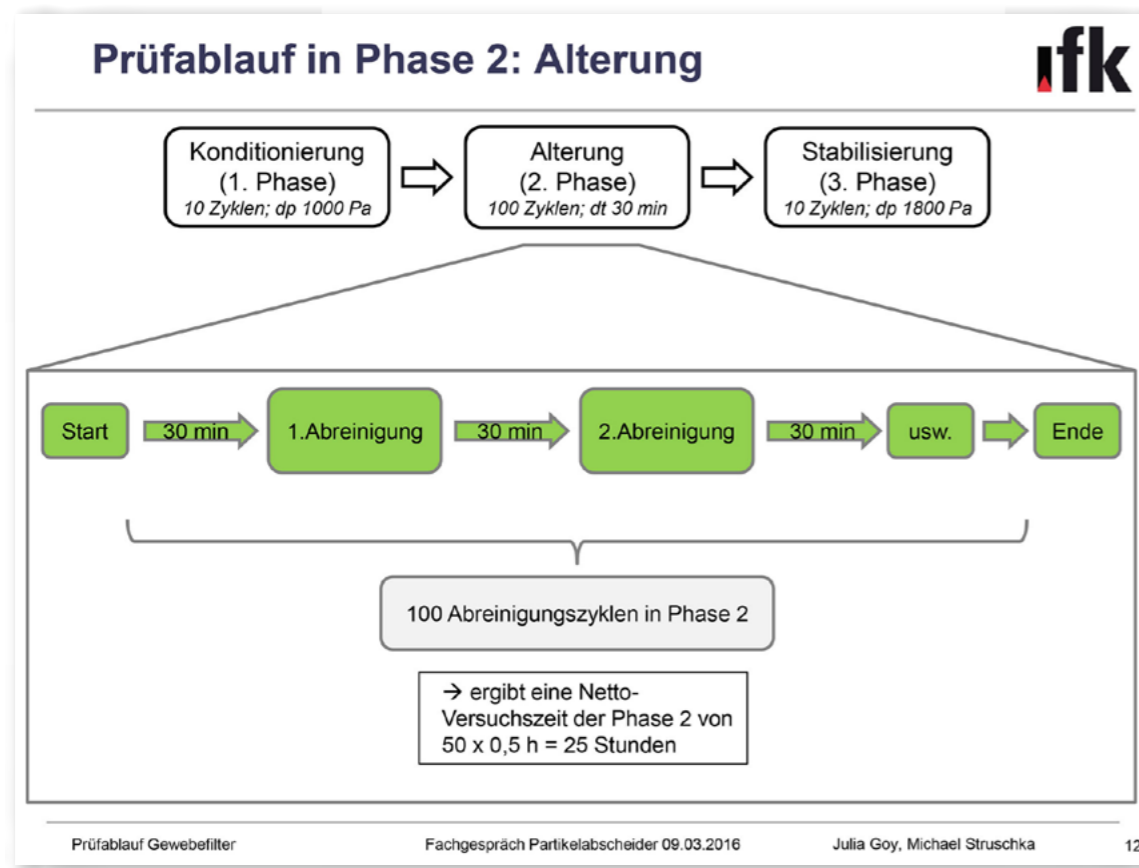
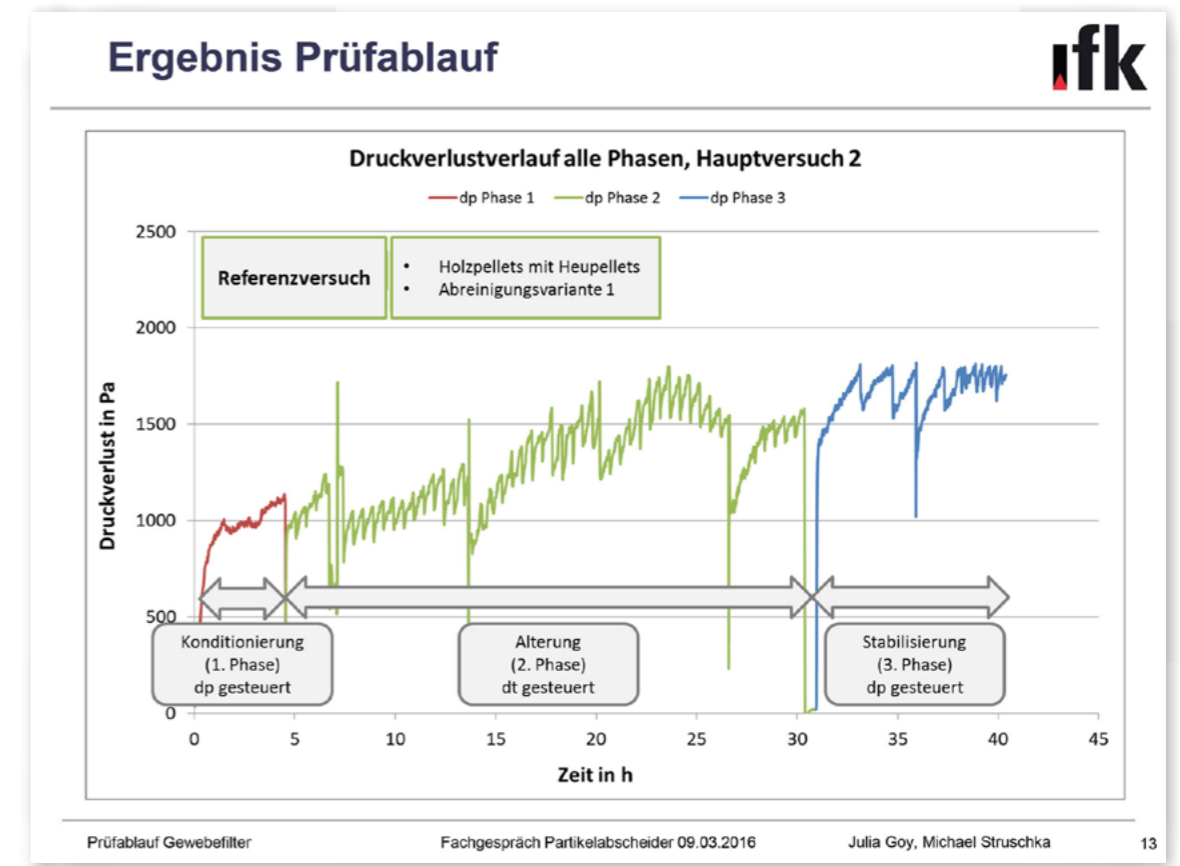
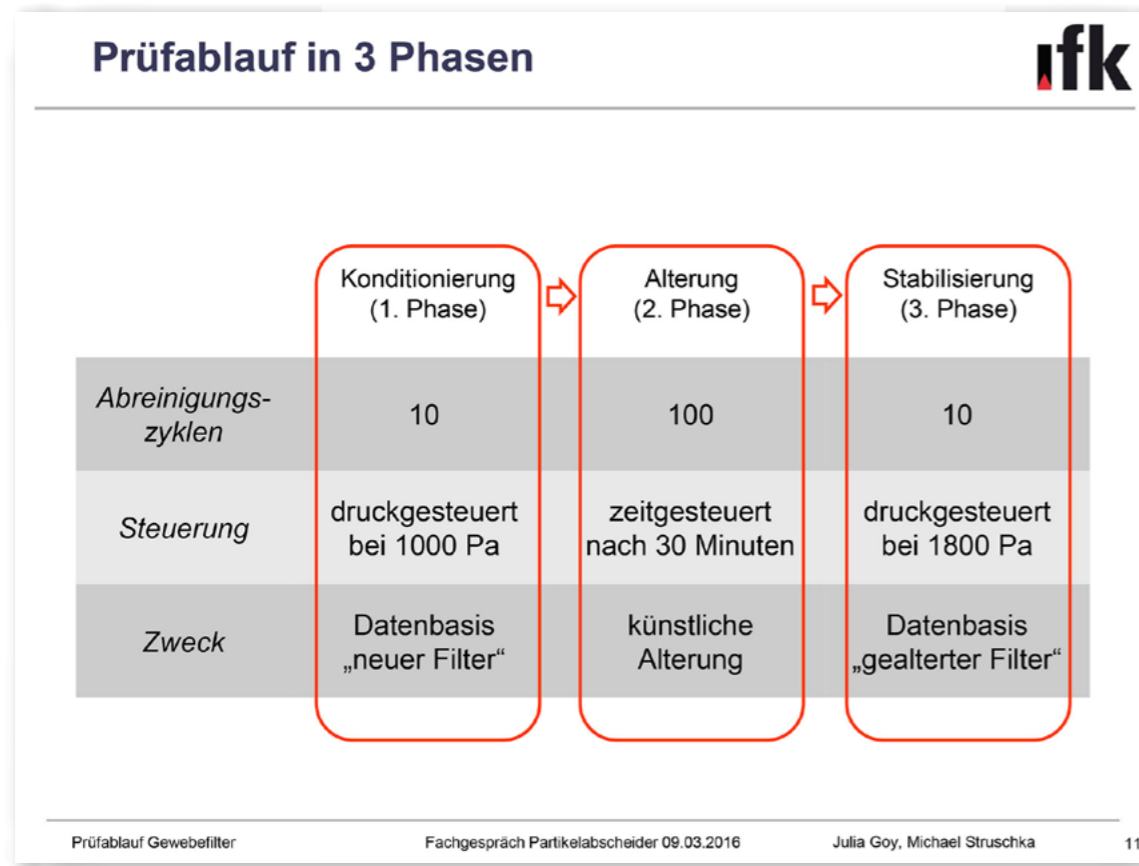
Ziel: Aussage über das Langzeitverhalten mehrerer Varianten in überschaubarer Versuchszeit

Ausgangslage: Feuerungsprüfstand *Reales Abgas* / Prüfablauf VDI 3926 & 3677 *Prüfstaub* → Kombination

Vorgehen: **Standardisierter Prüfablauf**
Ablauf in mehreren Phasen und mit künstlich herbeigeführter Alterung nach folgendem Schema:

Konditionierung (1. Phase) → Alterung (2. Phase) → Stabilisierung (3. Phase)

Prüfablauf Gewebefilter Fachgespräch Partikelabscheider 09.03.2016 Julia Goy, Michael Struschka 10



Fazit und Ausblick



- Entwicklung von verschiedenen Prüfabläufen
- Durchführung von Parameterstudien
- Kurzzeit- und Langzeituntersuchungen
- Einsatz an verschiedenen Feuerungsanlagen
- Weiterentwicklung Gewebefilter
- Untersuchung anderer Abscheider wie Elektroabscheider oder Katalysatoren

Danksagung



Vielen Dank

Förderhinweis



Projektbeteiligte



Schlussbericht: <http://www.ifk.uni-stuttgart.de/forschung/rdl/forschungsberichte.html>

Donato Rubinetti, FH Nordwestschweiz, Windisch/Schweiz

Konzept zur Modellierung und numerischen Berechnung

Donato Rubinetti¹, Daniel A. Weiss¹, Walter Egli²

¹Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Thermo- und Fluid-Engineering

Klosterzelgstrasse 2, 5210 Windisch/Schweiz, Tel.: +41 56 202 85 69, E-Mail: Donato.Rubinetti@fhnw.ch

Web: www.fhnw.ch/technik/itfe

²EGW Software Engineering

Im vorgestellten Modell zur Simulation eines elektrostatischen Partikelabscheiders (ESP) sind die grundlegenden physikalischen Vorgänge in einem ESP in gekoppelter Art und Weise berücksichtigt. Es wird auf Basis der Navier-Stokes-Gleichungen und der Maxwell'schen Gleichungen erstellt und durch Partikellademechanismen ergänzt. Die Ionisierungsprozesse der Coronaentladung werden durch die Kopplung der Poisson-Gleichung mit der Kontinuitätsgleichung für die Ladungsdichte beschrieben. Die Partikeldynamik beinhaltet das Schiller-Naumann-Drag Modell für die strömungsseitigen Kräfte und für die elektrostatischen Kräfte infolge Partikelaufladung werden Diffusions- sowie Feldaufladung implementiert. Mittels benutzerdefinierter partieller Differentialgleichungen wird der ladungsbehaftete Poisson-Fall aufgesetzt.

Die anfängliche Ladungsdichte auf der Elektrode wird durch die Stromdichte als Stellschrauben-Parameter auf die zu erwartende Corona-Onset Feldstärke getrimmt. Das vorgestellte Konzept zur numerischen Berechnung wurde für den einfachen Testfall eines zylindrischen ESPs hinsichtlich des elektrischen Feldes und der Ladungsdichte analytisch verifiziert. Das Verfahren ist numerisch robust und akkurat. Die experimentelle Validierung ist aufgrund der hohen Gradienten der elektrischen Größen heikel. Für den Vergleich wurde das Konzept auf bereits bestehende Messwerte angewendet und konnte so ferner bestätigt werden. Dieses Konzept kann nahtlos auf verwandte Anwendungsbereiche z.B. zur Effizienzsteigerung einer Pulverbeschichtungsanlage übertragen werden.

ESP
Donato Rubinetti

Einleitung
ESP-Typus
Annahmen
Elektrostatik
Simulation Setup
Simulation Resultate
Analytische Verifikation
Diskussion
Experimentelle Validierung
Zusammenfass.
Ausblick

Elektrostatischer Partikelabscheider ESP

Konzept zur Modellierung und numerischen Berechnung

Donato Rubinetti ¹ Daniel A. Weiss ¹ Walter Egli ²

¹Institut für Thermo- und Fluid-Engineering
²EGW Software Engineering

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz

1

ESP
Donato Rubinetti

Einleitung

Wozu simulieren?

Einleitung
Gründe
Generelles zu ESPs
Übersicht Physik
ESP-Typus
Annahmen
Elektrostatik
Simulation Setup
Simulation Resultate
Analytische Verifikation
Diskussion
Experimentelle Validierung
Zusammenfass.
Ausblick

- Verständnis für die physikalischen Vorgänge
- Parametervariationen und Vorhersagen
- Reduktion der Entwicklungskosten

3

ESP
Donato Rubinetti

Inhalt

Einleitung
ESP-Typus
Annahmen
Elektrostatik
Simulation Setup
Simulation Resultate
Analytische Verifikation
Diskussion
Experimentelle Validierung
Zusammenfass.
Ausblick

- Einleitung
- ESP-Typus
- Annahmen
- Elektrostatik
- Simulation Setup
- Simulation Resultate
- Analytische Verifikation
- Diskussion
- Experimentelle Validierung
- Zusammenfassung
- Ausblick

2

ESP
Donato Rubinetti

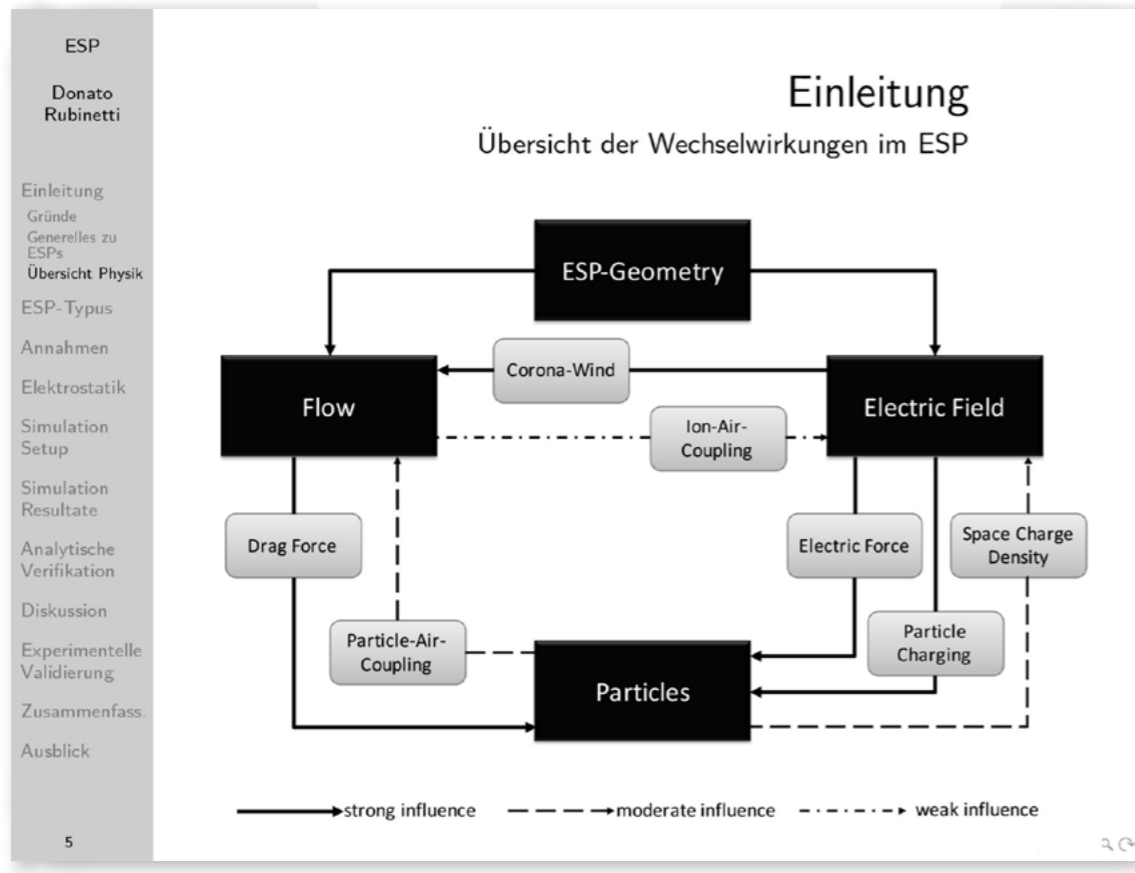
Einleitung

Vorteile gegenüber herkömmlichen Filtersystemen

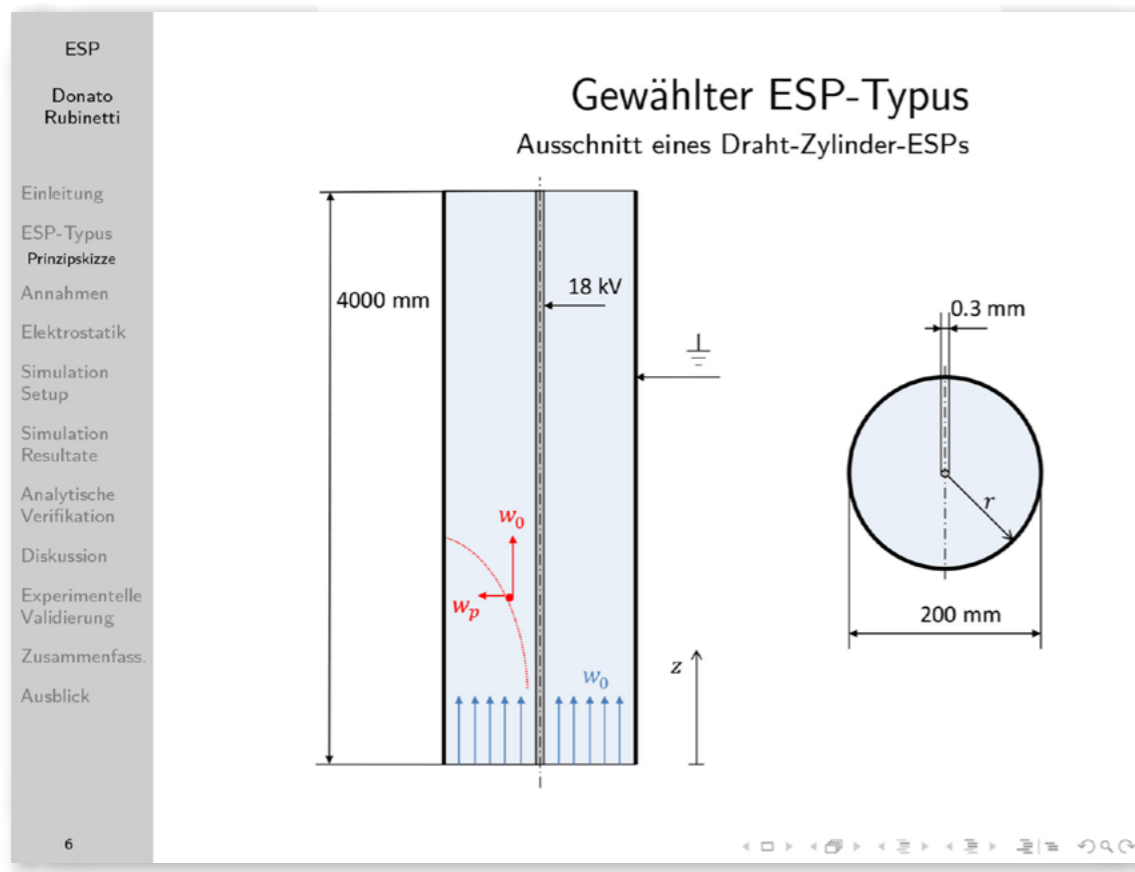
Einleitung
Gründe
Generelles zu ESPs
Übersicht Physik
ESP-Typus
Annahmen
Elektrostatik
Simulation Setup
Simulation Resultate
Analytische Verifikation
Diskussion
Experimentelle Validierung
Zusammenfass.
Ausblick

- Bandbreite an abscheidbaren Partikeln reicht bis in den Nanometerbereich
- inklusive des toxischen Feinstaubes mit $d_p < 10\mu\text{m}$
- Abscheideraten bis zu 99.9%
- Energieaufwand beträgt bis zu 0.1% der Anlagenleistung

4



- ESP
Donato Rubinetti
- ### Annahmen
- Sphärische Partikel
 - Fluid (Luft) inkompressibel, ideales Gasverhalten, turbulente Strömung
 - vollständig entwickeltes Strömungsprofil
 - isotherme Bedingungen
 - Gravitation vernachlässigt
 - konvektive und diffusive Terme für die analytische Verifikation vernachlässigt
 - reibungsfreie Elektrode
- 7



ESP
Donato Rubinetti

Elektrostatik

Modellgleichungen

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho_{el}}{\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\mathbf{E} = -\nabla\phi \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = 0 \quad (3)$$

$$\mathbf{J} = \rho_{el}(\mathbf{w} + b\mathbf{E}) - D\nabla\rho_{el} \quad (4)$$

$$\nabla^2\phi = -\frac{\rho_{el}}{\epsilon_0} \quad (5)$$

$$\mathbf{E}\nabla\rho_{el} = -\frac{\rho_{el}^2}{\epsilon_0} \quad (6)$$

8

ESP
Donato Rubinetti

Einleitung
ESP-Typus
Annahmen
Elektrostatik
Simulation Setup
Strukturierung
Randbedingungen
Iterationsvorschrift
Simulation Resultate
Analytische Verifikation
Diskussion
Experimentelle Validierung
Zusammenfass.
Ausblick

Simulation Setup

Gliederung

- 1 Stationäre Analyse I turbulente Strömung
- 2 Stationäre Analyse II Elektrostatik
- 3 Transiente Analyse Partikel

9

ESP
Donato Rubinetti

Einleitung
ESP-Typus
Annahmen
Elektrostatik
Simulation Setup
Strukturierung
Randbedingungen
Iterationsvorschrift
Simulation Resultate
Analytische Verifikation
Diskussion
Experimentelle Validierung
Zusammenfass.
Ausblick

Simulation Setup

Iterationsvorschrift

```

    graph TD
      A[choose j_0 on emitting electrode] --> B[Dirichlet-BC on emitting electrode  
rho_el0 = j_0 / (b * E_0)]
      B --> C[Compute Poisson continuity coupled PDEs (5) & (6)]
      C --> D{E(R_1) ≅ E_0?}
      D -- yes --> E[j_0 determined]
      D -- no --> F{E(R_1) < E_0?}
      F -- yes --> G[increase j_0]
      F -- no --> H[decrease j_0]
      G --> B
      H --> B
      E --> I[BC for rho_0 found]
  
```

11

ESP
Donato Rubinetti

Einleitung
ESP-Typus
Annahmen
Elektrostatik
Simulation Setup
Strukturierung
Randbedingungen
Iterationsvorschrift
Simulation Resultate
Analytische Verifikation
Diskussion
Experimentelle Validierung
Zusammenfass.
Ausblick

Simulation Setup

Randbedingungen

10

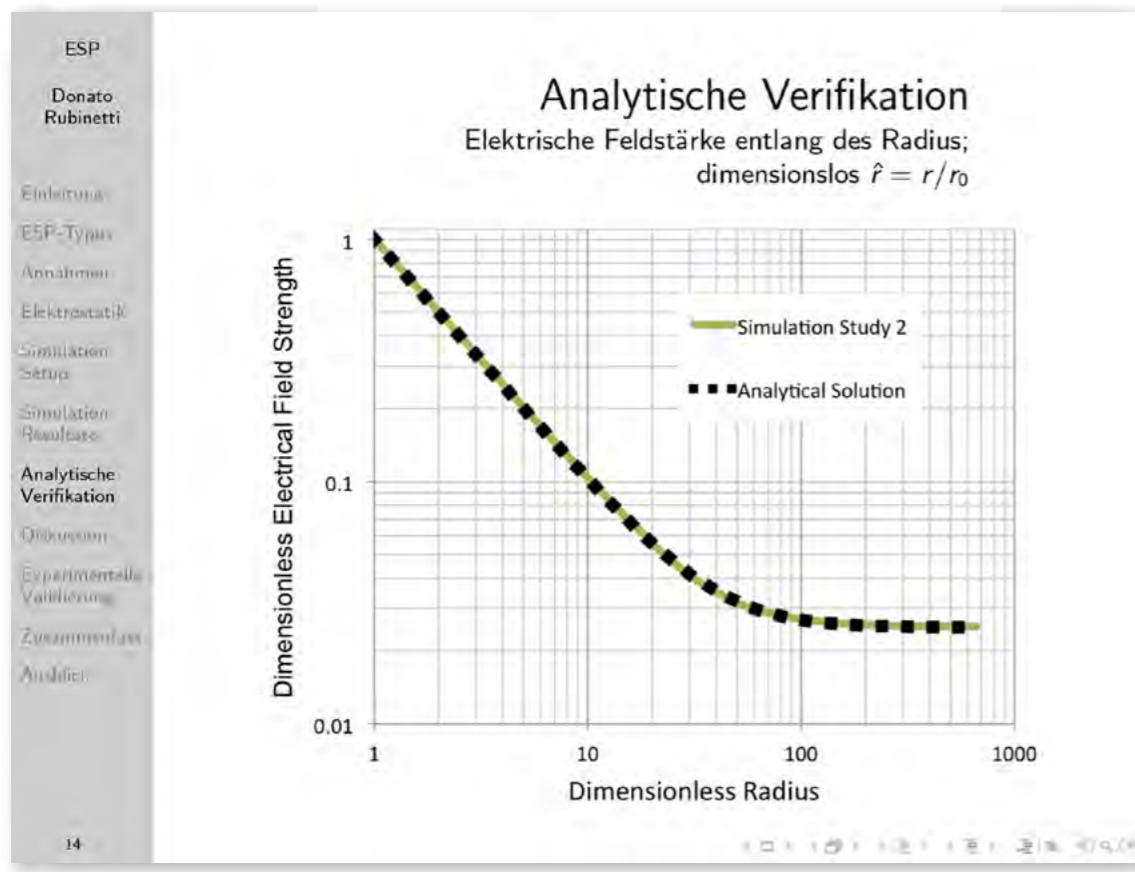
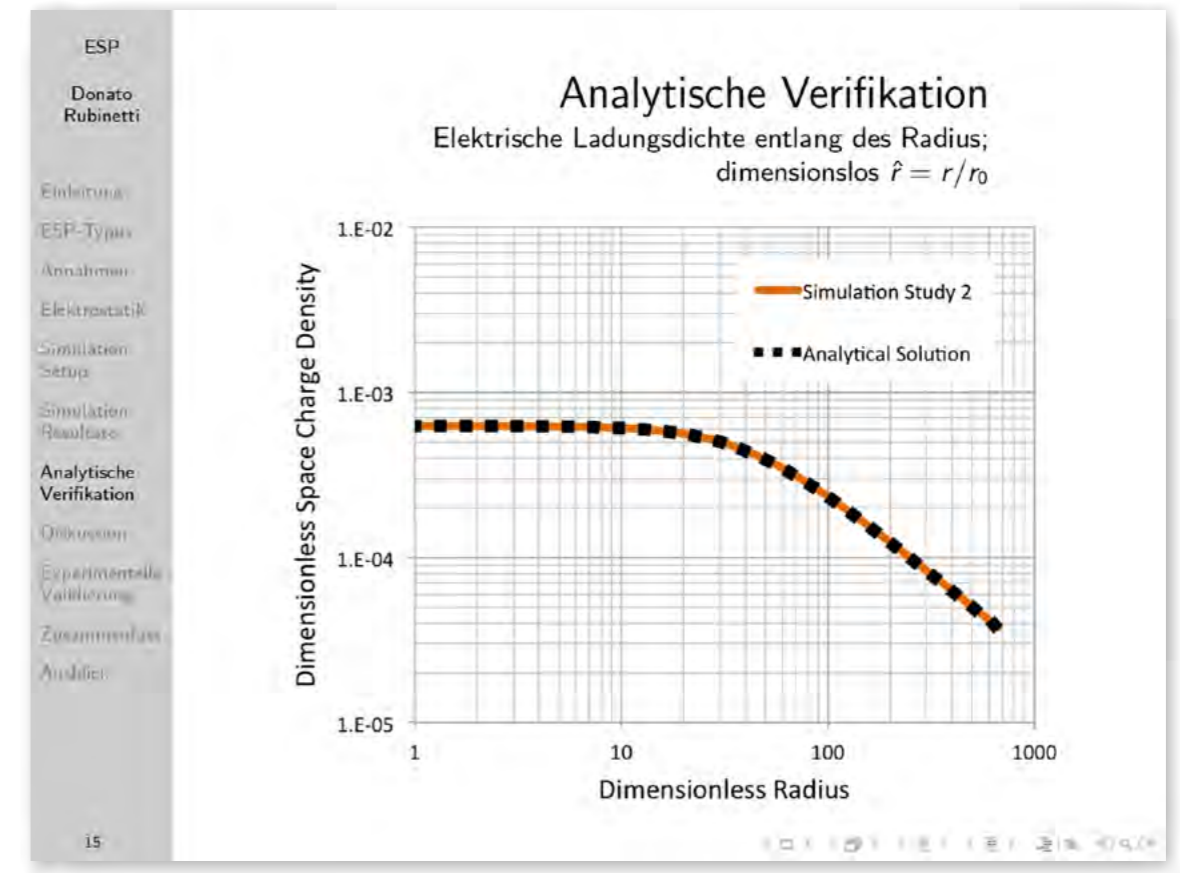
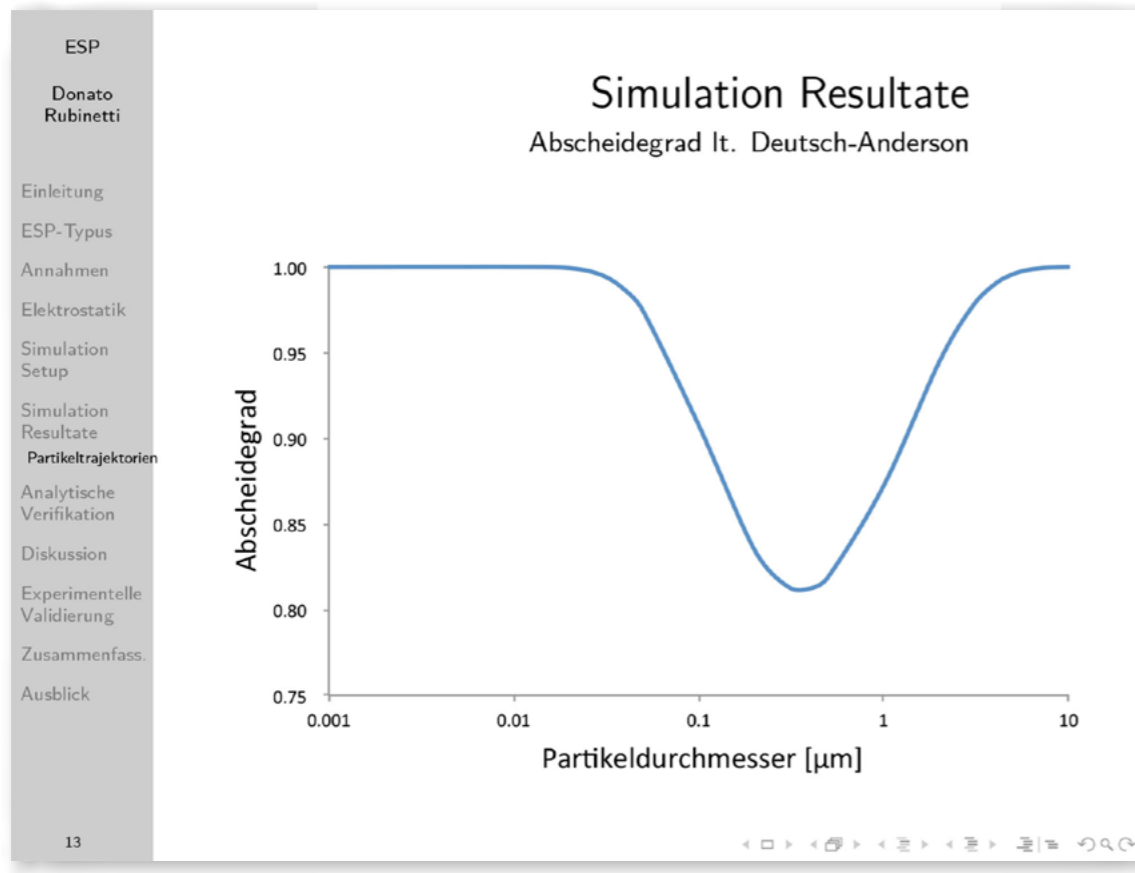
ESP
Donato Rubinetti

Einleitung
ESP-Typus
Annahmen
Elektrostatik
Simulation Setup
Simulation Resultate
Partikeltrajektorien
Analytische Verifikation
Diskussion
Experimentelle Validierung
Zusammenfass.
Ausblick

Simulation Resultate

Partikeltrajektorien

12



ESP
Donato Rubinetti

Diskussion

Strömungssimulation

- reibungsbehaftete Elektrode

Simulationsaufbau

- Iterationsvorschrift - effizient und robust
- Automatisierung des Algorithmus
- Einbezug der diffusiven und konvektiven Terme

Analytische Verifikation

- das Modell ist *mathematisch* korrekt
- experimentelle Validierung ist heikel

16

ESP
Donato Rubinetti

Experimentelle Validierung

Anwendung auf andere Geometrien

Setup

Quelle: Poppner, Marc et al. (2005): Electric Fields coupled with ion space charge. Part 1 + 2. Journal of Electrostatics. Volume 63. S.775-787. Amsterdam: Elsevier.

17

ESP
Donato Rubinetti

Experimentelle Validierung

19

ESP
Donato Rubinetti

Experimentelle Validierung

18

ESP
Donato Rubinetti

Zusammenfassung

Ausgeführte Arbeiten

- Simulation aller relevanten gekoppelten Phänomene im ESP bestehend aus
 - Strömungssimulation
 - Elektrostatik und Ladungserhaltung
 - Partikelaufladung
 - Partikelbewegung und Abscheidegrad

Schlussfolgerungen

- eigene PDGL müssen im Tool definierbar sein
- Konzept numerisch robust und praxistauglich
- analytische Verifizierung erfolgreich
- experimentelle Validierung eher heikel

20

ESP
Donato Rubinetti

Einleitung
ESP-Typus
Annahmen
Elektrostatik
Simulation Setup
Simulation Resultate
Analytische Verifikation
Diskussion
Experimentelle Validierung
Zusammenfass.
Ausblick

Ausblick
Übertragung auf verwandte Anwendungsbereiche

Ladungsbehaftet $\rho_{el} \neq 0$

Ladungsfrei $\rho_{el} = 0$

+ geeignete Randbedingungen

21

Laura Kromer, TU Wien, Wien/Österreich

Regenerierbarer filternder Abscheider für Kleinfeuerungsanlagen

Laura Kromer c/o Thomas Laminger

Getreidemarkt 9/166, 1060 Wien/Österreich

Tel.: +49 (0)178 7979196

E-Mail: Laura.Kromer@gmx.de

Zielsetzung

Ziel unserer Untersuchungen war der Aufbau eines kalten Prüfstandes im Labor der es ermöglicht definierte und konstante Staubkonzentration und Luftvolumenströme zu untersuchen.

Verschiedene schüttfähige Materialien hinsichtlich Druckverlust und Abscheidegrad zu vergleichen und die Beladung der schüttfähigen Materialien zu untersuchen.

Ergebnisse

Die unterschiedlichen Schüttgüter bringen unterschiedliche aber konsistente Ergebnisse.

Beladungsversuche bei verschiedenen Füllhöhen erlaubten die Untersuchung des Druckverlusts und Reingaskonzentration über der Zeit:

- Stäbchenförmige Holzpellets erzielten einen Abscheidegrad von nur 90% bei rund 180Pa Druckverlust.
- Eine Mischung aus Viskosefaserflocken und stäbchenförmige Holzpellets konnte Abscheidegrade von >95% auch bei etwas niedrigerem Druckverlustniveau (150Pa) erreichen.

Bildoptische Aufnahmen über der Zeit der Filterschicht erlaubten das Sichtbarmachen von z.B. Staubstrahlen und ermöglichen eine Strukturanalyse der Schüttung und der Staubbeladung. Ein stetiger Betrieb ist bereits gelungen.

ESP
Donato Rubinetti



Einleitung
ESP-Typus
Annahmen
Elektrostatik
Simulation Setup
Simulation Resultate
Analytische Verifikation
Diskussion
Experimentelle Validierung
Zusammenfass.
Ausblick

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

22

REGENERIERBARER FILTERNDER ABSCHIEDER FÜR KLEINFEUERUNGSANLAGEN

Thomas Laminger
Sebastian Kolmanz
Laura Kromer
Gerd Mauschtz
Technische Universität Wien
Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften
Forschungsbereich Mechanische Verfahrenstechnik und Luftreinhaltung

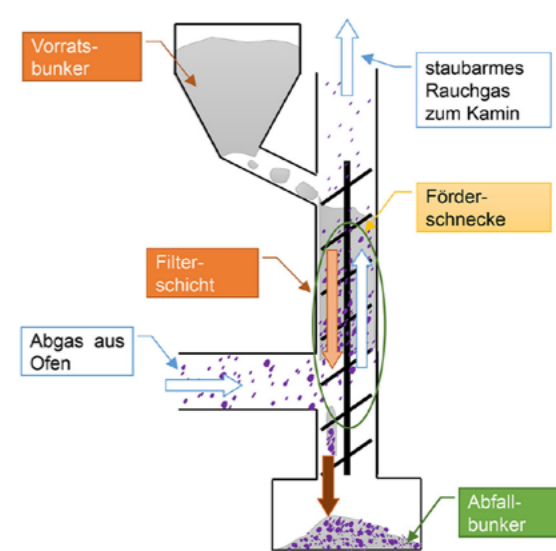
7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“ | 9. März 2016, Leipzig

Regenerierbarer filternder Abscheider

Als Filtermedium dient dabei eine Schicht aus schüttfähigem Material, welches aus einem Vorratsbehälter durch eine Förderschnecke gefördert wird. Die gebildete Filterschicht soll die Staubpartikel aus dem Rauchgaskanal möglichst effizient und bei einem möglichst geringen Druckverlust abscheiden. Die Erneuerung der Filterschicht kann durch Ansteuern der Förderschnecke in Kombination mit einer einfachen Druckverlustmessung über die Filterschicht automatisch geregelt werden.

Vorteile:


- Abscheidegrad über Füllhöhe an die Feuerungsart (bzw. Staubanfall) anpassbar
- Evt. Wiederverwendung des Schüttgutes oder Verbrennung im Ofen
- Einfacher Aufbau (geringe Investitionskosten)
- Möglicher Einsatz von katalytisch wirkenden Schüttgut zur Emissionsminderung von gasförmigen Schadstoffen




Technische Universität Wien
Vienna University of Technology
Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Techn. Biowissenschaften
Institute of Chemical Engineering

Inhalt

- Einleitung
 - Konzept eines regenerierbaren filternden Abscheiders
- Laborprüfstand
 - Aufbau, Messtechnik, Bewertungsmethoden
 - Vergleich verschiedener Materialien als Filterschicht
 - Untersuchungen zur Beladung
- Ausblick

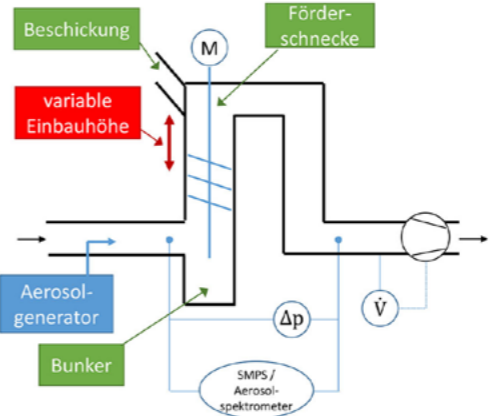



Technische Universität Wien
Vienna University of Technology



Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Techn. Biowissenschaften
Institute of Chemical Engineering

Laborprüfstand





Rahmenbedingungen:


Pelletsofen,
2kg/h Brennstoffstrom,
22m³/h Abgasvolumenstrom,
150mm Rohrdurchmesser

Rußgenerator (Jing Aerosol, MiniCast)
bzw. Banddosierer (Palas, BEG 1000)

SMPS (TSI 3080) bzw. Aerosolspektrometer (Palas, Welas Digital 2000)



Technische Universität Wien
Vienna University of Technology



Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Techn. Biowissenschaften
Institute of Chemical Engineering

Schüttfähige Materialien

Verwendete Materialien

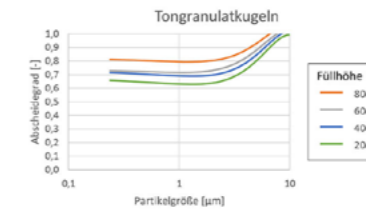
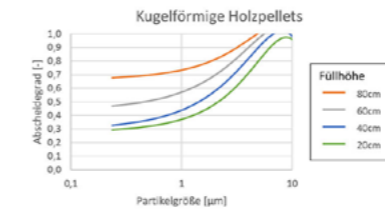
- Stäbchenförmige Holzpellets (Ø6-8mm, 4-6cm)
- Kugelförmige Holzpellets (Ø12-15mm, 1-2cm)
- Tongranulatkugeln (Ø5-8mm)
- Viskosefaserflocken (Ø ~20µm, 5mm)

Vergleich und Bewertung

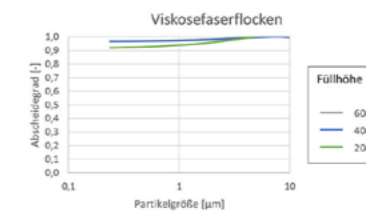
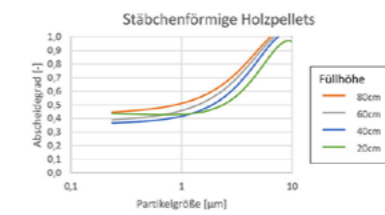
Für verschiedene Füllhöhen:

- Druckverlust
- Fraktionsabscheidegrad (Roh- und Reingaspartikelgrößenverteilung und -konzentration)
- Quality-Faktor

Fraktionsabscheidegrade

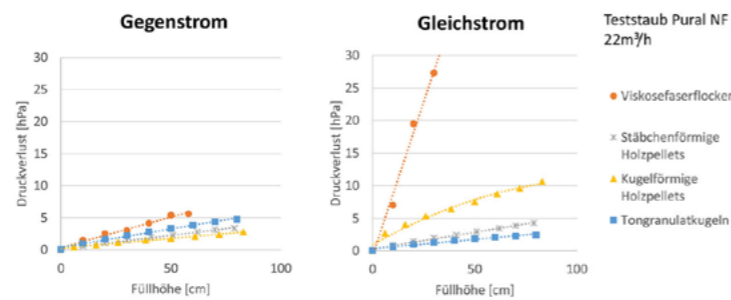


Teststaub Pural NF
22m³/h (Gegenstrom)

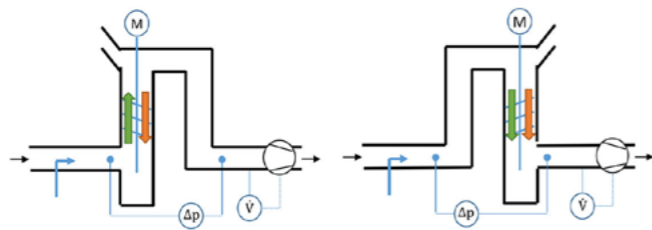


Viskosefaserflocken zeigen die vergleichsweise höchsten Abscheidegrade (>90%) auch bei geringen Füllhöhen

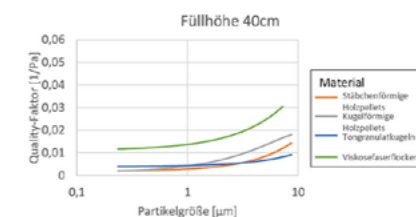
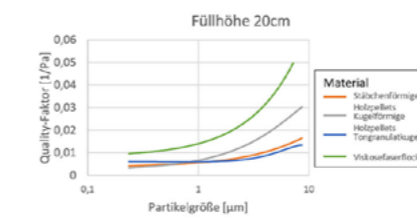
Druckverlust über Füllhöhe



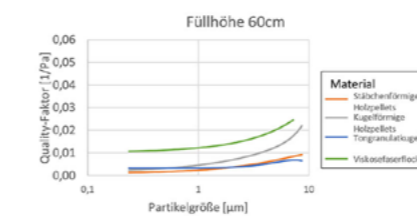
Strukturinstabile Materialien (Viskosefaserflocken und Kugelförmige Holzpellets) verdichten sich im Gleichstrom.



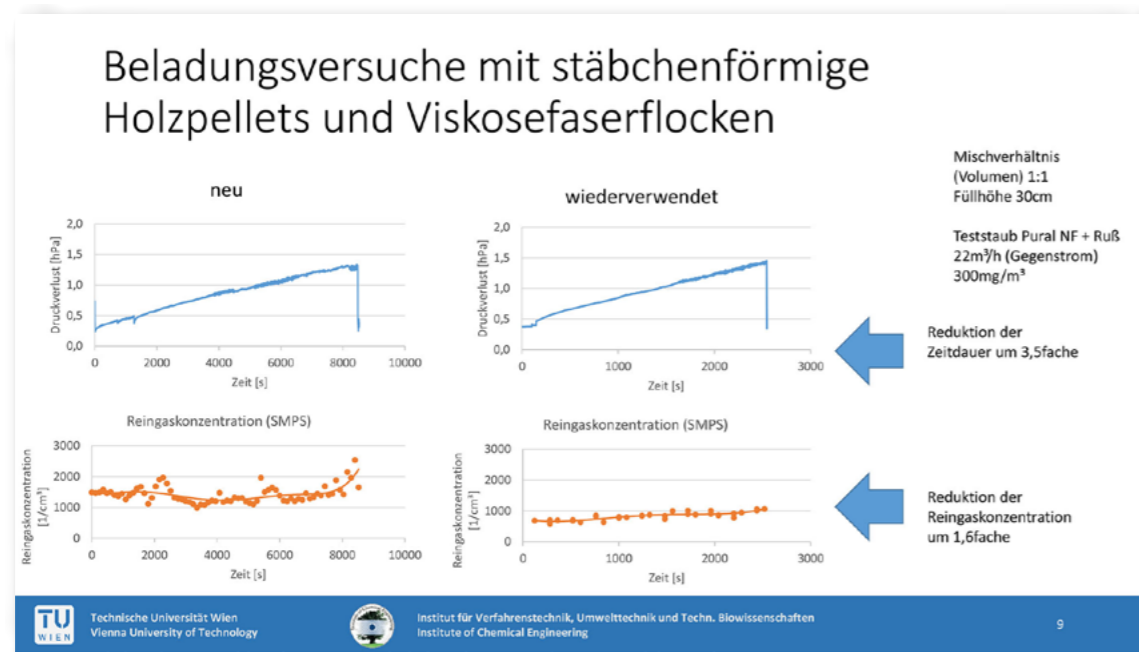
Quality-Faktor



Teststaub Pural NF
22m³/h (Gegenstrom)



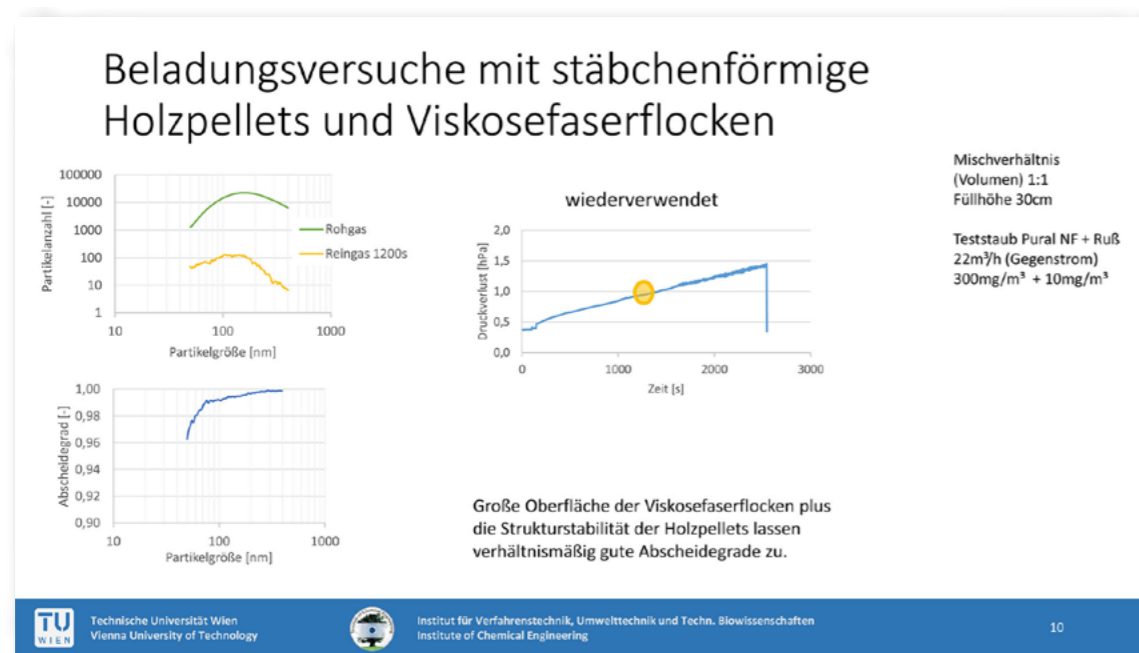
Viskosefaserflocken zeigen die vergleichsweise höchsten Quality-Faktoren. Die großen inneren Oberflächen führen zu einem überproportionalen guten Abscheidegrad.



Ausblick

- Auswahl und Untersuchung weitere Materialien (möglichst energetisch verwertbar).
- Materialbedarfsermittlung mittels Beladungsversuche (unter Berücksichtigung einer möglichen Wiederverwendung).
- Aufbau einer feuerfesten Ausführung und Untersuchungen an einer Feuerstelle.

TU WIEN Technische Universität Wien
Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Techn. Biowissenschaften
Institute of Chemical Engineering



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

TU WIEN

Daniel Jud, OekoSolve AG, Plons/Schweiz

OekoSolve: Aktuelle Produkte

Daniel Jud

OekoSolve AG, Geschäftsleitung

Schmelziweg 2, 8889 Plons/Schweiz

OekoSolve

Die OekoSolve AG hat ihren Sitz in Plons (Mels SG/CH). Das Unternehmen beschäftigt 16 Mitarbeitende, wovon zwei Lernende. Sie verfügt über ein breites Produktsortiment, welches erlaubt, Heizungsanlagen im Leistungsbe- reich bis 1'000 kW mit Filtern auszurüsten.

Kernkompetenzen

Elektrotechnik ist die Kernkompetenz von OekoSolve. Die Steuerung, die Software und das Hochspannungsmodul, sowie der Isolator und die Elektroden sind vollständige Eigenentwicklungen.

Nebst den Kernkomponenten werden bei OekoSolve auch die Gehäuse und die Mechanik des OekoRona vollständig entwickelt und hergestellt.

Produkte

Seit 2015 kann der bisher auf der Kaminmündung montierte Rohrelektroabscheider OekoTube auch direkt im Kesselraum montiert werden. Der abgeschiedene Feinstaub kann mit einem herkömmlichen Kaminbesen entfernt werden, ohne die flexible Elektrode entfernen zu müssen. Für Anlagen mit höherer Staubfracht (Hackgut) ist eine automatische Abreinigung verfügbar, da sonst mehrere manuelle Reinigungen in einer Heizsaison durchgeführt werden müssten.

Aus der Erfahrung mit dem OekoTube wurden Elektrofilter mit automatischer Reinigung für einen grösseren Leistungs- bereich entwickelt und vermarktet. Der OekoRona, ein Rohrelektrofilter mit mechanischer Reinigung, wurde vollständig von OekoSolve entwickelt und Ende 2013 auf den Markt gebracht. Diese Abscheider werden standard- mäßig bis zu einer Leistung von 300kW vor allem bei Hackschnitzelfeuerungen eingesetzt. Um Feuerungen bis 1 MW abzudecken, hat OekoSolve den Elektroabscheider OekoRona M entwickelt. Hauptmerkmal vom OekoRona M ist ein modularer Aufbau, welcher eine einfache Einbringung und Anpassungen der Baugrössen ermöglicht.

KONZEPTE VERSCHIEDENER HERSTELLER



OekoSolve – Die Spezialisten für Feinstaubfilter.

Feinstaubfilter für Holzfeuerungen

OekoSolve

2016 1

Inhaltsverzeichnis

- OekoSolve AG
- Portfolio Elektrofilter
- OekoTube
- OekoTube-Inside
- OekoRona Mini
- OekoRona
- OekoRona M

OekoSolve

2016 2

OekoSolve AG

- Standort Plons (Mels SG) seit 2013
- Zusätzliche Räumlichkeiten bezogen im Herbst 2015
 - Lager
 - Produktionshalle
 - Elektronikproduktion







OekoSolve

2016 3

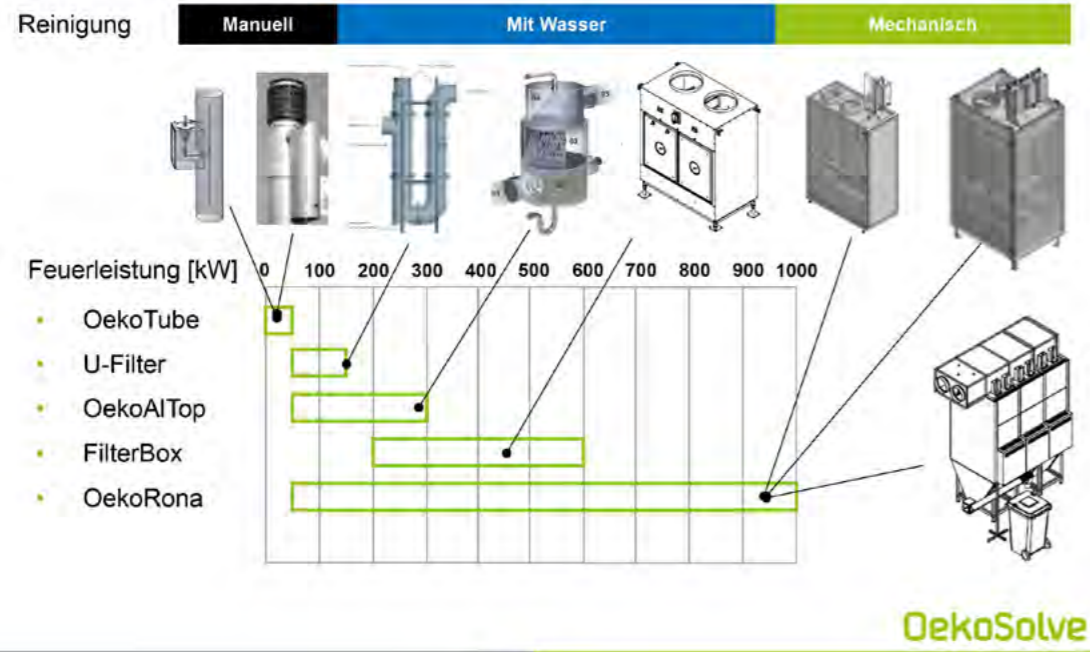
Teststand OekoSolve (Kessel Schnitzel 70 kW)




OekoSolve

2016 4

Portfolio Elektrofilter OekoSolve



2016

OekoTube-Inside bis 50kW

- Elektrostatischer Partikelabscheider
- Für Kleinholzfeuerungen bis 50 kW
- Abscheidewirkung 70% – 90%
- Montage im Kesselraum
- Einfache Reinigung durch den Kaminfeger
Die Elektrode muss nicht demontiert werden!
- Automatischer Betrieb
- Robuste Bauweise



OekoTube-Inside

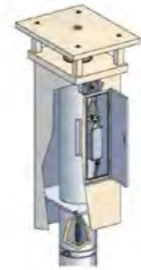
OekoSolve

2016

7

OekoTube | Anlagen bis 40 kW

- Für Kleinholzfeuerungen bis 40 kW
- Montage auf Kaminmündung
- Einfache Reinigung durch den Kaminfeger
Keine Schraube muss gelöst werden !!!
- Automatischer Betrieb



Integrierte Version



OekoSolve

2016

6

OekoTube-Inside für den Kesselraum



Pelletkessel 18 kW



Pelletkessel 24 kW



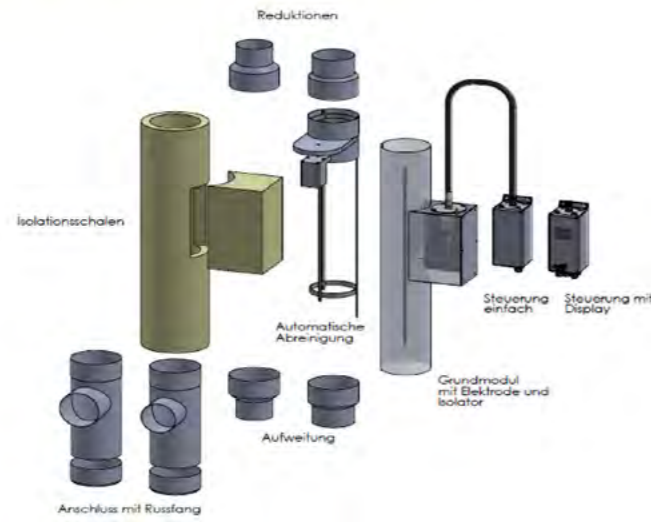
Stückholzkessel 25 kW

OekoSolve

2016

8

OekoTube-Inside: Zubehör



OekoSolve

2016

9

OekoTube-Inside mit Sattelflansch



für die Nachrüstung des OekoTube-Inside

OekoSolve

2016

11

OekoTube-Inside für das Dachgeschoss



OekoSolve

2016

10

OekoRona Mini

- Bis 50 kW
- Für Automatische Feuerungen (Hackgut)
- Automatische Abreinigung
- Abscheidewirkung 70% – 90%
- Montage im Kesselraum
- Automatischer Betrieb



OekoSolve

2016

12

OekoRona: Elektrofilter mit mechanischer Abreinigung bis 300kW

- Röhrenelektrofilter
- Mechanische Reinigung
- Einbringung durch Normtür
- Optional mit Bypass
- Automatische Ascheaustragung möglich
- Abscheidegrad bis 90 %
- Material: 1.4301/ 1.4404

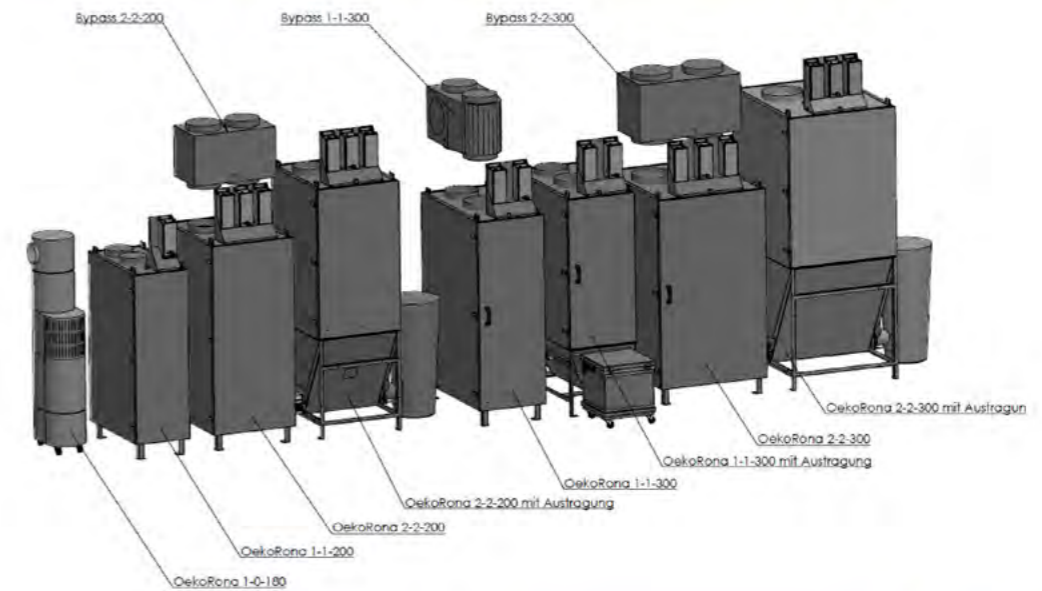


OekoSolve

2016

13

OekoRona: Modulare Bauweise bis 300 kW



OekoSolve

2016

15

Unterhalt & Wartung OekoRona

- Staubschubladen leeren
 - Innenleben reinigen
- Empfehlung Staubsauger
- Wartungsarbeiten können grösstenteils vom Betreiber oder Kaminkehrer übernommen werden.



OekoSolve

2016

14

OekoRona: Einbaubeispiele



Schnitzel 110 kW



Schnitzel 180 kW



Pellet 500 kW

OekoSolve

2016

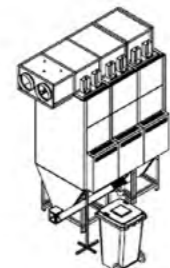
16

OekoRona M: Modulare Bauweise 200 – 1'000 kW

- Kompakte Filterlösung
- Einfach skalierbar
- Verschiedene Austragungen / Bauhöhen
- Serviceraum 1m vor Filter
- Austragung mit Stopf- oder Steigschnecke
- Druckverlust abhängig von Anströmung und Volumenstrom



Bauhöhe 2600 mm



Bauhöhe 3200 mm



Viessmann (Köb): IT-Carvico, Pyrot 540 kW

OekoSolve

2016

17

OekoRona M: Einbaubeispiele



Wien AT:
Doppelanlage Herz 1'000 + 300 kW
Brennstoff Hackschnitzel W30
OekoRona 5M + 2M



Beladung LKW bei OekoSolve



Einbringung Filter durch Deckenöffnung

OekoSolve

2016

19

OekoRona M: Einbaubeispiele



Erlinsbach AG:
Doppelanlage Schmid 360 + 550 kW
Brennstoff Hackschnitzel W45
OekoRona 2M + 4M



Schaan FL:
Mawera 850 kW
Hackschnitzel W35
OekoRona 5M – niedere Bauform
Montage in Einzelteilen

OekoSolve

2016

18



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

OekoSolve

2016

20

Rolf Wagenfeld, Kutzner-Weber, Maisach

Kutzner+Weber: Aktuelle Produkte, Stand der Entwicklung, Zulassung und Marktsituation aus Sicht von K+W

Kutzner + Weber

Frauenstraße 32, 82216 Maisach

Tel.: +49 (0)8141 957-0

Fax: +49 (0)8141 957-500

E-Mail: info@kutzner-weber.de

Web: www.kutzner-weber.de

Die Raab-Gruppe hat im letzten Jahr ihr Produktportfolio im Bereich Zubehör für Abgasanlagen durch den Zukauf der Fa. NET – Neue Energie Technik, die sich mit Herstellung und Vertrieb von Abgaswärmetauschern beschäftigt, erweitert. Nun ist man Komplettanbieter für die Abgasführung vom Kesselstutzen bis zur Mündung.

Im abgelaufenen Jahr konnte Kutzner + Weber aufgrund der seit März 2015 neu aufgelegten Förderprogramme für Partikelabscheider mit dem Produkt „AIRJEKT 1“ Absätze im vierstelligen Bereich verbuchen. Dies war möglich, da es sich bei diesem Produkt um das flexibelste am Markt handelt. Der „AIRJEKT 1“ kann bei handbeschickten Holzfeuerstätten bis 25 kW und bei automatisch beschickten Feuerstätten bis 50 kW eingesetzt werden. Er kann bei metallischen und keramischen Abscheidestrecken eingesetzt werden. Weiterhin ist ein Einbau im Verbindungsstück, im senkrechten Bereich der Abgasanlagen, an der Mündung, sowie in doppelwandigen Abgasanlagen an der Außenwand möglich. Das Produkt ist allgemein bauaufsichtlich zugelassen und förderfähig nach Bafa.

Die Baureihen „AIRJEKT 25/50“ mit automatischer Abreinigung werden voraussichtlich im Juli bzw. im September zur Verfügung stehen. Bei diesem Produkt wird das zur Abreinigung verwendete Wasser nicht in das Abwasser eingeleitet, sondern durch die Abgaswärme verdunstet. Der in der Auffangschale gesammelte Rest kann dann einfach entsorgt. Je nach Betriebsweise und Staubgehalt ist dies voraussichtlich ein bis zweimal im Jahr der Fall. Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für die Produkte ist beantragt.

Weiterhin besteht eine Kooperation mit dem Fraunhofer Institut für Bauphysik bezüglich eines Forschungsvorhabens, wobei die Kombination eines AIRJEKTES mit einem Zyklon-Abscheider untersucht wird. Die ersten Voruntersuchungen dazu sind sehr vielversprechend.

Zur Zeit gibt es in Deutschland sechs allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen, wobei das Prüfprogramm des Deutschen Instituts für Bautechnik um die DIN SPEC 33999 ergänzt wurde. Alternativ zum bisherigen Prüfprogramm kann nun auch danach geprüft werden, wenn der Hersteller dies wünscht.

Abschließend bleibt zu sagen, dass die Verbreitung dieser Abgasreinigungstechnik nur durch Förderprogramme vorankommt. Erst seit Auflage des Förderprogramms der Bafa sind durch die Hersteller nennenswerte Absatzzahlen zu realisieren. Somit bleibt zu hoffen, dass das Förderprogramm weiter fortgeführt wird, um auch eine Weiterentwicklung dieser Technik zu ermöglichen.

RaabGruppe

KW
KUTZNER + WEBER

Raab

NET

07. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerstätten“

Dipl.-Ing.(FH) Dirk Böhlinger
Technischer Leiter Raab-Gruppe

Agenda

RaabGruppe

1. Die RaabGruppe - Neuigkeiten
2. Übersicht Abscheidesysteme Kutzner+Weber
3. Airjekt 1
4. Airjekt 25/50
5. Forschungsprojekt mit Fraunhofer IBP Stuttgart
6. Situation Zulassungen für Staubabscheider in Deutschland

RaabGruppe

Raab-Gruppe Ihr Systemlieferant



Joseph Raab GmbH & Cie. KG

- Legt die Abgasanlage aus
- Bindet alle Komponenten mit ein
- Betreut das Projekt
- Liefert Edelstahlschornsteine
- Bietet die Montage mit Partnern



NET Neue Energie-Technik GmbH

- Rippenrohrwärmetauscher
- Glattröhrwärmetauscher
- Plattenwärmetauscher
- Amortisation der Anlage durch Energieeinsparung



Kutzner + Weber GmbH

- Liefert Abgastechnologie
- Sichert den Betrieb der Anlage
- Verhindert Probleme bevor sie entstehen

3

RaabGruppe

Der Partikelabscheider Airjekt 1 für Scheitholz, Pellets und Hackgut



5

RaabGruppe

Übersicht über Staubabscheidesysteme Kutzner+Weber

Typ	Manuelle Biomassefeuerung [kW]	Autom. Biomassefeuerung [kW]	Bafa-Förderung	Zulassung	Bemerkung
AIRJEKT 1	25	50	✓	✓	manuelle Abreinigung
AIRJEKT 25	25	25		beantragt	automatische Abreinigung
AIRJEKT 50	50	50		beantragt	automatische Abreinigung
Fraunhofer Airjekt +Zyklon	Offen	Offen			automatische Abreinigung Forschungsvorhaben in Arbeit

4

RaabGruppe

Neuerungen AIRJEKT 1

- Auch an keramischen Abgasanlagen verwendbar
- Mindestens 2 m Abscheidestrecke aus Metall oder Keramik
- Abscheidefläche nach dem Airjekt 1 für keramische und metallische Leitungen:
 - automatisch beschickt: mindestens 0,8 m²
 - Handbeschickt: mindestens 1,5m²
- Ausblick: Verwendung bei raumluftunabhängigen Geräten



6

RaabGruppe

Flexibelste Einbaumöglichkeiten für den Airjekt 1

- Einbau im Verbindungsstück
- Einbau im senkrechten Teil der Abgasanlage
- Einbau an der Mündung
- Einbau außen in der doppelwandigen Abgasanlage

7

Der Partikelabscheider Airjekt 25 für Heizkessel mit Pellets, Hackgut und Scheitholz

RaabGruppe

- Für Automatisch beschickte Anlagen bis 25 kW
- Automatische Abreinigung
- Abscheidegrad > 70%
- Weitere Größen geplant
- Leistung bis 50kW – Airjekt 50
- Beliebig kaskadierbar



9

Fazit Airjekt 1

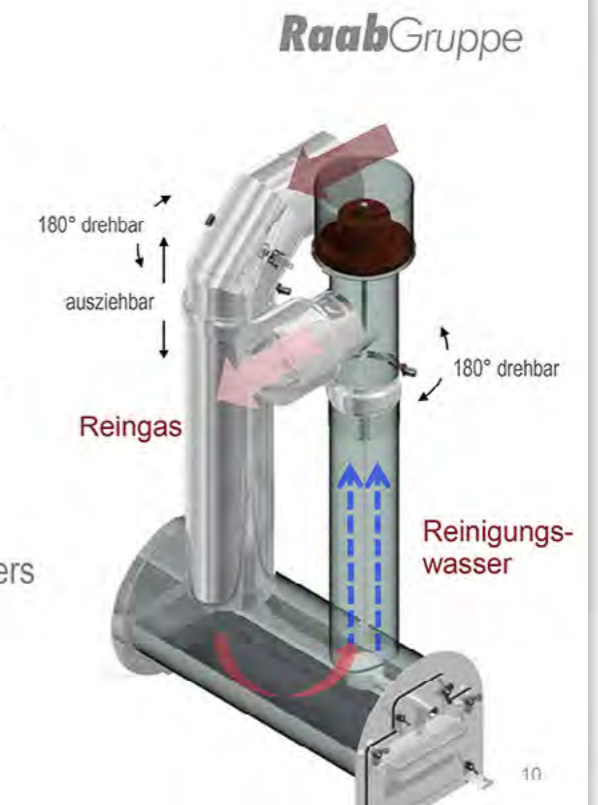
RaabGruppe

- Förderfähig mit 750 € bei Nachrüstung in Bestandsanlagen
- Förderfähig bei Umrüstung auf Biomasse mit 1750 €, bei Neubauten sogar 3500€
- Hoher Abscheidegrad von bis zu **90 %**
- Zugelassen unter Z-7.4-3442 DIBT und geprüft bei TÜV Süd Industrieservice
- Flexibel in alle Abgasanlagen integrierbar
- Einfache Nachrüstung bei bestehenden Anlagen möglich

8

Funktionsweise Airjekt 25, 50...

- Vorabscheidung grober Partikel durch Umlenkung
- Partikelaufladung an Sägezahnelektrode
- Abscheidung an Rohrwand durch elektrisches Feld
- Automatische Abreinigung durch Wasserstrahl
- Eintrocknen des Reinigungswassers über das heiße Abgas



10

Beispiel Einbau hinter 25 kW Pelletkessel



11

Fazit Airjekt 25,50...

- Förderfähig mit 750 € bei Nachrüstung in Bestandsanlagen
- Förderfähig bei Umrüstung auf Biomasse mit 1750 €, bei Neubauten sogar 3500€
- Dauerhaft hoher Abscheidegrad von über 70 %
- Geringer Wartungsaufwand dank automatischer Abreinigung
- Zulassung DIBT beantragt
- Bei allen Kesselanlagen nachrüstbar
- Verfügbarkeit:
 - -Airjekt 25 ab Juli 2016
 - -Airjekt 50 ab September 2016

12

Behälter mit abgereinigtem und eingetrocknetem Staub



Forschungsvorhaben mit dem Fraunhofer Institut für Bauphysik


- Airjekt in Verbindung mit einem Zyklonabscheider
- Erste Voruntersuchungen gemacht
- Weitere Untersuchungen folgen

14

RaabGruppe

Situation Zulassungen

- Zur Zeit gibt es in Deutschland sechs allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Staubabscheider
- Das Prüfprogramm für Staubabscheider wurde ergänzt um die Möglichkeit der Prüfung nach DIN SPEC 33999
- Messung nach VDI 4207 Bl. 2 nach 4 m hinter dem elektrostatischen Staubabscheider



15

RaabGruppe

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!




17

RaabGruppe

Partikelabscheider Förderung

Art des Wärmeerzeugers	Neubau		Bestandsgebäude	
	ohne Partikelabscheider	mit Airjekt 1	ohne Partikelabscheider	mit Airjekt 1
Pellet-Öfen mit Wassertasche	0 €	2.000 €	mind. 2.000 €	mind. 3.000 € max. 4.000 €*
Pellet-Kessel	0 €	3.000 €	mind. 3.000 €	4.500 €
Pellet-Kessel mit einem Pufferspeicher von mind. 30 l/kW	0 €	3.500 €	mind. 3.500 €	5.250 €
Hackschnitzelheizung mit einem Pufferspeicher von mind. 30 l/kW	0 €	3.500 €	3.500 €	5.250 €
Scheitholzvergaserkessel mit einem Pufferspeicher von mind. 55 l/kW	0 €	2.000 €	2.000 €	3.000 €

Quelle: Bafa



16

RaabGruppe

Kutzner + Weber GmbH
Frauenstraße 32
82216 Maisach

Telefon: +49 (0) 8141 - 957 - 0
Telefax: +49 (0) 8141 - 957 - 512

E-Mail: info@kutzner-weber.de
Internet: www.kutzner-weber.de



18

Ivo Kastl, Schröder Abgastechnologie, Kamen

Schröder: Verfügbare Staubabscheidersysteme, Abreinigungsverfahren und Staubabscheider für die Imagewerbung

Ivo Kastl

Schröder Abgastechnologie

Hemsack 11-13, 59174 Kamen

Tel.: +49 (0)2307 973 00-0

Fax: +49 (0)2307 973 00-55

E-Mail: i.kastl@schraeder.com

Web: www.schraeder.com/schraeder-abgastechnik/home

Folgende Themen würden wir gerne in Vortragsform den Teilnehmern vor- bzw. zur Diskussion stellen:

Informationen zu den verfügbaren Staubabscheidersystemen von Schröder

- Systeme bis 50 kW
- Systeme bis 300 kW
- Systeme > 300 kW Feuerungswärmeleistung

Mechanische vs. Automatische Abreinigung mit Wasser.

- Automatisch, mechanische Abreinigung
- Abreinigung mit Wasser
- Vor- u. Nachteile beider Systeme
- Einsatzgebiete und Erfahrungen

Staubabscheidung bei Biomassefeuerungen für die Imagewerbung nutzen!

- Einsatz regenerativer Energieträger und saubere Luft gerade in Zeiten niedriger Preise für fossile Brennstoffe!



Verfügbare Staubabscheidersysteme, Abreinigungsverfahren und Staubabscheider für die Imagewerbung

Schröder
Abgastechnologie

Ivo Kastl



Leipzig, 09.03.16



Feinstaubabscheider von Schröder






Bezeichnung	Oeko Tube	U-Filter	AL-Top	Filterbox
Leistung	Bis 50 kW; (DIBt-Zulassung)	Bis 150 kW	Bis 300 kW	Bis 600 kW
Brennstoff	<ul style="list-style-type: none"> • Stückholz • Pellets • Hackschnitzel 	<ul style="list-style-type: none"> • Stückholz • Pellets • Hackschnitzel 	<ul style="list-style-type: none"> • Pellets • Hackschnitzel 	<ul style="list-style-type: none"> • Pellets • Hackschnitzel
Reinigung	Manuell	Automatische Abreinigung mit Wasser		
Abscheidewirkung	75 – 95 %	Bis 70 %	65 – 85 %	Bis 90 %

Feinstaubabscheider von Schröder



NEU





Bezeichnung	Filterbox-S	OekoTube Inside
Leistung	bis 300 kW	Bis 50 kW
Brennstoff	<ul style="list-style-type: none"> • Stückholz • Pellets • Hackschnitzel 	<ul style="list-style-type: none"> • Stückholz • Pellets • Hackschnitzel
Reinigung	Automatisch mechanisch	Manuell durch den Kaminkehrer / Betreiber
Abscheidewirkung	75 – 85 %	70 - 95 %

Schröder FILTERBOX-S



- Baugrößen modular inkl. Bypass
- Geringer Flächenbedarf
- Abgasein- u. austritt seitlich
- Betriebsvolumenstrom 450 – 1.350 m³/h
- Kaskadierbar
- Max. Leistungsaufnahme 150 W
- 230 V AC / 16 A
- Max. Spannung Elektrode 30 kV
- Geräusch Abreinigung max. 75 db(A)
- Staubentsorgung manuell, optional über automatische Austragung
- Abscheideleistung 75 – 85 %



Weiterentwicklung: Spanner Re² SFF100 zu Schröder FilterBox-S




➔


➔

➔


- Strömungsoptimierung
- Reduzierung der Abmessung
- Anpassung der Steuerung

- Reduzierung des Stromverbrauch
- Fokus auf Montage und Wartungsfreundlichkeit

Vor- & Nachteile bei nasser und trockener Abreinigung



Nasse Abreinigung	Trockene Abreinigung
+ voll automatisierbar	+ kein Wasserverbrauch
+ kein Handling der Asche	+ keine weitere Behörde involviert
+ äußerst geräuscharm	+ simplere Bauweise
+ längere Wartungszyklen	
- Wasserverbrauch	- Entleerung der Aschetonne
- evtl. Kontakt mit unterer Wasserbehörde	- Ascheentsorgung
- Verstopfungsproblematik bei schlechten Abstimmungen möglich	- Geräuschentwicklung
	- Geringere Wartungszyklen
	- Direkter Kontakt mit Asche
	- Automatisierungsgrad abhängig von Bauteilen

Das muss nicht sein!

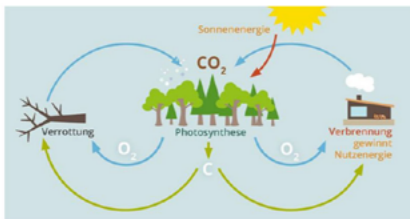
...dass uns der Einsatz von Holz als Brennstoff immer mehr zu schaffen macht. Das ist einerseits gut fürs Klima, aber schlecht für die Luftbelastung...

M. Wichmann-Fiebig, Umweltbundesamt im DLF 17.09.2015



Eine gute Holzfeuerung in Verbindung mit einem Partikelabscheider von Schröder

- Vermindert die Luftbelastung
- Vermeidet Nachbarschaftsstreit
- Macht die Verbrennung von z.B. Holzreststoffen möglich
- Wird gefördert
- Verbessert auf lange Sicht das Image der Holzverbrennung
- Ist CO₂-neutral
- Und verringert den Einsatz fossiler Brennstoffe



Vielen Dank für Ihr Interesse!

Ivo Kastl

Schröder Abgastechnologie

i.kastl@schraeder.com

Dr. Hanns-Rudolf Paur, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen Carola®-Feinstaubabscheider für Holzgefeuerte Heizkessel – Betriebserfahrungen und Weiterentwicklung

Hanns-R. Paur^{1,3}, Andrei Bologa^{1,3}, Wolfgang Aich², Martin Ecker², Hans P. Rheinheimer¹

¹CCA-Carola Clean Air GmbH; Herrmann-von-Helmholtz-Platz 1;

76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Email: carola@carola-clean-air.com,

Web: <http://carola-clean-air.com/index.php/de>

²HDG-Bavaria GmbH; Siemensstraße 22;

84323 Massing im Rottal; Email: info@hdg-bavaria.com

Web: www.hdg-bavaria.com/de/home

³Karlsruher Institut für Technologie; Institut für Technische Chemie;

Herrmann-von-Helmholtz-Platz 1; 76344 Eggenstein-Leopoldshafen; E-Mail: paur@kit.edu

Web: www.itc.kit.edu

Der Einsatz der Carola®- Feinstaubabscheider an Heizkesseln ermöglicht bei der Verbrennung von holzartigen Brennstoffen die sichere Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte der 2. Stufe der 1. BImSchV. Der Carola®-Abscheider lädt die Feinstpartikel in einem kompakten Ionisator auf und scheidet sie auf Edelstahlbürsten ab. Dabei agglomerieren die Feinstpartikel und der entstehende Grobstaub wird in regelmäßigen Abständen abgestreift. Der gesammelte Grobstaub fällt in einen Aschekasten und kann dort entnommen und entsorgt werden. Im Dauerbetrieb an 10 Kesselanlagen wurden die Abscheider an industriellen Testständen und bei Kunden in Industrie, Landwirtschaft und in Privathaushalten betrieben. Die Erfahrungen von Kesselherstellern zeigen ein robustes Betriebsverhalten auch im Teillastbetrieb und beim Einsatz von Brennstoffen mit erhöhten Aschegehalten. Die Abscheidegrade und die Sicherheit der Carola®-Abscheider wurden vom TÜV Süd in umfangreichen Tests belegt. Daraufhin erteilte das DIBt im Jahr 2015 der CCA die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Z-7.4-3504) für die Carola®-Abscheider. Damit können die Abscheider in Deutschland an Holzgefeuerten Kesselanlagen im Leistungsbereich zwischen 25 – 200 kW installiert werden. Die industrielle Produktion der Carola®-Abscheider erfolgt gemäß CAD- Konstruktion in Kleinserien. Jeder Abscheider wird vor der Auslieferung einer Qualitätskontrolle und Dichtigkeitsprüfung unterzogen.

Die Installation und Inbetriebnahme der gebrauchsfertig gelieferten Abscheider im Rauchgasweg zwischen Kessel und Kamin erfordert einen Arbeitsaufwand von wenigen Stunden. Die Partikelaufladung und die automatische Reinigung des Abscheiders werden elektronisch gesteuert und überwacht. Im Rahmen von Feldversuchen wurde auch eine direkte Überwachung des Abscheiderbetriebs über das Internet realisiert. Der Abscheider läuft weitgehend wartungsfrei und erfordert nur alle 500 h die Entleerung des Aschekastens. Bei Hackschnitzelkesseln ermöglicht der Carola®-Abscheider auch den Einsatz kostengünstigerer Brennstoffqualitäten bei gleichzeitiger Einhaltung des Feinstaubgrenzwerts. Eine Kalkulation der Investitions- und Betriebskosten der gesamten Anlage zeigt, dass die verminderten Brennstoffkosten die Kosten des Abscheiders bei Kleinanlagen ausgleichen und im günstigsten Fall sogar Einsparungen möglich sind.



Abbildung 1: 240 kW- Hackgutkessel mit Elektroabscheider

Carola®-Feinstaubabscheider für Holzgefeuerte Heizkessel – Betriebserfahrungen und Weiterentwicklung *

Hanns-R. Paur - KIT



KIT



KIT
Karlsruher Institut für Technologie



HDG Bavaria GmbH




CCA Carola-Clean-Air GmbH




Heizomat



GILLES
BIOMASSEHEIZUNGEN





Energetische Biomassenutzung



Institut für Technische Chemie
Abteilung für Aerosol- und Partikeltechnologie

Stand der Entwicklung

Highlights der bisherigen Arbeiten



- Langzeittests an Prüfständen
- Produktion von Kleinserien
- Adaption Abscheider/Kessel
- Durchführung von TÜV-Prüfungen



Energetische Biomassenutzung

Corona-Aerosolabscheider „Carola“

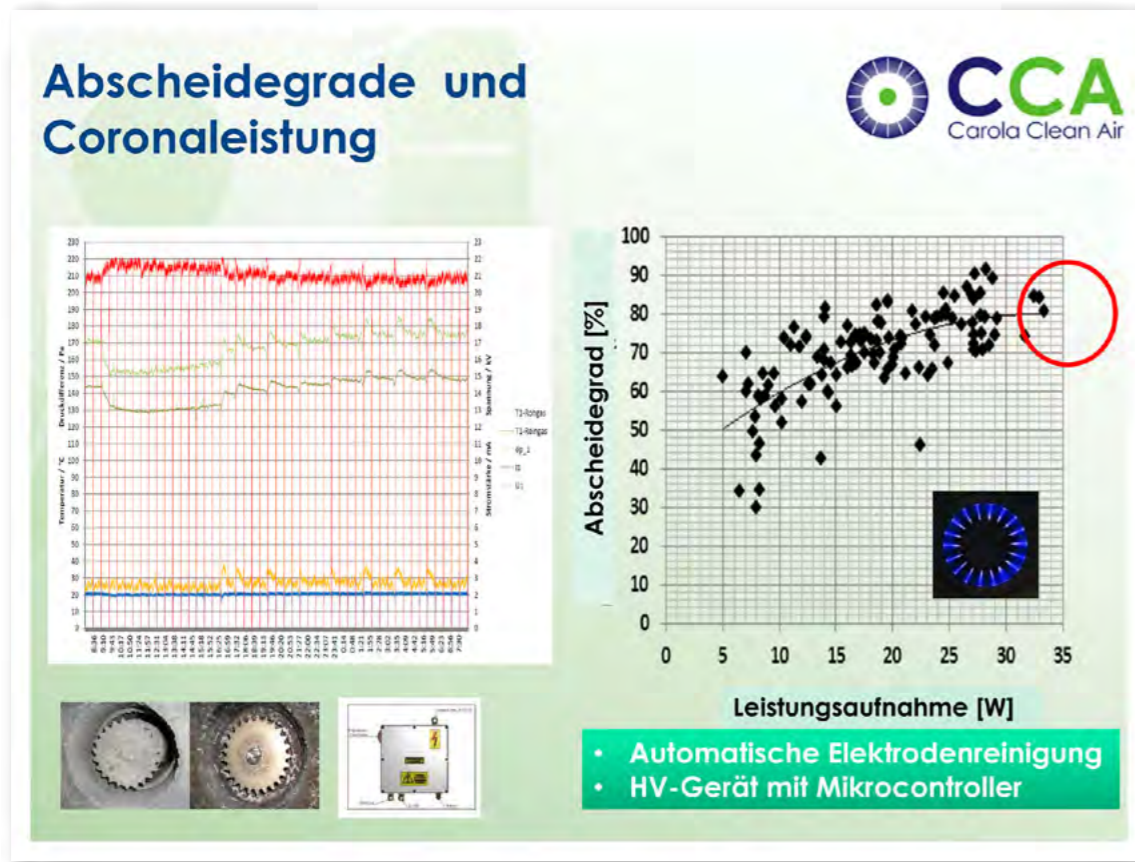



09.03.2016

CCA-Teststand




- 100 kW Hackschnitzelkessel mit Wärmenutzung
- Langzeittests der CCA-Prototypen
- Partikelmessung gemäß VDI 2066 / 1.BImSchV
- Kundenspezifische Optimierung der Geräte



Zulassung in D und CH erteilt

CCA
Carola Clean Air

Deutsches Institut für Bautechnik **DIBt**
Zulassungsnummer: Z-7.4-3504

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen **VKF AEA I**
VKF Brandschutzanwendung Nr. 26515

09.03.2016

Kleinserien Carola-Abscheider

- CCA25, CCA50, CCA100, CCA 200
- Konstruktion mit CAD
- Disposition & Qualitätskontrolle
- Montage von Kleinserien
- Testgeräte an Kesselhersteller ausgeliefert

KIT
Karlsruhe Institute of Technology

Institut für Technische Chemie
Abteilung für Aerosol- und Partikeltechnologie

Feldmeßprogramm 2015 - 2017

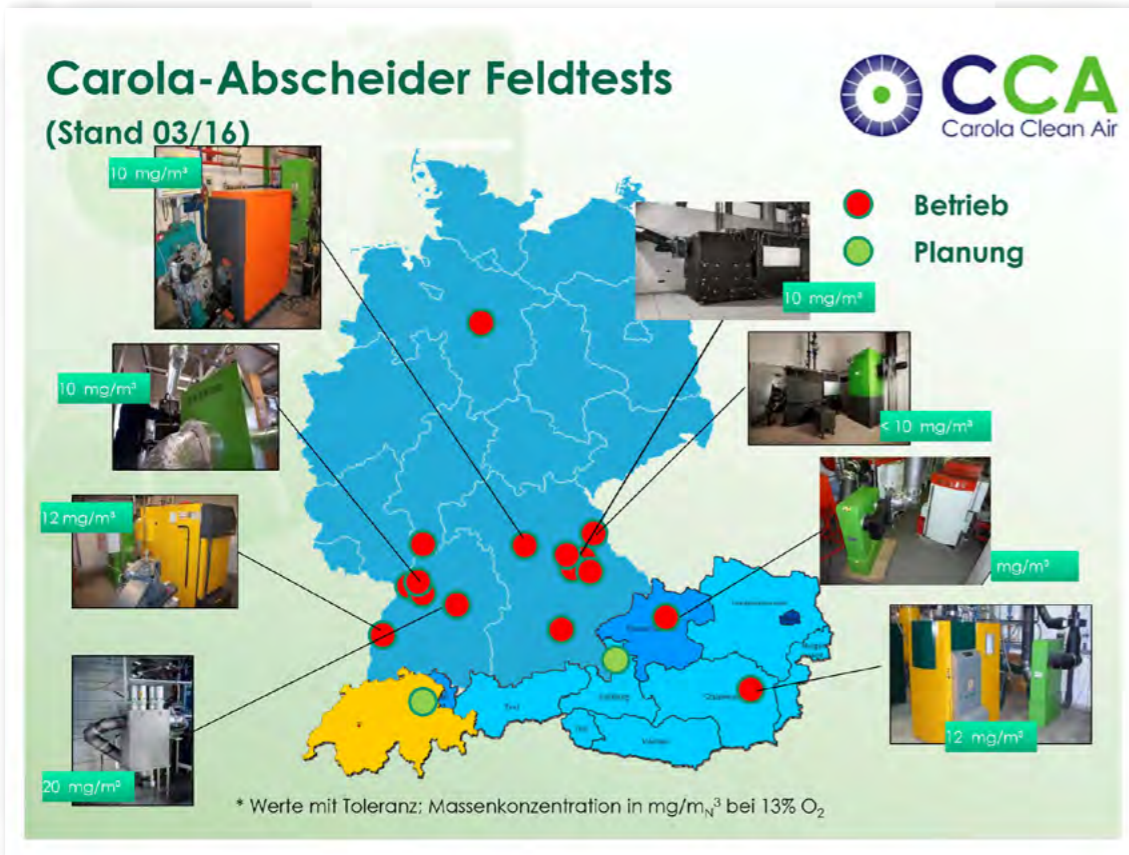
- Weiterentwicklung von Feinstaubabscheidern für Kleinf Feuerungsanlagen der 1.BImSchV
- Betriebserfahrungen bei Feldtests über 2 Heizperioden
- Wirtschaftlichkeit und Entsorgung von Filterstäuben

GFNR
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

KIT
Karlsruhe Institute of Technology

8

Institut für Technische Chemie
Abteilung für Aerosol- und Partikeltechnologie



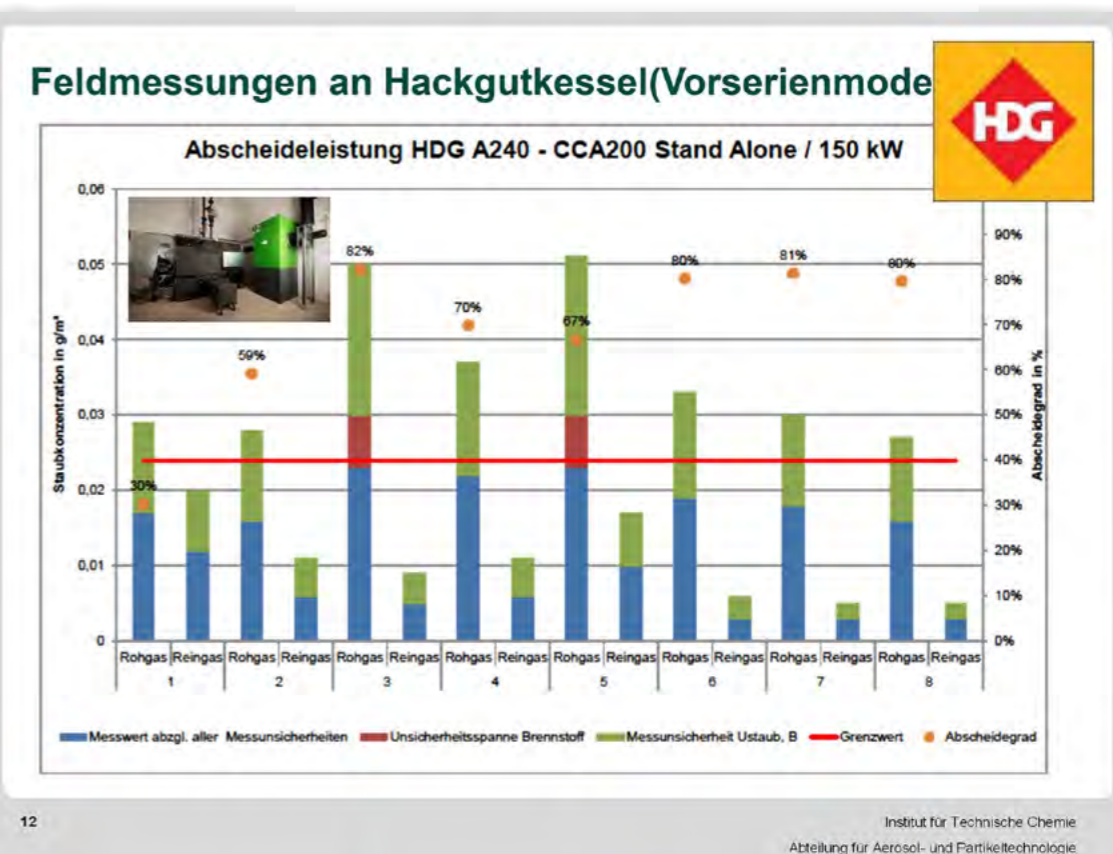
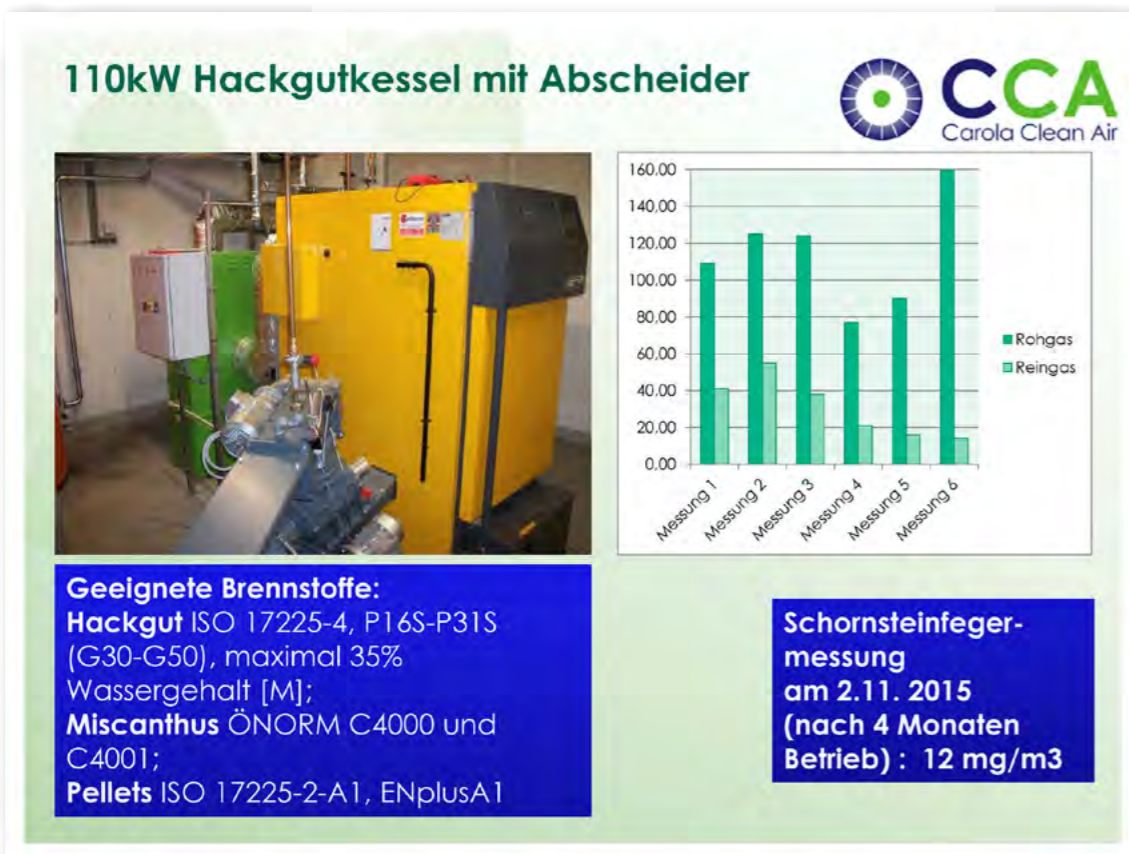
Mitteilung eines Kesselherstellers

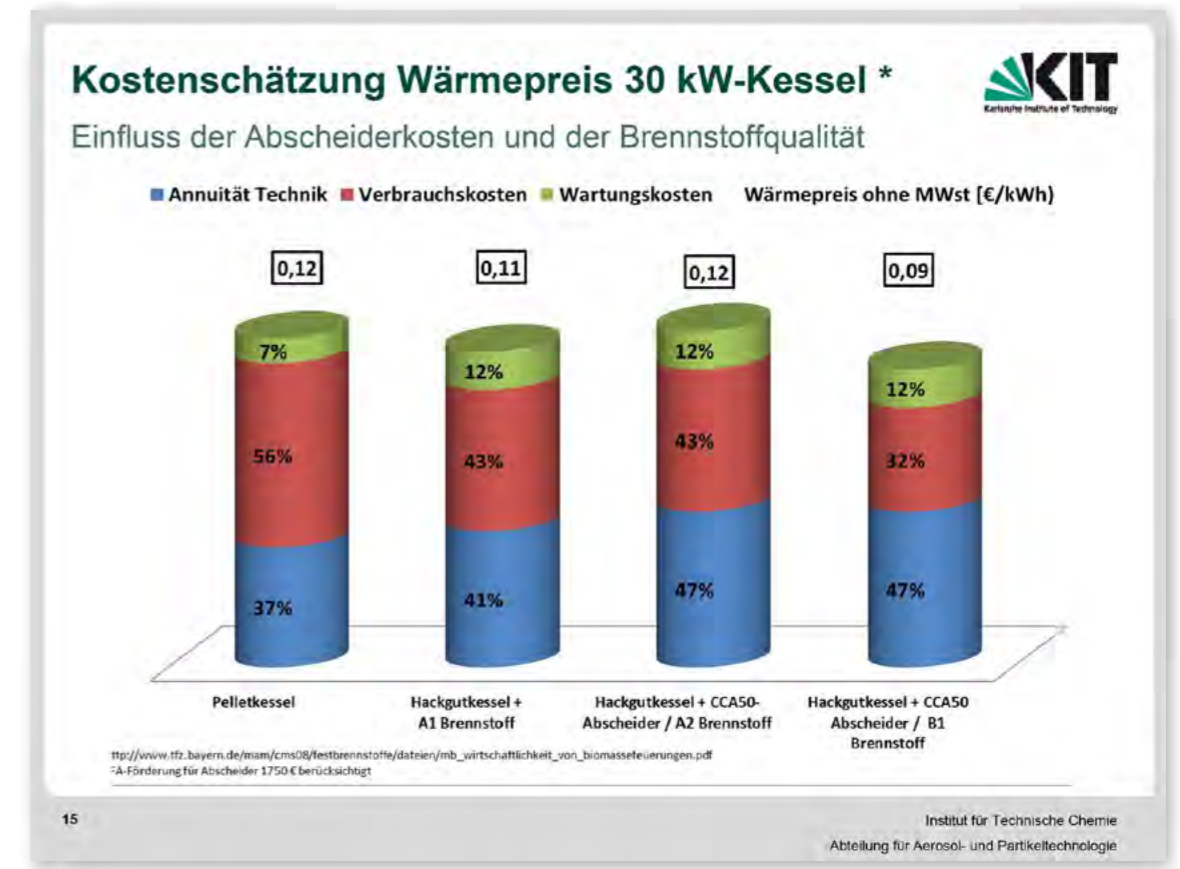
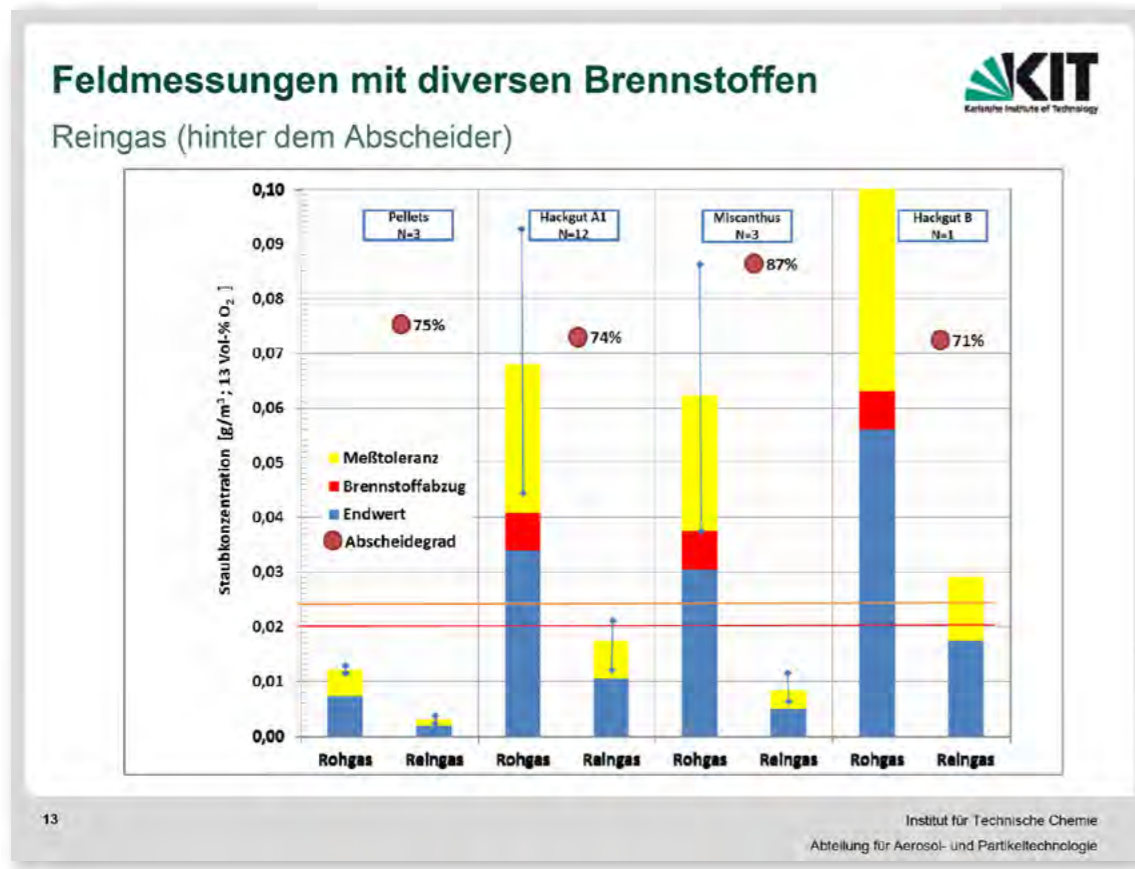
Freigegebener O-Ton

Alle **Heizomat Heizkessel** mit einer Leistung von 15 bis 200 kW garantieren die **Einhaltung der Staubgrenzwerte gem. der 1. BImSchV** in der derzeit gültigen Fassung mit dem Brennstoff A1/A2/B1/B2 P45 M30 gem. EN 17225-4 **in Verbindung mit dem CCA-Partikelabscheider** bei bestimmungsgemäßer Betriebsweise.

Messung am 19.01.2016 (nach 1 Monat Betrieb): 17 mg/m³

CCA
Carola Clean Air





Regelmäßige Wartungs- und Reinigungsarbeiten

Anlagenbetreiber:

- Entleerung Aschekasten alle 500 Betriebsstunden
- Überprüfung der Störungsanzeige / LED 1 x pro Woche

CCA-Service:

- Ausbau und Grobreinigung der Spiralbürsten 1x pro Jahr
- Begutachtung des Zustands der Elektrode, der Innenseite des Ionisationsrohrs, Bürstenzustand und Festigkeit der Schraubverbindung am oberen Isolator / Isolatorstab 1x pro Jahr

Schornsteinfeger:

- Reinigung des Rauchrohrs zwischen Abscheider und Schornstein 2x pro Jahr

120 7. Fachgespräch Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen

Zusammenfassung

- Zugelassene Abscheider für Kesselleistung 25-200 kW verfügbar
- Feldtests zeigen den robusten Dauerbetrieb der Abscheider.
- Kesselanlagen mit Abscheider halten die 1.BImSchV-Grenzwerte ein
- Kosteneffiziente Nutzung von asche-reichen Brennstoffen

16 Institut für Technische Chemie
Abteilung für Aerosol- und Partikeltechnologie

Alexander Berhardt, IZES gGmbH Institut für ZukunftsEnergieSysteme, Saarbrücken

Entwicklung eines elektrostatischen Partikelabscheiders

Alexander Berhardt¹, Bodo Groß¹, Stephan Schulte¹, Daniel Hegele², Thomas Uhle²

¹IZES gGmbH, Altenkesseler Straße 17A1, 66115 Saarbrücken

Tel.: +49 (0)681 9762 861, Fax: +49 (0)681 9762 850, E-Mail: berhardt@izes.de

²Hoval GmbH, Humboldt Straße 30, 85609 Aschheim-Dornach

Web: www.hoval.de

Die IZES gGmbH befasst sich seit rund zehn Jahren mit dem Thema der Emissionsminderung bei Biomassefeuerungen mittels geeigneter elektrostatischer Staubabscheidesysteme. In den Jahren 2011 bis 2014 wurde erfolgreich der Prototyp eines elektrischen Staubabscheidesystems für Biomasseheizkessel entwickelt und in zwei Testkesselanlagen getestet und weiterentwickelt. Dieses System wird derzeit in Zusammenarbeit mit dem Heiztechnikhersteller HOVAL weiterentwickelt und im Rahmen einer Kleinserie an ausgesuchten Anlagen betrieben.

In diesem Kleinserientest, gefördert im Programm „Energetische Biomassenutzung“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, sollen vor allem die Systemeigenschaften „Langzeittauglichkeit, Massentauglichkeit und Breiten- bzw. Nutzertauglichkeit“ nachgewiesen bzw. hergestellt werden, sodass etwa Mitte des Jahres 2017 ein Produkt zur Markteinführung verfügbar ist. Das Herzstück des Filtersystems bildet auf der Hochspannungsseite der Elektrostatische Filter Controller (kurz: EFC). Dieser stellt die benötigte Hochspannung zur Verfügung und regelt mittels eines intelligenten Algorithmus die Funktion des Elektrofilters.

Unter Einbeziehung eigener, sowie ausgewählter Messwerte des jeweils installierten Kessels wird dessen aktueller Betriebszustand ausgewertet und die Betriebsführung des Elektrofilters optimal darauf angepasst. Als weitere Besonderheit kann die Regelungseinheit über multiple Netzwerke aus der Ferne online ausgelesen und gewartet werden, sodass zu jederzeit eine zentralisierte Erfassung und Überwachung aller im Feldtest befindlichen Elektrofilter durchgeführt werden kann. Die zweite Kernkomponente wird durch die Filterstrecke dargestellt. Diese kann entweder bei entsprechender Platzverfügbarkeit direkt im Kessel integriert werden oder als adaptive Lösung ausgeführt werden. Als adaptive Lösung wird die eigens entwickelte und in mehreren Größen ausgeführte Filterbox entweder als Kesselbestandteil direkt in den Abgasweg des Kessels (zwischen letztem Kesselzug und Saugzuggebläse) integriert oder wahlweise nachgeschaltet im Abgasweg installiert.

In der Heizsaison 2014/15 wurden beispielsweise Optimierungsmaßnahmen hinsichtlich einer selbstsicheren Betriebsführung, einer möglichst flexiblen Integrationsfähigkeit des Elektrofiltersystems in bestehende Heizanlagen, sowie insbesondere zahlreiche Versuche bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit durchgeführt. Die durchgeführten Maßnahmen wurden und werden in der aktuellen Heizperiode 2015/16 getestet. Bis zum Ende der Heizsaison 2015/16 sollen insgesamt 16 Kesselanlagen mit dem Vorserienfiltersystem ausgerüstet werden. Das Spektrum der bisher ausgerüsteten Kesselsysteme erstreckt sich über die verschiedenen Kesseltypen „Holzhackschnitzel-, Pellet- und Stückholzkessel“ mit einer Nennwärmeleistung zwischen 8 und 160 kW.

ERFAHRUNGEN AUS AKTUELLEN FORSCHUNGSPROJEKTEN I



Energetische Biomassenutzung

Dies Vorhaben wird bearbeitet von



IntEleKt – Zwischenstand und Erfahrungen aus dem Kleinserientest

FKZ-Nr.: 03KB095A & B

7. Fachgespräch häusliche Partikelabscheider

Alexander Berhardt, IZES gGmbH 09. März 2016, Leipzig

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages


Projekträger:

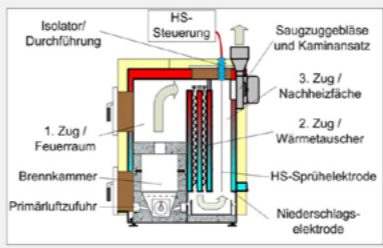


Programmbegleitung:

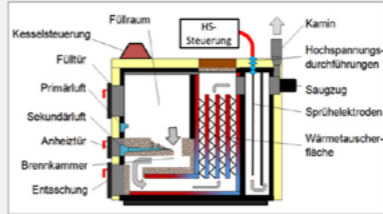


Ansatz





Quelle: Birkomposit



Quelle: Hoval

Direkte Integration

- Bauliche Integration der Filterstrecke direkt in die Nachheizflächen des Kessels
- Umbau/Anpassung des Kessels auf das Filtersystem

Integrativer Anbau

- Anbau des Filtersystems direkt an den Abgasstutzen des Kessels
- Betrieb als Kesselbestandteil → eine einzige gemeinsame bauaufsichtliche Zulassung

Alexander Berhardt: IntEleKt – Erfahrungen aus der Kleinserie, 7. Partikelabscheiderfachgespräch 3

Das Forschungsprojekt



IntEleKt

„Integrierter Elektrofilter im Kleinserientest“

Laufzeit: 01.10.2014 – 31.05.2017
FKZ: 03KB095A & B

Projektpartner



- Wissenschaftliche Aufgabenstellungen
 - Betreuung von 10 Teststandorten
- Weiterentwicklung Elektronik, Software, Isolatoren und Sprühelektrode
 - Projektkoordination

- Feedback von Kessel / SEMM Markt
 - Betreuung von 6 Teststandorten
- Weiterentwicklung Filterboxen, mechanische Komponenten und Verfahrenstechnik der Gesamtanlage

Alexander Berhardt: IntEleKt – Erfahrungen aus der Kleinserie, 7. Partikelabscheiderfachgespräch 2

Teststandorte



- Geplant sind insgesamt 16 Teststandorte
- Teststandorte variieren nach:
 - Brennstoff
 - Nennwärmeleistung (8 kW_{th} – 160 kW_{th})
 - Beschickung (Manuell, Automatisch)
 - Verbrennungstechnologie (Atmosphärisch, Zwangsbelüftet etc.)

Cluster I: Saarland, 8 Systeme, IZES gGmbH

Cluster II: München, 3 Systeme, Hoval GmbH + 2 Systeme Nähe Tettngang

Clausthal: 2 Systeme, IZES gGmbH / TU Clausthal

Vaduz (Lichtenstein): 1 System, Hoval GmbH

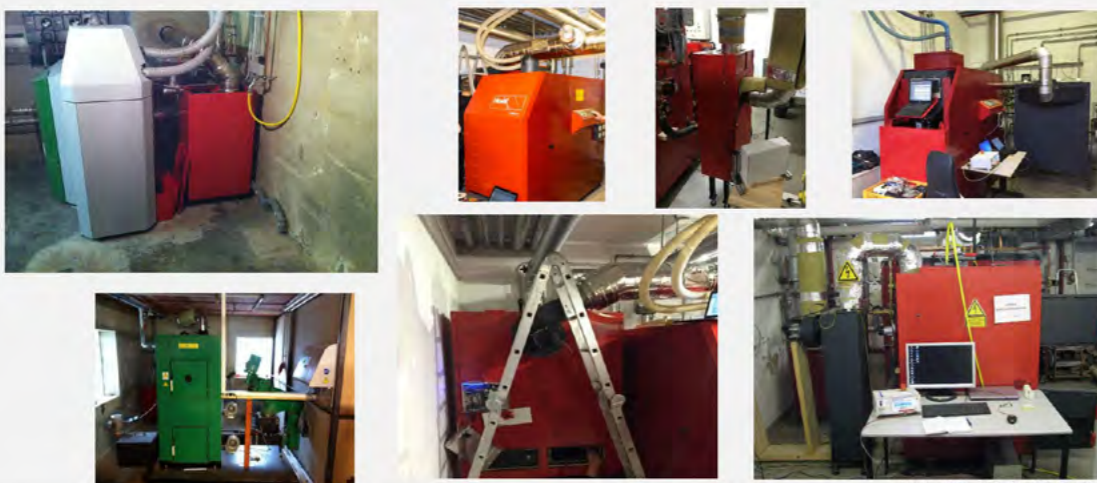
„Backup“: ggf. 2 Systeme in Hamburg, Künzel Heiztechnik GmbH



Quelle: Grafik: IZES gGmbH

Alexander Berhardt: IntEleKt – Erfahrungen aus der Kleinserie, 7. Partikelabscheiderfachgespräch 4

Teststandorte



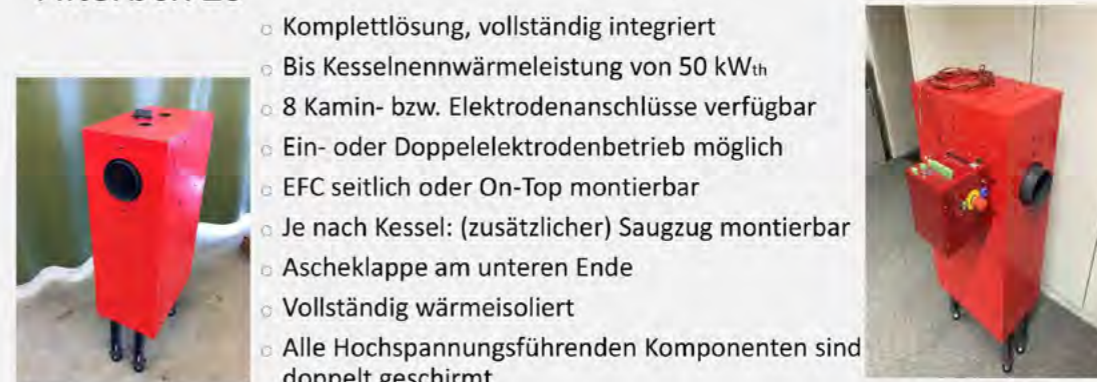
izes gGmbH **Energetische Biomassenutzung**

Urheber Fotos: IZES gGmbH & Hoval GmbH

Alexander Berhardt: IntEleKt – Erfahrungen aus der Kleinserie, 7. Partikelabscheiderfachgespräch 5

Systemkomponenten

Filterbox 25



- o Komplettlösung, vollständig integriert
- o Bis Kesselnennwärmeleistung von 50 kW_{th}
- o 8 Kamin- bzw. Elektrodenanschlüsse verfügbar
- o Ein- oder Doppelektrodenbetrieb möglich
- o EFC seitlich oder On-Top montierbar
- o Je nach Kessel: (zusätzlicher) Saugzug montierbar
- o Ascheklappe am unteren Ende
- o Vollständig wärmeisoliert
- o Alle Hochspannungsführenden Komponenten sind doppelt geschirmt



Urheber Fotos: IZES gGmbH & Hoval GmbH

Alexander Berhardt: IntEleKt – Erfahrungen aus der Kleinserie, 7. Partikelabscheiderfachgespräch 7

Systemkomponenten

Kontroll- und versorgungseinheit „EFC 201+“

- Fernauslesbare und fernwartbare Hochspannungskontroll- und Versorgungseinheit
- Kommunikation über GSM, WLAN oder Vor-Ort Datenloggung
- Vor-Ort oder Online Darstellung der aktuellen Werte des Systems
- Möglichkeit zur Aufnahme & Kommunikation weiterer Messwerte (bspw. Kesselparameter etc.)
- Betriebsdaten: bis zu 30 kV_{DC} bei 2 mA, Gesamtkonzept Überschlagsfest und doppelt geschirmt
- Intelligenter und eigenständiger Algorithmus zur Steuerung des Filterbetriebs in Abhängigkeit des aktuellen Betriebszustandes (auch des Kessels)

Quelle/Urheber Grafik/Foto: IZES gGmbH & Hoval GmbH

Alexander Berhardt: IntEleKt – Erfahrungen aus der Kleinserie, 7. Partikelabscheiderfachgespräch 6

Systemkomponenten

Filterbox 50

- o Für Kesselnennwärmeleistung bis 100 kW_{th}
- o Elektroden- und Rauchgasanschluss Oben
- o Saugzug rückseitig montiert, Kaminanschluss hinter Saugzuggebläse
- o Aschelade Vorne und Hinten

Filterbox 160


- o Für Kesselnennwärmeleistung bis 300 kW_{th}
- o Elektrodenanschluss an der Oberseite
- o Rauchgasanschluss an der Vorderseite
- o Saugzug und Kaminanschluss an der Rückseite




Urheber Fotos: IZES gGmbH & Hoval GmbH

Alexander Berhardt: IntEleKt – Erfahrungen aus der Kleinserie, 7. Partikelabscheiderfachgespräch 8

Erste Ergebnisse & Erfahrungen




- Problematik: Test der Prototypen im Feld
 - Prototyp → noch keine DIBt Zulassung
 - Genehmigung im Privatbereich schwierig
 - Bedenken der Betreiber bezüglich Hochspannung und Feinstaub
 - Ascheproblematik: Entsorgung, Exposition des Betreibers bei Wartung noch nicht abschließend geklärt und kommuniziert
 - Vorwiegend Nutzung von projektinternen Anlagen wodurch Teststandortsuche erschwert wird


→ Aufklärung: Zusammenarbeit Schornsteinfegerhandwerk, Kessel- und Staubminderungssystemhersteller, Zulassungsbehörden

Alexander Berhardt: IntEleKt – Erfahrungen aus der Kleinserie, 7. Partikelabscheiderfachgespräch 9

Erste Ergebnisse & Erfahrungen




- Durchführung von EMV Messungen mit Filterbox 25
 - Überprüfung auf feldgebundene und leitungsgebundene Störungen
 - Einhaltung DIN EN 61000-6-3
 - Versuchsaufbau und -durchführung nach DIN EN 55014-2 (leitungsgebundene Störungen) und DIN EN 55022 (feldgebundene Störungen)

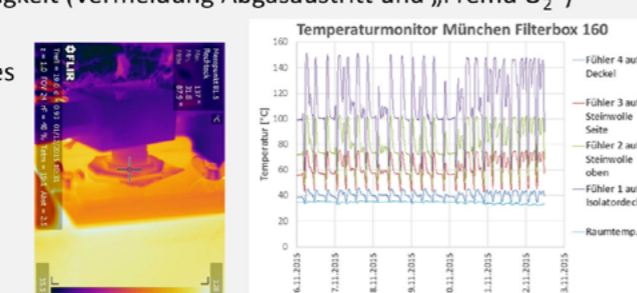


Urheber Fotos: IZES gGmbH & Hoval GmbH 11

Erste Ergebnisse & Erfahrungen




- Monitoring der Temperaturen an neu entwickelten Filterboxen
 - Unterschiedliche Temperaturniveaus der Filterboxen
 - Dimensionierung der Wärmedämmung
 - Untersuchung der Systemdichtigkeit (Vermeidung Abgasaustritt und „Fremd O₂“)
 - Auslegung der Komponenten
 - Gesamtes Betriebsspektrum des Kessels muss auch in den Extrembereichen sicher abgedeckt werden können
 - Belastbarkeits- und Stresstests wurden durchgeführt

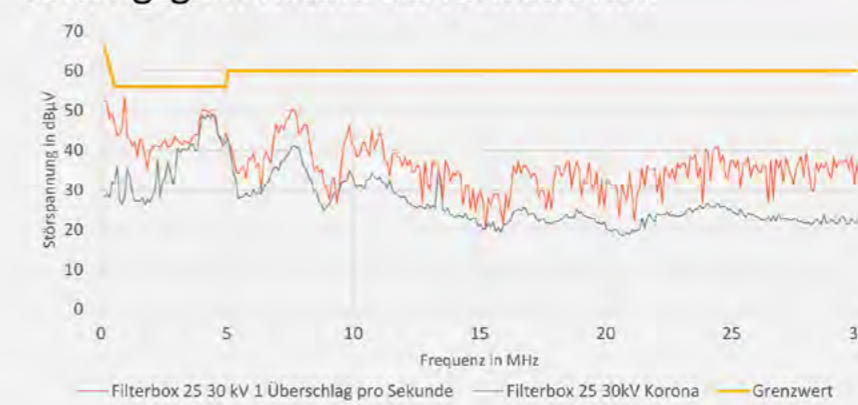


Urheber Diagramm/Foto: IZES gGmbH & Hoval GmbH 10

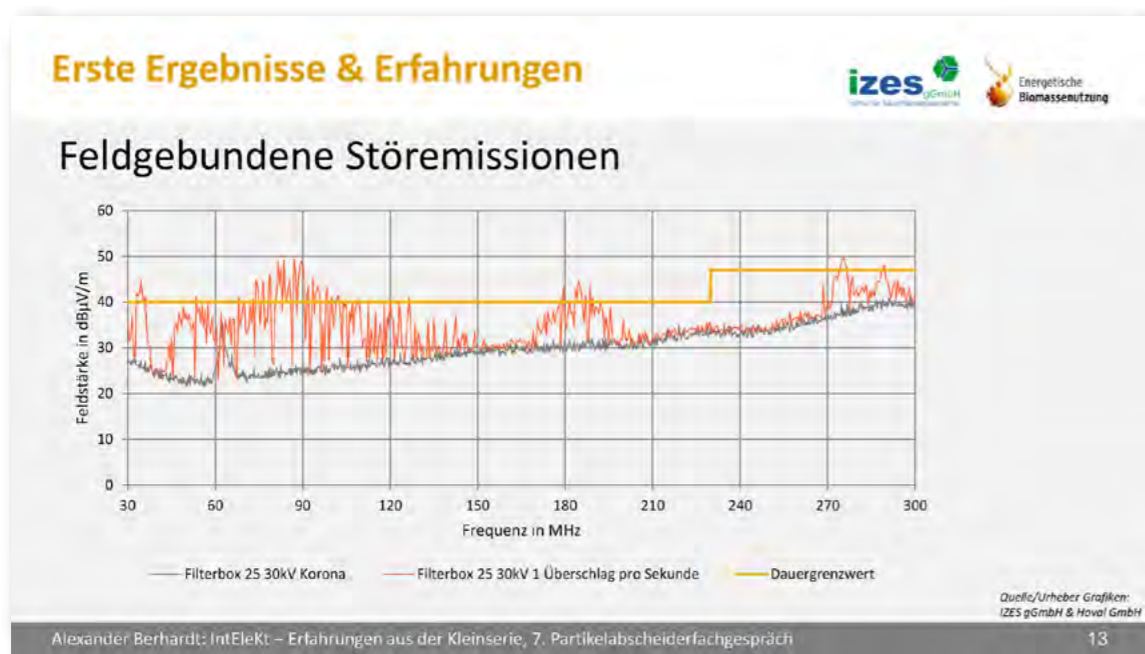
Erste Ergebnisse & Erfahrungen



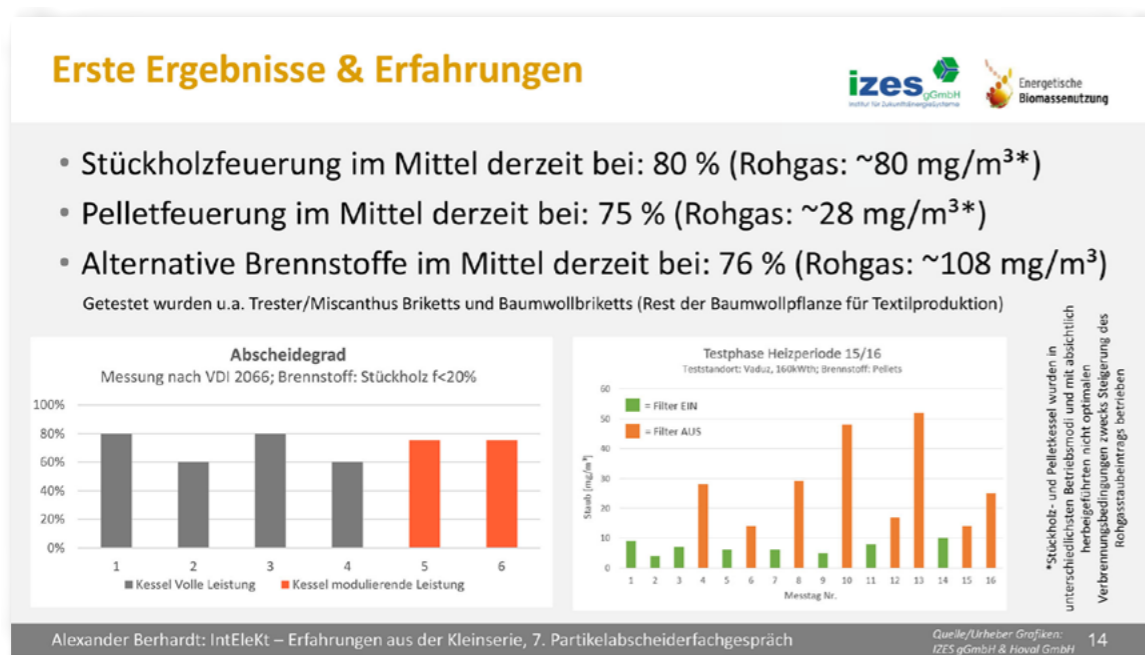
Leitungsgebundene Störemissionen



Quelle/Urheber Grafiken: IZES gGmbH & Hoval GmbH 12



- ### Fazit und Zusammenfassung
- Frühjahr 2016: Erweiterung der Testanlagen (bis Heizperiode 16/17)
 - Weitere Klärung rechtlicher und administrativer Fragen (Zusammenarbeit Schornsteinfegerhandwerk & Zulassungsbehörden)
 - Klärung weiterer Detailfragen
 - Weiterer Test und Finalisierung der Isolatoren und Sprühelektrodenreinigung
 - Optimierungen bzgl. der Strömungsführung
 - Vielfältige Ergebnisse bisher, weiter lernen und Betriebsstunden ausbauen
 - Entwicklung ist auf einem guten Weg! Heizperiode 2016/2017 entscheidend!
- Alexander Berhardt: IntEleKt – Erfahrungen aus der Kleinserie, 7. Partikelabscheiderfachgespräch 15



Partner IntElekt



<p>izes gGmbH Institut für ZukunftEnergiesysteme</p> <p>IZES gGmbH Altenkesseler Str. 17, Geb. A1 D – 66115 Saarbrücken</p> <p>Dr. Bodo Groß +49 (0) 681 / 9762 851 gross@izes.de</p> <p>Alexander Berhardt +49 (0) 681 / 9762 861 berhardt@izes.de</p>	<p>Hoval</p> <p>Hoval GmbH Humboldtstraße 30 85609 Aschheim-Dornach</p> <p>Thomas Uhle +49 (0) 89 92 / 20970 thomas.uhle@hoval.com</p> <p>Daniel Hegele +423 (0) 399 / 2400 daniel.hegele@hoval.com</p>	<p>DBFZ</p> <p>Programmbegleitung: DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH</p> <p>Torgauer Straße 116 04347 Leipzig</p> <p>Diana Pfeiffer +49 (0) 341 2434 / 112 Diana.pfeiffer@dbfz.de</p>	<p>PTJ Projektträger Jülich Forschungszentrum Jülich</p> <p>Projektträger: Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich</p> <p>Zimmerstraße 26-27 10969 Berlin</p> <p>Sven Matura Tel.: +49 (0) 30 20199 / 431 s.matura@fz-juelich.de</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Gefördert innerhalb des Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“
<https://www.energetische-biomassenutzung.de/de/vorhaben/liste-aller-vorhaben/details/projects/456/460.html>

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
(FKZ: 03KB095A & B)

Energetische Biomassenutzung

Alexander Berhardt: IntElekt – Erfahrungen aus der Kleinserie, 7. Partikelabscheiderfachgespräch

Martin Meiller, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik AG, Sulzbach-Rosenberg
Optimierung der Fraktionsabscheidegrade Elektrostatischer Staubabscheider beim Einsatz in Biomassefeuerungen

Martin Meiller
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik AG
An der Maxhütte 1, 92237 Sulzbach-Rosenberg
Tel.: +49 (0)9661 908-416
E-Mail: martin.meiller@umsicht.fraunhofer.de
Web: www.umsicht.fraunhofer.de

Im Rahmen dieses Vortrags soll ein von der FNR gefördertes Kooperationsvorhaben zwischen Fraunhofer UMSICHT, der OTH Amberg-Weiden und der Firma Schröder vorgestellt werden.

Ziel des Vorhabens ist es wirkungsvolle Maßnahmen für elektrostatische Abscheider zu identifizieren und zu erproben, um die Emissionen besonders gesundheitsgefährdender Feinstaubfraktionen aus der Biomasseverbrennung durch eine gezielte Optimierung des Fraktionsabscheidegrades zu reduzieren. Dieser Aspekt wurde bisher nicht hinreichend wissenschaftlich untersucht und entsprechende Optimierungsmaßnahmen wurden bisher an elektrostatischen Abscheidern nicht durchgeführt und getestet.

Die negativen Auswirkungen von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit sind umfassend belegt. Um diese Gefährdung zu reduzieren hat die EU Richtlinien erlassen, die dafür Sorge tragen sollen, dass die auf die Menschen einwirkenden Immissionen durch Luftschadstoffe unterhalb bestimmter, als kritisch erachteter Grenzwerte, bleiben. Der deutsche Gesetzgeber hat darauf seinerseits mit entsprechenden Maßnahmen reagiert. Dazu zählt unter anderem eine Verschärfung der Grenzwerte in der 1.BImSchV. Die Grenzwerte beziehen sich dabei auf die Menge des Gesamtstaubs, eine differenzierte Betrachtung nach Partikelgrößen scheidet in der Praxis an aufwendigen und kostenintensiven Messverfahren. Damit bleibt der gesundheitliche, medizinische Aspekt unberücksichtigt, dass die Wahrscheinlichkeit des Vordringens eines Partikels in Luftröhre, Bronchien oder Alveolen deutlich ansteigt, je kleiner der Durchmesser des Partikels ist. Vor diesem Hintergrund wird deutlich warum eine Optimierung des Fraktionsabscheidegrades auf der einen Seite zwar sehr wichtig ist, auf der anderen Seite aber bislang unberücksichtigt bleibt.

Ein weiteres Ziel ist es verfügbare Filtertechnik für die Nutzung alternativer Biomassebrennstoffe (Agrarbrennstoffe wie z.B. Stroh) zu optimieren und damit die Nutzung entsprechender Einsatzstoffe zu intensivieren. Bei entsprechenden Einsatzstoffen wie z.B. Stroh sind deutlich höhere Feinstaubemissionen zu erwarten als bei Holzbrennstoffen. Neben den höheren Staubkonzentrationen ist auch die Zusammensetzung von Rauchgas und Staub verändert. Bestehende Filtersysteme müssen daher zunächst auf ihre Tauglichkeit für den Einsatz mit alternativen Biomassebrennstoffen getestet und optimiert werden, wenn mittelfristig neben den Standardbrennstoffen (Holzpellets und -hackschnitzel) auch weitere Einsatzstoffe herangezogen und als Brennstoffe etabliert werden sollen (1.BImSchV. §3 Abs. 1 Nr.8).

Die auf Basis der Versuche abgeleiteten Konzepte und Optimierungsmaßnahmen zielen einerseits darauf ab die Fraktionsabscheidegrade der elektrostatischen Partikelabscheider zu verbessern und andererseits leistungsfähige Filtertechnik für den Einsatz von Agrarbrennstoffen bereitzustellen.

FRESBI

»Optimierung der **FR**aktionsabscheidegrade **Elektrostatischer** Staubabscheider beim Einsatz in **BI**omassefeuerungen«

Vorstellung Projektvorhaben

09. März 2016
Leipzig
7. Fachgespräch Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen

Martin Meiller
Fraunhofer UMSICHT, Institutsteil Sulzbach-Rosenberg
Prof. Dr.-Ing. Stefan Beer
Ostbayerische Technische Hochschule, Amberg-Weiden
Ivo Kastl
Firma Schröder, Kamen

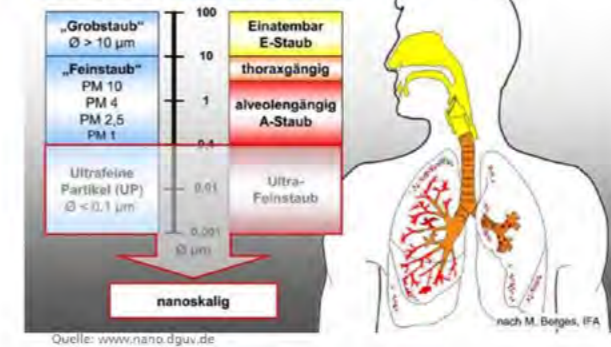


Folie 1
© Fraunhofer UMSICHT



1. Einleitung Motivation

Einatembare Staubfraktionen



Quelle: www.nano.dguv.de

EU-Richtlinie zur Reduzierung der PM 10 und PM 2,5 Immissionen

Maßnahmen zur Umsetzung auf nationaler Ebene

Folie 3
© Fraunhofer UMSICHT



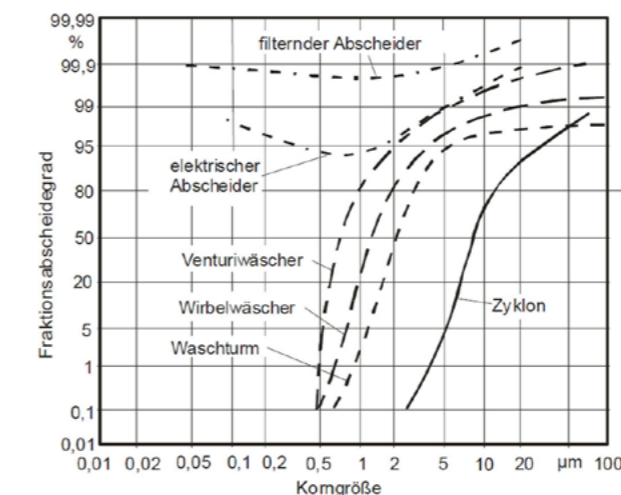
Vorstellung Projektvorhaben FRESBI Agenda

1. Einleitung
2. Projektinformationen
3. Arbeitspakete und Vorgehensweise
4. Zusammenfassung

Folie 2
© Fraunhofer UMSICHT



1. Einleitung Hintergrund



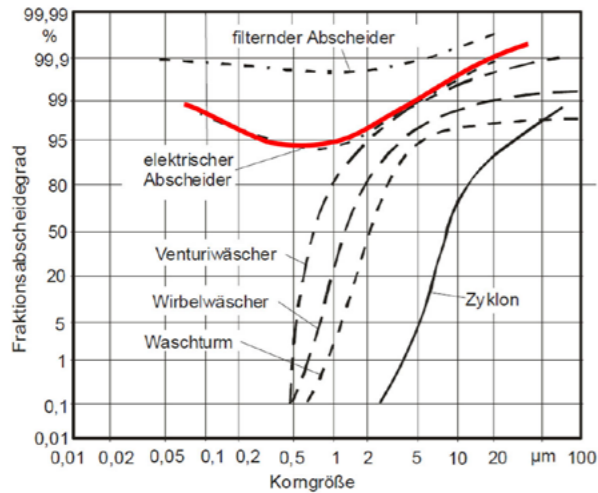
- Entwicklung von Filtersystemen
- Zyklon und Wäscher nicht geeignet
- Entwicklung von filternden und elektrostatischen Abscheider
- Downscaling verfügbarer Technologie

Kaltschmitt et al.: "Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren", S.536, Springer, 2. Auflage, ISBN 978-3-540-85094-6, Heidelberg, 2009

Folie 4
© Fraunhofer UMSICHT



1. Einleitung Hintergrund



- E-Filter tauglich um auch Feinstaub abzuscheiden
- Verlauf des Fraktionsabscheidegrads auch für „neue“ Filtersysteme gültig?
- Geringere Abscheideleistung bei ca. 0,5 µm

Kaltschmitt et al.: "Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren", S.536, Springer, 2.Auflage, ISBN 978-3-540-85094-6, Heidelberg, 2009

Folie 5
© Fraunhofer UMSICHT



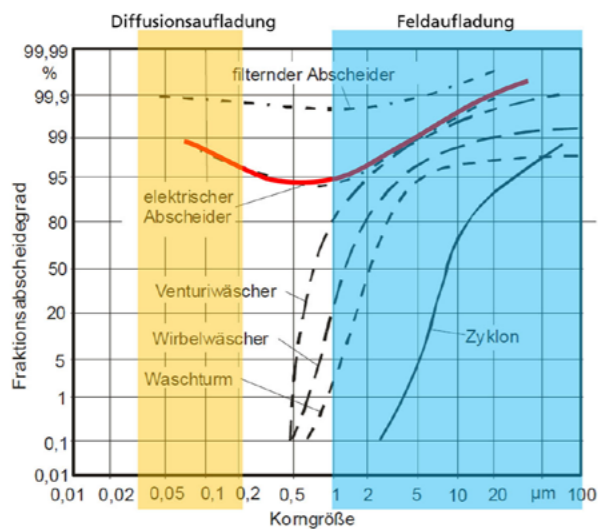
2. Projektinformationen Zielstellung

- Wie wirksam sind marktverfügbare Filtersysteme gerade im Partikelgrößenbereich < PM 2,5 und PM 1?
 - Ermittlung der Fraktionsabscheidegrade marktverfügbarer Elektrofilter für Biomassefeuerungen
 - Ermittlung Partikelgrößenverteilungen bei der Verbrennung biogener Brennstoffe
 - Unterschiedliche Einsatzstoffe, Leistungsgrößen und Filtertypen
- Wie können die Fraktionsabscheidegrade in den relevanten Bereichen verbessert werden?
 - Identifikation von Optimierungsmaßnahmen
 - Umsetzung und Bewertung von Optimierungsmaßnahmen

Folie 7
© Fraunhofer UMSICHT



1. Einleitung Hintergrund



- Zwei Mechanismen
- Feldauffladung
 - Diffusionsaufladung
- Bei Partikelgrößen um ca. 0,5 µm laufen beide Mechanismen nicht optimal.

Kaltschmitt et al.: "Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren", S.536, Springer, 2.Auflage, ISBN 978-3-540-85094-6, Heidelberg, 2009

Folie 6
© Fraunhofer UMSICHT



2. Projektinformationen Projektpartner

- Fraunhofer UMSICHT**
 - Projektkoordination
 - Impaktormessungen
 - Versuche mit zwei Filtern im UMSICHT-Technikum
 - Leistungsbereich >50 kW
 - Versuchsauswertung
 - Optimierung
- Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden**
 - Messungen mit SMPS
 - Versuche mit einem Filter in den Laboren der OTH
 - Leistungsbereich <50 kW
 - Versuchsauswertung
 - Optimierung
- SCHRÄDER ABGASTECHNOLOGIE**
 - Bereitstellung von Filteranlagen
 - Unterstützung bei Integration und Inbetriebnahme der Filter
 - Optimierung

Folie 8
© Fraunhofer UMSICHT



3. Arbeitspakete und Vorgehensweise Überblick



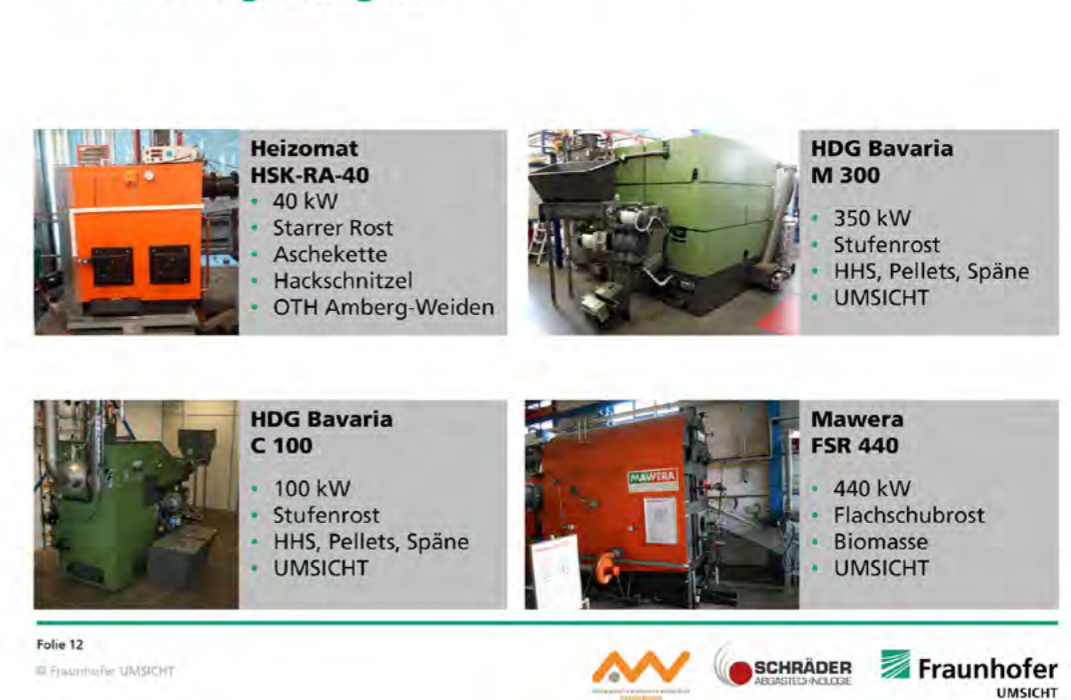
3. Arbeitspakete und Vorgehensweise Feuerungsanlagen



3. Arbeitspakete und Vorgehensweise Brennstoffe



3. Arbeitspakete und Vorgehensweise Feuerungsanlagen



3. Arbeitspakete und Vorgehensweise Filteranlagen

AP 1: Versuchsvorbereitung

Brennstoffe

Biomassefeuerungen

- Schräder Filterbox S: Einstufig, trocken
- Schräder Filterbox: Zweistufig, nassabreinigend
- Oekosolve oekotube inside: Kaminsystem

AP 2: Analyse und Bewertung

AP 3: Entwicklung von Optimierungsansätzen

AP 4: Dimensionierungs- und Betriebsstrategien

AP 5: Analyse und Auswertung

AP 6: Entwicklung von Optimierungsansätzen

AP 7: Umsetzung und Bewertung der Optimierungsmaßnahmen

AP 8: Dimensionierungs- und Betriebsstrategien

Folie 13
© Fraunhofer UMSICHT



3. Arbeitspakete und Vorgehensweise Zuordnung Feuerung - Filteranlage

40 kW	100 kW	350 kW	440 kW

Fraunhofer UMSICHT

Folie 15
© Fraunhofer UMSICHT



3. Arbeitspakete und Vorgehensweise Filteranlagen

OekoTube Inside	Schröder Filterbox S	Schröder Filterbox
<ul style="list-style-type: none"> Einstufig Manuelle, trockene Abreinigung Kamin als Abscheideelektrode Bis 40 kW Anschluss an Kamin 	<ul style="list-style-type: none"> Einstufig Automatische, trockene Abreinigung Rohre als Abscheideelektrode 50-150 kW Anschluss nach Kessel 	<ul style="list-style-type: none"> Zweistufig Automatische, nasse Abreinigung Schüttung als Abscheideelektrode 200 - 800 kW Anschluss nach Kessel

Folie 14
© Fraunhofer UMSICHT



3. Arbeitspakete und Vorgehensweise Versuchs- und Analytik-Programm

AP 1: Versuchsvorbereitung

Brennstoffe

Biomassefeuerungen

AP 2-4: Versuchsprogramm

Analytik Rohgas

Partikelgrößenverteilung (SMPS & Impaktor)	Staubbelastung (Gravimetrisch nach VDI 2066)	Staubbeschaffenheit
--------------------------------------------	----------------------------------------------	---------------------

Einsatz verschiedener Filtertypen

Analytik Reingas

Partikelgrößenverteilung (SMPS & Impaktor)	Staubbelastung (Gravimetrisch nach VDI 2066)	Staubbeschaffenheit
--------------------------------------------	----------------------------------------------	---------------------

- Analog in Roh- und Reingas
- Parallelisierung der Messungen
- Versuchsprogramm:
 - Kontinuierliche Erfassung Prozessparameter
 - Kont. Erfassung gasförmiger Emissionen
 - Staubmessung gravimetrisch VDI 2066
 - Staubmessung Kaminkehrermessung
 - 13-stufiger Niederdruckkaskadenimpaktor
 - SMPS

AP 5: Analyse und Auswertung

AP 6: Entwicklung von Optimierungsansätzen





AP 7: Umsetzung und Bewertung der Optimierungsmaßnahmen

AP 8: Dimensionierungs- und Betriebsstrategien

Folie 16
© Fraunhofer UMSICHT



3. Arbeitspakete und Vorgehensweise Versuchs- und Analytik-Programm

 <p>SMPS</p> <ul style="list-style-type: none"> Scanning Mobility Particle Sizer TSI 2,5 – 1.000 nm 0,3 – 10 µm 	 <p>DLPI</p> <ul style="list-style-type: none"> 13-stufiger Niederdruck-Impaktor Dekati 30 nm – 10 µm Mit Absolutfilter bis 0 nm Zyklon für >10 µm 2 Verdünnungsstufen
 <p>VDI 2066</p> <ul style="list-style-type: none"> In-Stack Messung Nach VDI 2066 Blatt 1 Plan- und Hülsenfilter Automatisierte, isokinetische Absaugung 	 <p>Kaminkehrer-Messung</p> <ul style="list-style-type: none"> Testo 380 Beheizte Messsonde 0 bis 300 mg/Nm³ Messung durch Frequenzänderung Schwungmasse

Folie 17
© Fraunhofer UMSICHT




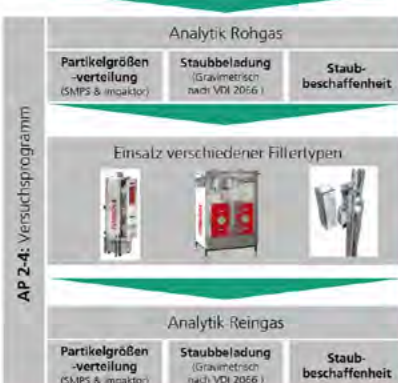
3. Arbeitspakete und Vorgehensweise Entwicklungs- und Optimierungsansätze

<p>AP 1: Versuchsvorbereitung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Verweilzeit Strömungstechnische Gestaltung Elektrodenauswahl Anpassungen im Bereich MSR Abreinigung
<p>AP 2-4: Versuchsprogramm</p> 	

Folie 19
© Fraunhofer UMSICHT



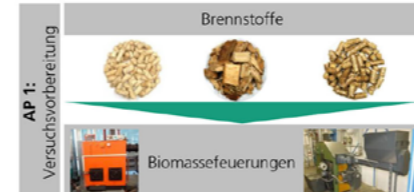
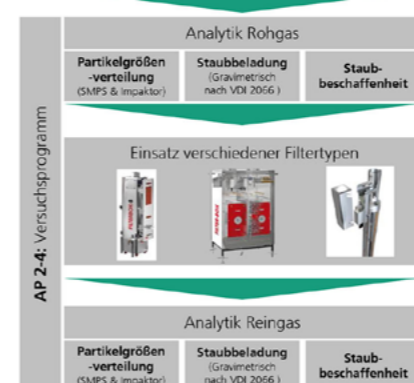
3. Arbeitspakete und Vorgehensweise Analyse und Auswertung

<p>AP 1: Versuchsvorbereitung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Sammlung und Aufbereitung der Versuchsergebnisse Diskussion der Versuchsergebnisse Workshop Optimierungsansätze
<p>AP 2-4: Versuchsprogramm</p> 	

Folie 18
© Fraunhofer UMSICHT



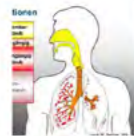
3. Arbeitspakete und Vorgehensweise Umsetzung und Bewertung

<p>AP 1: Versuchsvorbereitung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Methodische Auswahl und Bewertung der Optimierungsansätze Detaillierung der vielversprechendsten Lösungsansätze Umsetzung und Tests einzelner Maßnahmen Formulierung von Dimensionierungs- und Betriebsstrategien
<p>AP 2-4: Versuchsprogramm</p> 	

Folie 20
© Fraunhofer UMSICHT



4. Zusammenfassung Ergebnisse / Ziele

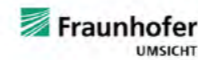


Allgemein

- Anreize zur Optimierung
- Lenkungswirkung Faktor Gesundheit
- Akzeptanz



Folie 21
© Fraunhofer UMSICHT



4. Zusammenfassung Ergebnisse / Ziele

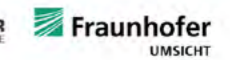


Erkenntnisse zum Umgang mit Agrarbrennstoff

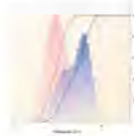
- Daten zur Nutzung von Agrarbrennstoffen
- Erkenntnisse zum Abscheideverhalten bei halmgutartigen Brennstoff
- Optimierungsansätze



Folie 23
© Fraunhofer UMSICHT



4. Zusammenfassung Ergebnisse / Ziele



Wissenschaftliche Erkenntnisse

- Partikelgrößenverteilungen Pellets, Hackschnitzel, Stroh
- Fraktionsabscheidegrade → Übertragbarkeit für andere Filter
- Optimierungsansätze zur Verbesserung der Fraktionsabscheidegrade



Folie 22
© Fraunhofer UMSICHT



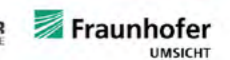
4. Zusammenfassung Ergebnisse / Ziele



Erkenntnisse im Bereich Messtechnik

- Vergleich gravimetrisch / Kaminkehrer
- Vergleich SMPS / DLPI

Folie 24
© Fraunhofer UMSICHT



4. Zusammenfassung Ergebnisse / Ziele



Allgemein

- Anreize zur Optimierung
- Lenkungswirkung → Gesundheit
- Akzeptanz



Wissenschaftliche Erkenntnisse

- Partikelgrößenverteilungen Pellets, Hackschnitzel, Stroh
- Fraktionsabscheidegrade → Übertragbarkeit für andere Filter
- Optimierungsansätze zur Verbesserung der Fraktionsabscheidegrade



Erkenntnisse zum Umgang mit Agrarbrennstoff

- Daten zur Nutzung von Agrarbrennstoffen
- Erkenntnisse zum Abscheideverhalten bei Strohnutzung
- Optimierungsansätze

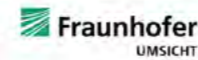


Erkenntnisse im Bereich Messtechnik

- Vergleich gravimetrisch / Kaminkehrer
- Vergleich SMPS / DLPI

Folie 25

© Fraunhofer UMSICHT



ERFAHRUNGEN AUS AKTUELLEN FORSCHUNGSPROJEKTEN II

FRESBI

»Optimierung der **FR**aktionsabscheidegrade **Elektro**statischer
Staubabscheider beim Einsatz in **BI**omassefeuerungen«

Vielen Dank!

Gefördert durch

Kontakt:



Martin Meiller
Thermische Verfahren

Fraunhofer UMSICHT
Institutsteil Sulzbach-Rosenberg
An der Maxhütte 1
92237 Sulzbach-Rosenberg
Telefon: 09661-908 416
E-Mail: martin.meiller@umsicht.fraunhofer.de
Internet: <http://www.umsicht-suro.fraunhofer.de>



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Folie 26

© Fraunhofer UMSICHT



Dr. Mohammad Aleysa, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart

Low-Emission-Verbrennungssystem (LEVS) zur Verbrennung von festen Brennstoffen in Vergaserkesseln

Dr. Mohammad Aleysa

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart

Tel.: +49 (0)711 970-3496

Fax: +49 (0)711 970-3340

E-Mail: mohammadshayesh.aleysa@ibp.fraunhofer.de

Web: www.ibp.fraunhofer.de

Im Rahmen eines von BMWI geförderten Forschungsprojekts im Fachgebiet Verbrennungssysteme des Fraunhofer IBP, in Kooperation mit der Firma HDG Bavaria, wurde ein innovatives System zur Verbesserung des Verbrennungs- und Emissionsverhaltens in Vergaserkesseln entwickelt und getestet. Die Untersuchungen an dem sogenannten LEVS: Low-Emission-Verbrennungssystem haben gezeigt, dass sich Biomasse mit dieser Technik bei einer verbesserten Abgasqualität verbrennen lässt als Erdgas. Neben der problemlosen Einhaltung der ab 2017 gültigen Emissionsgrenzwerte der 1. BImSchV lässt ein emissionsarmer und stabiler Betrieb in der Praxis, unabhängig vom Brennstoff und der Bedienungsqualität erreichen. Die Innovation des LEVS beruht auf einer Kombination aus einem geregelten Gebläsesystem, einer Zyklon-Brennkammer sowie eines integrierten Oxidationsreaktor bzw. Einbautentechnik.

Die Verbrennungsluftzufuhr erfolgt durch ein Gebläsesystem an der Vorderseite des Kessels. Dadurch lassen sich Strömungsabhängigkeiten zwischen Primär- und Sekundärluftzufuhr vermeiden. Hierzu werden die Gebläse über einfache Regelalgorithmen bzw. direkte Größen geregelt, sodass ein kontinuierlich stabiler Anlagenbetrieb gewährleistet werden kann. Nur auf Basis eines solchen Gebläsesystems lässt sich ein intelligentes und lernfähiges Regelungssystem entwickeln. In der vor dem Wärmetauscher geschalteten Zyklon-Brennkammer werden unverbrannte Bestandteile durch eine intensive Durchmischung des Abgases verbrannt und nicht nur mitgerissene grobe Staubpartikel, sondern dank der Verbesserung des thermischen und elektrischen Feinstaubagglomerationsverhaltens auch Feinstäube abgeschieden. Durch die Entstaubung des Abgases vor dem Wärmeaustauscher sind keine mechanischen Reinigungsarbeiten notwendig, wodurch sich eine hohe Effizienz im Praxisbetrieb sicher realisieren lässt. Darüber hinaus können Kurzschlussströmungen, die häufig bei kleineren Abgasvolumenströmen entstehen, durch die generierte Zirkulationsströmung in der Zyklon-Brennkammer vermieden werden, wodurch die Modularität der thermischen Leistung erhöht wird.

In dem integrierten Oxidationsreaktor (Einbautentechnik) werden Restbestandteile (schweroxidierbare organische Aerosole) im Abgas unabhängig von der Dynamik des Vergasungs- bzw. Verbrennungsprozesses thermisch nachoxidiert und somit behandelt. Die organischen Aerosole, die auch bei nahezu vollständiger Verbrennung entstehen ($\text{CO} \ll 20 \text{ ppm}$), bilden mit über 50 % den Hauptteil des Feinstaubes. Diese werden während des Betriebs an der Oberfläche der Einbauten adsorbiert und anschließend beim Erreichen ausreichend hoher Temperaturen frei verbrannt und somit vollständig abgeschieden. Besonders während der Anfahr- und Ausbrandbetriebsphasen kann auf diese Weise eine deutliche Verbesserung der Verbrennung und bedeutsame Reduktion der staub- und gasförmigen Emissionen erreicht werden. Für die Produktion von Heizkesseln auf Basis des Low-Emission-Verbrennungssystems werden keine neuen Materialien, neue Fertigungstechnologien oder Fachkompetenzen benötigt. Außerdem führt diese Innovation nicht zu Kostensteigerung, sodass die Kessel konkurrenzfähig bleiben. Durch die Steigerung der Effizienz während des Praxisbetriebs, können mindestens 15 % der Brennstoffmasse und somit der Kosten eingespart werden. Das LEVS-Konzept wird für automatisch beschickte Kessel als Vielbrennstoffkessel entwickelt, wodurch die Grenzwerte der 1. BImSchV komplett ohne oder mit Hilfe von einfach umsetzbaren Sekundärmaßnahmen eingehalten werden können.

Low-Emission-Verbrennungssystem (LEVS)

Innovative Verbrennungstechnologie zur Schadstoffminderung und Effizienzsteigerung bei der Verbrennung von Festbrennstoffen in Kleinfeuerungsanlagen

Dr.-Ing. Mohammad Aleysa

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Dipl.-Ing. (FH) Marten Ecker

HDG Bavaria GmbH

Siebtes Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“

Auf Wissen bauen



© Fraunhofer IBP

Fraunhofer
IBP


Gliederung

- LEVS, Konzept und Aufbau
- Neuheiten des LEVS
- Versuchsergebnisse
- Schlussfolgerung

© Fraunhofer IBP

Fraunhofer
IBP

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Low-Emission-Verbrennungssystem (LEVS)

Innovative Verbrennungstechnologie zur Schadstoffminderung und Effizienzerhöhung bei der Verbrennung von Festbrennstoffen in Kleinfeuerungsanlagen



Projektpartner:
Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
HDG Bavaria GmbH

© Fraunhofer IBP



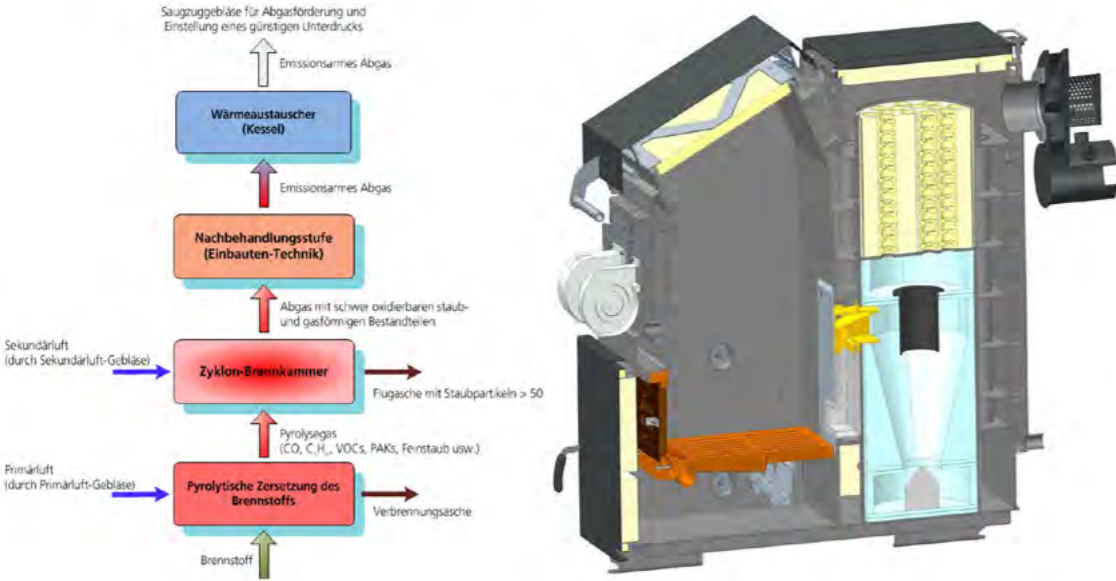
LEVS, Vergaserkessel/HDG, EURO2



© Fraunhofer IBP



LEVS, Konzept und Aufbau



Saugzugbläse für Abgasförderung und Einstellung eines günstigen Unterdrucks

Emissionsarmes Abgas

Wärmeaustauscher (Kessel)

Emissionsarmes Abgas

Nachbehandlungsstufe (Einbauten-Technik)

Abgas mit schwer oxidierbaren staub- und gasförmigen Bestandteilen

Sekundärluft (durch Sekundärluft-Gebläse)

Zyklon-Brennkammer

Flugasche mit Staubpartikeln > 50

Pyrolysegas (CO, C₂H₄, VOCs, PAHs, Feinstaub usw.)

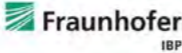
Primärluft (durch Primärluft-Gebläse)

Pyrolytische Zersetzung des Brennstoffs

Verbrennungsgase

Brennstoff

© Fraunhofer IBP



Brennstoffe



Buche

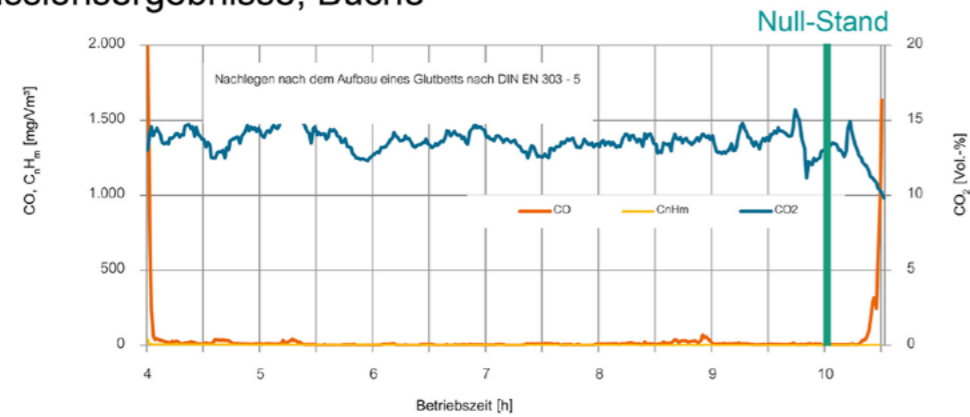
Fichte

Buchen-Hackschnitzel

© Fraunhofer IBP



Emissionsergebnisse, Buche

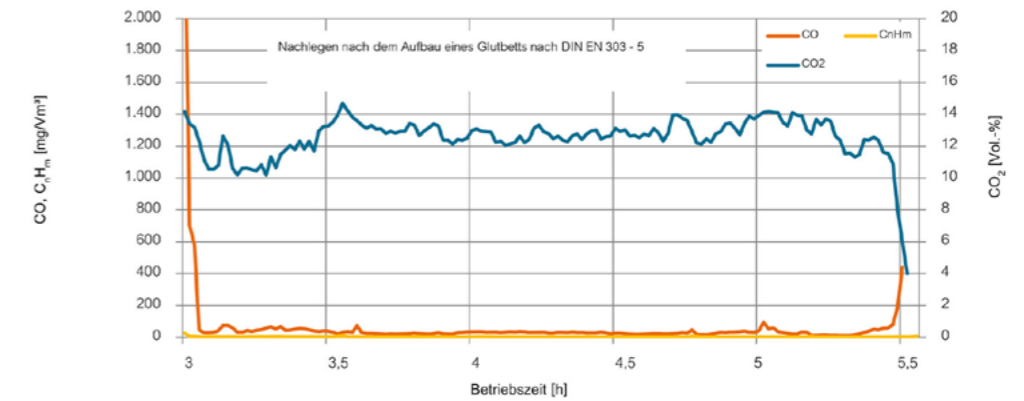


Betriebszeit	Einheit	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10
MW - CO	[mg/Vm ³]	24	13	7	9	18	24
MW - C _n H _m	[mg/Vm ³]	4	3	3	2	2	2
MW - NO _x	[mg/Vm ³]	135	128	120	139	124	150
Staub gemäß VDI 2066 -1	[mg/Vm ³]	4,3	4,9	3,2	4,9	3,4	4,0

© Fraunhofer IBP



Emissionsergebnisse, Hackschnitzel (Buche)

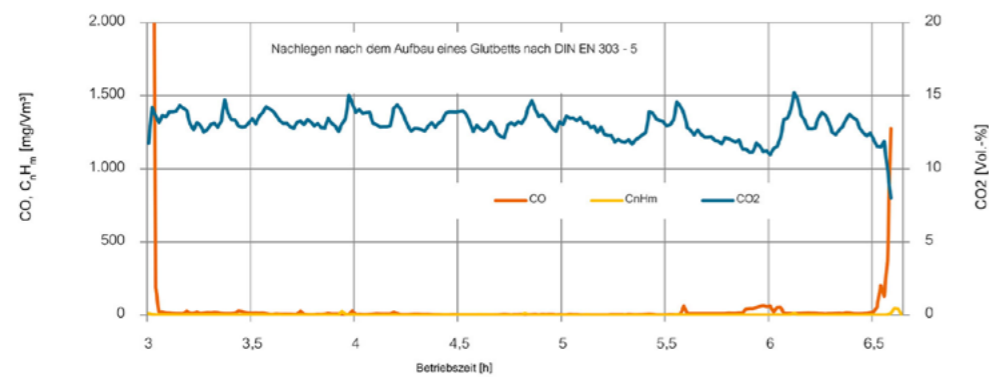


Betriebszeit	Einheit	3 - 3,5	3,5 - 4	4 - 4,5	4,5 - 5	5 - 5,5
MW - CO	[mg/Vm ³]	45	15	8	13	20
MW - C _n H _m	[mg/Vm ³]	3	2	2	2	2
MW - NO _x	[mg/Vm ³]	162	178	178	157	165
Staub gemäß VDI 2066 -1	[mg/Vm ³]	6,9		4,4		4,3

© Fraunhofer IBP



Emissionsergebnisse, Fichte



Betriebszeit	Einheit	3 - 3,5	3,5 - 4	4 - 4,5	4,5 - 5	5 - 5,5	5,5 - 6	5 - 6,5
MW - CO	[mg/Vm ³]	20	15	9	15	7	21	18
MW - C _n H _m	[mg/Vm ³]	2	2	1	1	1	1	1
MW - NO _x	[mg/Vm ³]	72	76	83	81	73	69	66
Staub gemäß VDI 2066 -1	[mg/Vm ³]	1.3		0.8	2.2	1.1		2.7

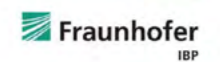
© Fraunhofer IBP



Staubabscheidung im Zyklon-Brennkammer



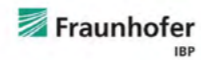
© Fraunhofer IBP



Ruß-Abscheidung in der Startphase (Kaltstarbetrieb)



© Fraunhofer IBP



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr.-Ing. Mohammad Aleya
Group Manager Combustion Systems

Fraunhofer Institute for Building Physics IBP
Nobelstr. 12 | 70569 Stuttgart | Germany

Phone: [+49 711 970-3455](tel:+497119703455)
mohammad.aleysa@ibp.fraunhofer.de
<http://www.ibp.fraunhofer.de>

© Fraunhofer IBP



Schlussfolgerungen

- Eignung zur schadstoffarmen Verbrennung unterschiedlicher Brennstoff
- Emissionsgrenzwerte lassen sich sicher einhalten:
 - $\text{CO} < 20 \text{ mg/Vm}^3$ << GW: 400 mg/Vm³
 - $\text{C}_n\text{H}_m < 5 \text{ mg/Vm}^3$ << GW: 50 mg/Vm³
 - Staub < 5 mg/Vm³ << GW: 20 mg/Vm³
- Druckverlust stellt kein Problem für den Betrieb dar
- Hohe Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit
- Entwicklung des LEVS-Verbrennungskonzepts für automatisch beschickte Biomassekesseln

© Fraunhofer IBP



Daniel Wohter, TEER Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe, Aachen

Feinstaubabscheidung an biomassebetriebenen Kleinfeuerungsanlagen mit Tiefenfiltern - Praxiserfahrungen RWTH Aachen University

Daniel Wohter

TEER Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe

Wüllnerstraße 2, 52062 Aachen

Tel.: +49 (0)241 80 96694

Fax: +49 (0)241 80 92624

E-Mail: wohter@teer.rwth-aachen.de

Web: www.teer.rwth-aachen.de/cms/front_content.php

Hintergrund

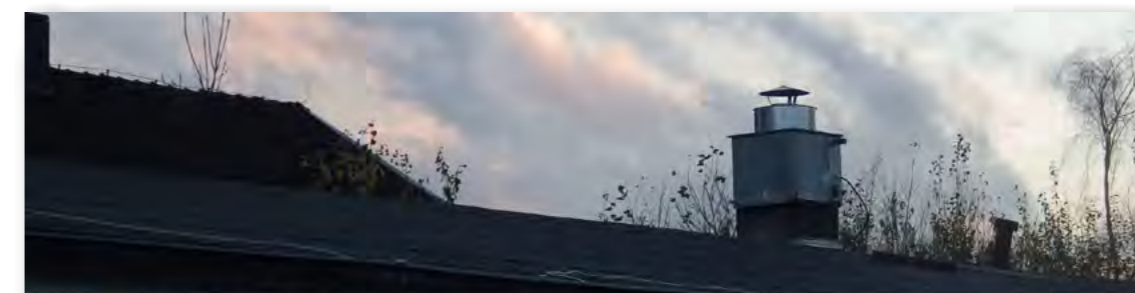
Im Rahmen eines durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) und das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderten Projekts wurde in den vergangenen Jahren am Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe (kurz TEER) der RWTH Aachen in Zusammenarbeit mit der dezentec Ingenieurgesellschaft mbH ein Feinstaubfilter für biomassebetriebene Kleinfeuerungsanlagen entwickelt. Der Staubabscheider ist als Kaminaufsatz konzipiert und nutzt das Prinzip der Tiefenfiltration. Im Betrieb wird das Rauchgas mittels eines Ventilators durch das Filtermedium gesaugt. Die Feinstaubpartikel werden im Inneren des Filtermediums sequestriert. Grundlagenuntersuchungen und erste Praxistests zeigen hohe erreichbare Abscheidegrade (> 90 %), unabhängig vom verwendeten Feuerungstyp. Die Funktionsweise des Filters und die ersten Ergebnisse wurden im vergangenen Jahr im Rahmen des 6. Fachgesprächs „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“ vorgestellt.

Entwicklungsstand

In der Zwischenzeit wurde die Entwicklung zusammen mit der Fa. Oberland Mangold und weiteren industriellen Partnern vorangetrieben. Hauptaugenmerk lag auf der Implementierung einer einfachen Steuerung und der Sicherstellung eines stabilen und zuverlässigen Betriebes des Filtersystems unter realen Einsatzbedingungen. Um ein Gefühl für das Verhalten des Filters im Praxiseinsatz zu erhalten, befinden sich zurzeit mehrere konstruktiv und strömungstechnisch optimierte Abscheider im Rahmen eines Feldtests an unterschiedlichen Einzelraumfeuerungen in Betrieb. Bei der Installation des Filtersystems wurden die zuständigen Schornsteinfeger mit eingebunden. Um ein vollständiges Bild der Filterleistung zu erhalten, werden regelmäßig die feuerungs- und betreiberseitigen Randbedingungen (Nutzerprofile) aufgenommen und die Abscheideleistung überprüft. Dies geschieht auf der einen Seite durch eine kontinuierliche Erfassung der wichtigsten Betriebsgrößen (z.B. Filtertemperatur und Druckverlust über dem Filter), auf der anderen Seite werden zahlreiche Messungen der Abscheideleistung vor Ort durchgeführt. Der Zwischenstand zeigt einen sicheren Dauerbetrieb des Systems. Trotz mildem Winter konnten bereits einige Betriebsstunden gesammelt und der Ausstoß von Feinstäuben an den Praxisstandorten deutlich reduziert werden.

Entwicklungsschwerpunkt: Standzeit

Eine entscheidende Rolle, welche auch die Wirtschaftlichkeit des tiefenfilter-basierten Systems beeinflusst, spielt die Standzeit (Zeit bis zum Austausch der Filtermaterialien). Sie wird sowohl von der Höhe der abzuscheidenden Feinstaubemissionen, als auch von der Anpassung der Filtermaterialien auf die individuelle Abscheideaufgabe beeinflusst. Mit der Fa. TROX konnte ein auf dem Gebiet der Tiefenfiltration erfahrener Partner gewonnen werden. Zusammen wird an einer gestuften Filtration gearbeitet, um die Staubaufnahmekapazität des Filtersystems zu erhöhen. Durch den Einsatz einer Vorabscheidung mit hoch porösen Fasermaterialien sollen mögliche negative Einflüsse grober Partikelfractionen (Feinstaub aus dem Brennstoff > 10µm) sowie von Teeren gemindert werden. Die Ergebnisse der Technikumsuntersuchungen und ein erster Einsatz gestufter Filter an den Praxisstandorten zeigen vielversprechende Ansätze zur Verbesserung der Standzeit.



Feinstaubabscheidung an biomassebetriebenen Kleinfeuerungen mit Tiefenfiltern – Praxiserfahrungen

Daniel Wohter

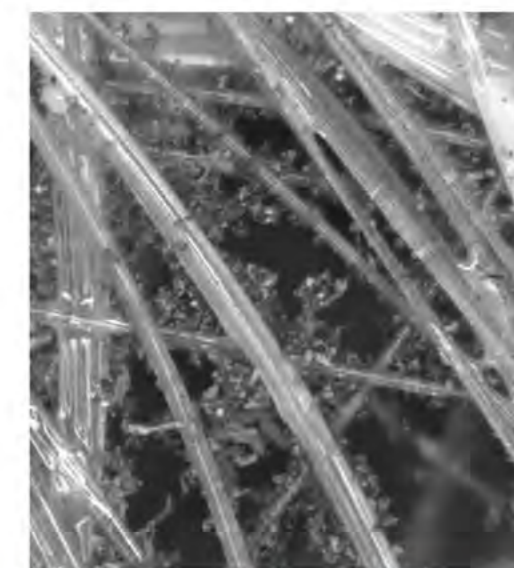
Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe
RWTH Aachen University

7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“
09.03.2016, Leipzig



Inhalt

- I. Einleitung
- II. Entwicklungsziele und -vorgaben
- III. Praxistests
 - I. Ziele und Methodik
 - II. Praxisstandorte
 - III. Ergebnisse
- IV. Grundlagenuntersuchungen
 - I. Motivation
 - II. Ziele und Methodik
 - III. Ergebnisse
- V. Fazit und Ausblick



2 von 26 Feinstaubabscheidung an biomassebetriebenen Kleinfeuerungen mit Tiefenfiltern
Daniel Wohter
7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“ | 09.03.2016 in Leipzig



Einleitung

- Konzept
 - Staubabscheider als Kaminaufsatz
 - Keine Behinderung des natürlichen Rauchgaswegs
 - Ausführung der Filter in Taschenform
 - Material: Glaswolle
- Funktionsweise
 - Radialventilator saugt Rauchgas aktiv durch Filtertaschen
 - Wechsel der Filtereinheit nach vollständiger Beladung
- Parameter
 - Filterfläche: 1 bis 1,5 m²
 - Max. Differenzdruck: 5 mbar bei 50 m³/h i.B.



3 von 26 Feinstaubabscheidung an biomassebetriebenen Kleinfeuerungen mit Tiefenfiltern
Daniel Wohter
7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“ | 09.03.2016 in Leipzig



Entwicklungsziele und -vorgaben

Projektziele

- Entwicklung eines Staubabscheiders auf Basis der Tiefenfiltration
 - Sehr niedriger Reingaskonzentration, unabhängig von der Rohgaskonzentration
 - Sichere Deposition der festen und auskondensierten Emissionen
- Angestrebte Eigenschaften
 - Kostengünstig in
 - Anschaffung und Montage
 - Betrieb und Wartung
 - Maximal ein Filterwechsel pro Heizperiode
 - Betriebssicher auch bei Störungen → keine Blockade der Rauchgaswege
- Zielgruppe: ERF und kleine Kessel



5 von 26 Feinstaubabscheidung an biomassebetriebenen Kleinfeuerungen mit Tiefenfiltern
Daniel Wohter
7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“ | 09.03.2016 in Leipzig



Entwicklungsziele und -vorgaben



Praxistests



Praxistests

Ziele

- Unter realen Randbedingungen ...
 - Abscheideleistung verifizieren
 - Standzeit der Filterelemente bestimmen
 - Bauteil- und Filterstabilität nachweisen
 - Systemintegration testen
 - Regelung optimieren



→ Dauerbetriebsfähigkeit nachweisen

Praxistests

Methodik

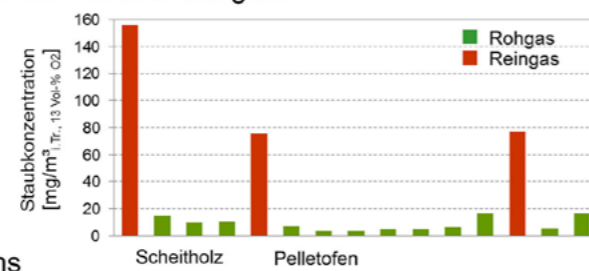
- Einrichtung von 6 Outdoor-Standorten + 2 Indoor-Prüfständen
- Aufnahme der feuerungsseitigen Randbedingungen
- Aufnahme der Witterungseinflüsse
- Messung der Filterleistung
 - Druckverlust über dem Filtereinsatz (Standzeit)
 - Abscheideleistung
- Bestimmung der Wechselwirkung zwischen dem System: Filter – Kamin – Feuerung



Praxistests

Ziel

- Anpassung der Filtermaterialien auf die Filtrationsaufgabe
 - Bisher: Einsatz von Glaswolle
 - Jetzt:
 - Anpassung der Materialeigenschaften
 - Variation der Filtergeometrie
- Erweiterung des Projektkonsortiums
 - Erprobung mineralischer Filtermaterialien aus dem Bereich der Raumluftfiltration
 - Iterative Anpassung der Materialeigenschaften auf die Randbedingungen



Praxistests

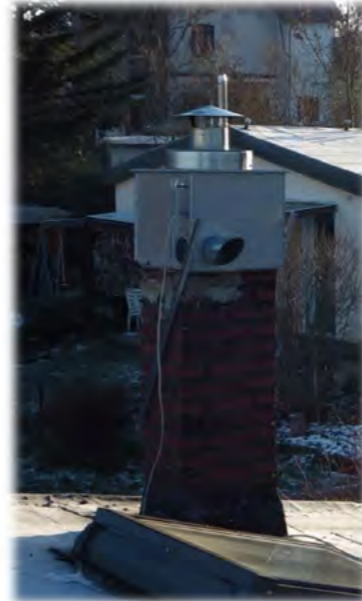
Standorte

- Feuerungstypen
 - 6 Scheitholzöfen: 2 - 8 kW
 - 2 Pelletöfen: 2 - 8 kW
- Brennstoffeinsatz
 - Gartenverschnitt
 - Altholz und Baureste
 - Stammholz (Holzhandel und „Eigenproduktion“)



Praxistests

Standorte



11 von 26 Feinstaubabscheidung an biomassebetriebenen Kleinfeuerungen mit Tiefenfiltern
Daniel Wohter
7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“ | 09.03.2016 in Leipzig



Praxistests

Systemintegration

- Kaminreinigung erfolgreich durchgeführt
- Keine Bedenken durch die Schornsteinfegerinnung
- Geringer Widerstand des natürlichen Kaminzuges



13 von 26 Feinstaubabscheidung an biomassebetriebenen Kleinfeuerungen mit Tiefenfiltern
Daniel Wohter
7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“ | 09.03.2016 in Leipzig



Praxistests

Standorte

- Installation
 - Anbringung Adapterplatte
 - Einsatz Gehäuse
 - Einsatz Filterelement



12 von 26 Feinstaubabscheidung an biomassebetriebenen Kleinfeuerungen mit Tiefenfiltern
Daniel Wohter
7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“ | 09.03.2016 in Leipzig



Praxistests

Standortvermessung

- Gravimetrische Feinstaubmessung (Roh- und Reingas)
 - In Anlehnung an VDI 2066
 - Wöhler SM 500
- Beprobung
 - Brennstoff
 - Abgeschiedene feste und auskondensierte Emissionen
- Dokumentation Betreiberverhalten
 - Auflageverhalten
 - Wartungszyklen

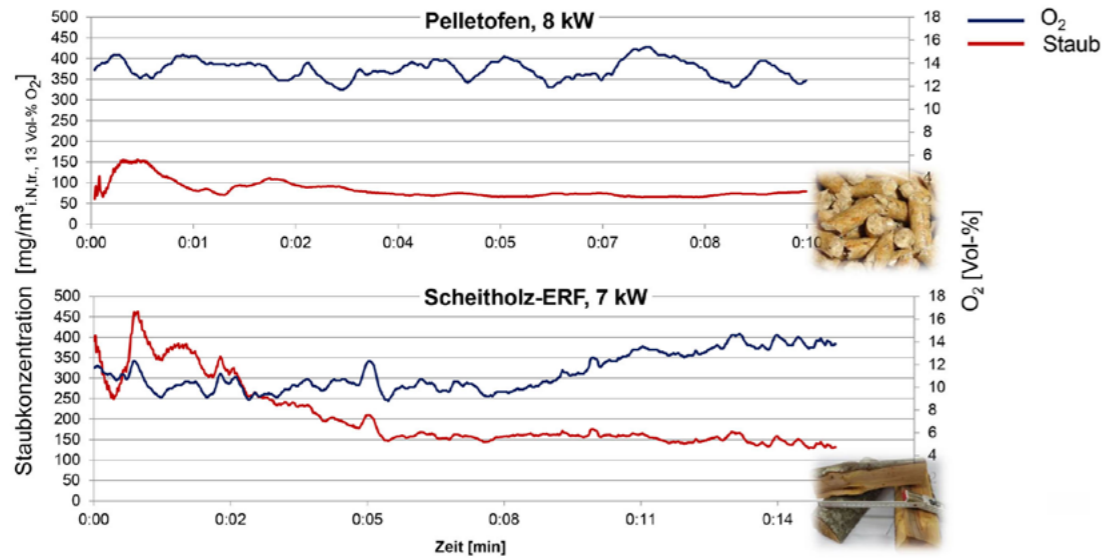


14 von 26 Feinstaubabscheidung an biomassebetriebenen Kleinfeuerungen mit Tiefenfiltern
Daniel Wohter
7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“ | 09.03.2016 in Leipzig



Praxistests

Rohemissionen: Feinstaub an der Kaminmündung (Wöhler SM 500)



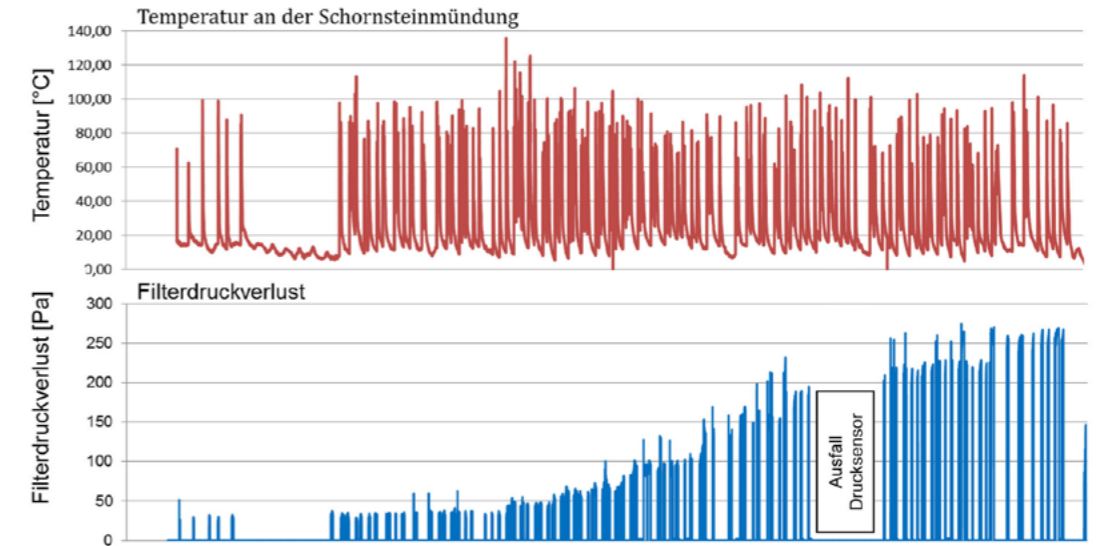
15 von 26 Feinstaubabscheidung an biomassebetriebenen Kleinfeuerungen mit Tiefenfiltern
Daniel Wohter
7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“ | 09.03.2016 in Leipzig



Praxistests

Ergebnisse: Standzeit

Feuerung: 5 kW Scheitholz-ERF
Reisezeit: 200 Abbrände



17 von 26 Feinstaubabscheidung an biomassebetriebenen Kleinfeuerungen mit Tiefenfiltern
Daniel Wohter
7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“ | 09.03.2016 in Leipzig



Praxistests

Rohemissionen: Ablagerungen im Filtergehäuse vor Filter

Hohe Teerbelastung	Hoher Grobstaubanteil	Brennstoff-Staub $H_{u(wf)} \approx 5-8 \text{ MJ/kg}$
Scheitholz	Pellet	Pellet

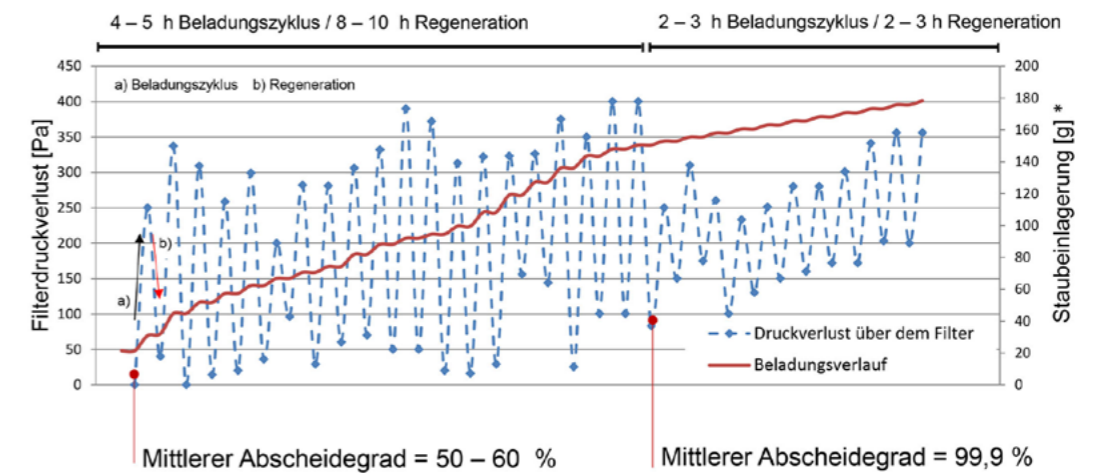
16 von 26 Feinstaubabscheidung an biomassebetriebenen Kleinfeuerungen mit Tiefenfiltern
Daniel Wohter
7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“ | 09.03.2016 in Leipzig



Praxistests

Ergebnisse: Filterregeneration

Feuerung: 8 kW Pelletofen




* Berechnet auf Basis der mittleren Abscheidegrade und der mittleren Rohgas-Staubkonzentrationen

18 von 26 Feinstaubabscheidung an biomassebetriebenen Kleinfeuerungen mit Tiefenfiltern
Daniel Wohter
7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“ | 09.03.2016 in Leipzig



Grundlagenuntersuchungen



Grundlagenuntersuchungen


Ziele

- Einsatz eines gestuften Filters
- Vorabscheider für:
 - Grobstaub
 - Teere



Methodik

- Porositätsvariation
 - Vermessung der Abscheideleistung unter definierten Randbedingungen:
 - Gravimetrische Parallelmessungen
 - Impaktormessungen
- Iterative Anpassung der Materialeigenschaften durch den Hersteller



Grundlagenuntersuchungen

Motivation

- Tiefenfilter wird zum Oberflächenfilter



0,5 mm



0,5 mm



2 mm

→ Oberflächenschließung verzögern
→ Standzeit erhöhen

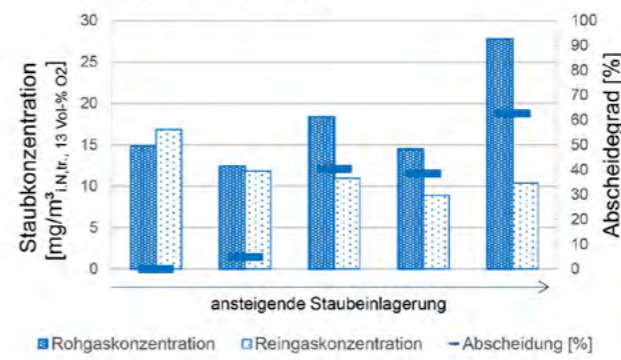


Grundlagenuntersuchungen


Ergebnisse Vorabscheider


- Einlagerung Feinstaub und Verdichtung des Materials

→ Anstieg des gravimetrischen Gesamtabscheidegrades mit der Einlagerung



Staubkonzentration [mg/m³]	Reingaskonzentration [mg/m³]	Abscheidung [%]
~15	~12	~20
~12	~8	~33
~18	~10	~44
~14	~6	~57
~28	~10	~64





Fazit und Ausblick

**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**

Fazit und Ausblick

Fazit

- Praxistests mit 6 + 2 Anlagen im Dauerbetrieb
- Systemintegration erfolgreich getestet
- Standzeit stellt die größte Herausforderung dar
- Grundlagenuntersuchungen zu Vorabscheider begonnen

Ausblick

- Belastbare Ergebnisse zu Standzeit und Bauteilstabilität nach Projektende
- Filter in Feuerungsnähe installieren
- Zusammenarbeit mit **skantherm®**

Friedrich Prill, Universität Paderborn, Paderborn

Kombinierte Abscheidung von Feinstäuben und Schadgasen aus Biomassefeuerungsanlagen

Friedrich Prill¹, René Bindig², Dr. Ingo Hartmann², Prof. Dr. Hans-Joachim Schmid¹, Sascha Schiller¹

¹Universität Paderborn, Lehrstuhl für Partikelverfahrenstechnik

Pohlweg 55, 33098 Paderborn

Tel.: +49 (0)5251 60-3610, Fax: +49 (0)5251 60-3207, E-Mail: Friedrich.Prill@uni-paderborn.de

Web: www.uni-paderborn.de

²Deutsches Biomasseforschungszentrum, Leipzig

Web: www.dbfz.de

Der verstärkte Einsatz von Biomassefeuerungsanlagen in Privathaushalten und Industriebetrieben führt zu einem deutlichen Anstieg der Abgasemissionen in die Atmosphäre. Daher wurde eine entsprechende Rechtsverordnung verabschiedet (1. BImSchV), die den Staubgrenzwert auf derzeit festsetzt. Biomassefeuerungsanlagen, die mit halmgutartigen Brennstoffen betrieben werden, emittieren neben Staub auch vermehrt Schadgase, wie Chlorwasserstoff oder Schwefeldioxid. Da es für genehmigungsbedürftige kleine und mittlere Feuerungsanlagen noch keine Grenzwerte für Chlorwasserstoff gibt (4. BImSchV), greift die Regelung nach TA Luft. Die Chlorwasserstoffkonzentration im Abgas darf nach der TA Luft nicht überschreiten.

In einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit der Firma Hellmich wird ein Filtersystem zur kombinierten Abscheidung von Feinstäuben und Schadgasen entwickelt, um die geforderten Grenzwerte für Feinstaub und Chlorwasserstoff einzuhalten. Dabei werden Untersuchungen sowohl im Labor- und Technikumsmaßstab als auch an einer realen Feldanlage durchgeführt.

Das Ziel ist die Bestimmung der Prozessparameter, welche die beste Trenneffizienz hinsichtlich Staub und Chlorwasserstoff in Abhängigkeit bestimmter Einflussparameter liefern. Dazu gehören das Sorbens-Material, die Sorbensmenge, die Rauchgastemperatur, der Feuchtigkeitsgehalt, die Konzentration von Chlorwasserstoff, die Kontaktzeit zwischen Abgas und Sorbens sowie die Filterflächenbelastung.

Dieses Forschungsprojekt wird von der AiF Projekt GmbH unterstützt.



UNIVERSITÄT PADERBORN
Die Universität der Informationsgesellschaft

Lst. für Partikelverfahrenstechnik
Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid
Fakultät für Maschinenbau



Kombinierte Abscheidung von Feinstäuben und Schadgasen aus Biomassefeuerungen

Friedrich Prill
Sascha Schiller
Hans-Joachim Schmid

Lehrstuhl für Partikelverfahrenstechnik

7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“
09.03.2016 (Leipzig)

Ingo Hartmann
René Bindig



Forschungsschwerpunkt Smart Biomass Heat



UNIVERSITÄT PADERBORN
Die Universität der Informationsgesellschaft

Lst. für Partikelverfahrenstechnik
Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid




Smart Biomass Heat

Agenda

- 1 Motivation und Ziel
- 2 Versuchsanlagen
- 3 Versuche im Labormaßstab
 - 3.1 Laborversuchsstand
 - 3.2 Ergebnisse
- 4 Versuche im Technikumsmaßstab
 - 4.1 Technikumsversuchsstand
 - 4.2 Ergebnisse
- 5 Zusammenfassung und Ausblick

2

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

1 Motivation und Ziel

Aktuell Grenzwerte für partikelförmige Emissionen (Stufe 2 der 1. BImSchV: 20 mg/m³ i.N.)

Zukünftig Grenzwerte für gasförmige Schadstoffe (Novellierung der TA Luft!) (z. B. für HCl, Dioxine/Furane)

Ziel Entwicklung einer regelbaren Filters zur kombinierten Abscheidung von Partikeln und sauren gasförmigen Bestandteilen (z. B. HCl) aus Biomassefeuerungen

- Einsatz von Sorbentien (Flugstromadsorption)
- Optimierung von Prozessparametern (Druckverlust, Sorbensmenge, ...)

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 3

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

2 Versuchsanlagen

Maßstab	Labor	Technikum	Feldanlage
Leistung / kW	15	50	180
Brennstoff (Pellets)	DINplus Holz	DINplus Holz Stroh Getreide-Ausputz Miscanthus	DINplus Holz Stroh
Sorbens	Kalkhydrat, Natriumhydrogenkarbonat, Aschen, ...		
HCl-Gehalt / mg/m³ i.N.	~ 0	~ 0...100	~ 0...100
Staubgehalt / mg/m³ i.N.	~ 40	~ 30...150	~ 30...150

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 5

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

Agenda

- Motivation und Ziel
- Versuchsanlagen**
- Versuche im Labormaßstab
 - Laborversuchsstand
 - Ergebnisse
- Versuche im Technikumsmaßstab
 - Technikumsversuchsstand
 - Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 4

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

Agenda

- Motivation und Ziel
- Versuchsanlagen
- Versuche im Labormaßstab**
 - Laborversuchsstand**
 - Ergebnisse
- Versuche im Technikumsmaßstab
 - Technikumsversuchsstand
 - Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 6

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

3.1 Laborversuchsstand

Staubabscheidung mit precoatierten Schlauchfiltern

- 6 Schlauchfilter
- 1,58 m² Filterfläche
- Eingesetzte Precoatmaterialien
 - Kalksteinmehl, Kalkhydrat, iFIL coating N[®]
- Precoatmehrschichtdicken: 0,25 mm; 0,5 mm; 1 mm
- Gesamtabsciedeград > 99 %**

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 7

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

3.1 Laborversuchsstand

Kombinierte Abscheidung

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 9

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

3.1 Laborversuchsstand

Kombinierte Abscheidung

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 8

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

3.1 Laborversuchsstand

Kombinierte Abscheidung (Sorbenschicht)

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 10

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

Agenda

- Motivation und Ziel
- Versuchsanlagen
- Versuche im Labormaßstab**
 - Laborversuchsstand
 - 3.2 Ergebnisse**
- Versuche im Technikumsmaßstab
 - Technikumsversuchsstand
 - Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 11

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

3.2 Ergebnisse

Kombinierte Abscheidung (2 g Kalkhydrat)

$c_{v,0} = 390 \text{ mg/m}^3$

$h_s = 0,6 \text{ mm}$
 $\vartheta_f = 140 \text{ }^\circ\text{C}$
 $v_f = 1,1 \text{ m/min}$

➤ **Durchbruch (10 %) nach etwa 1 h 25 min**

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 13

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

3.2 Ergebnisse

Kombinierte Abscheidung (2 g Kalkhydrat)

➤ **Oberfläche des Kalkhydrats nach ca. 10 h (Calciumchlorid)**

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 12

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

3.2 Ergebnisse

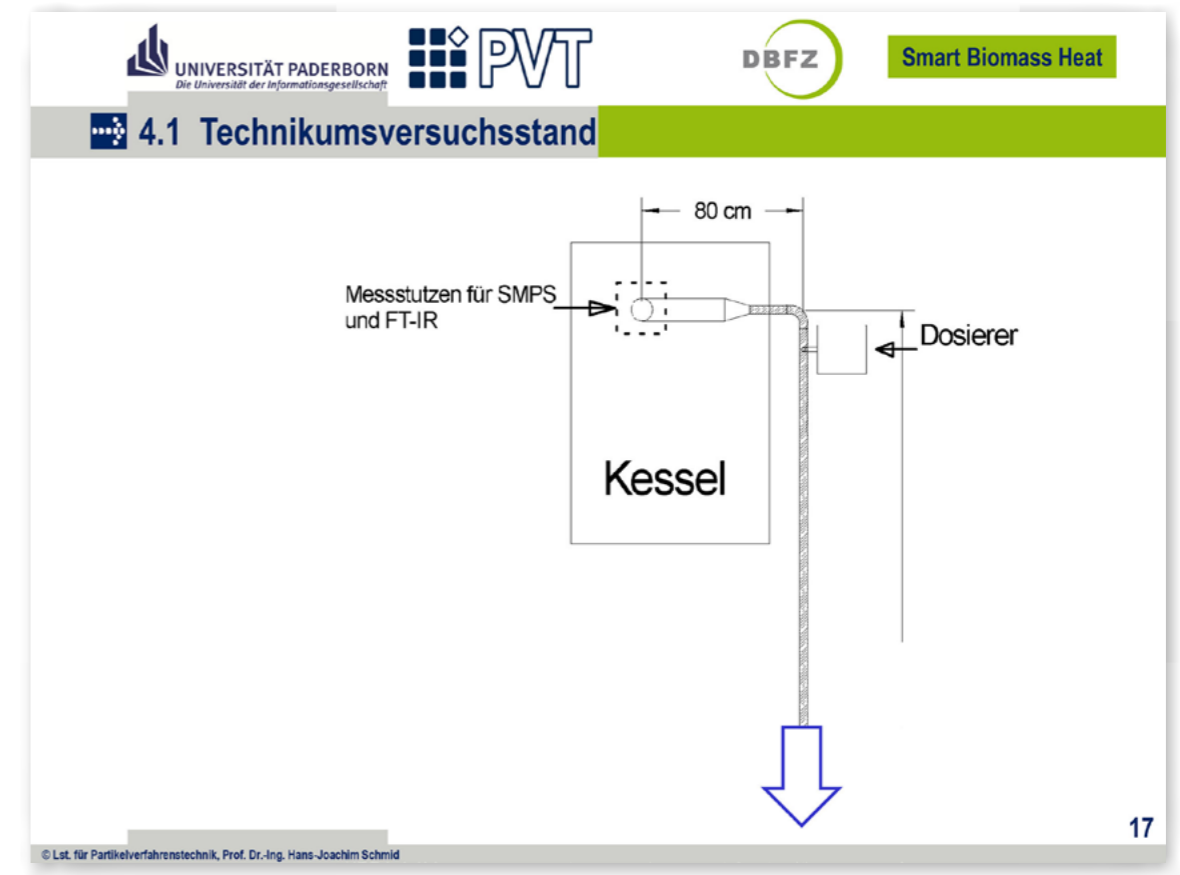
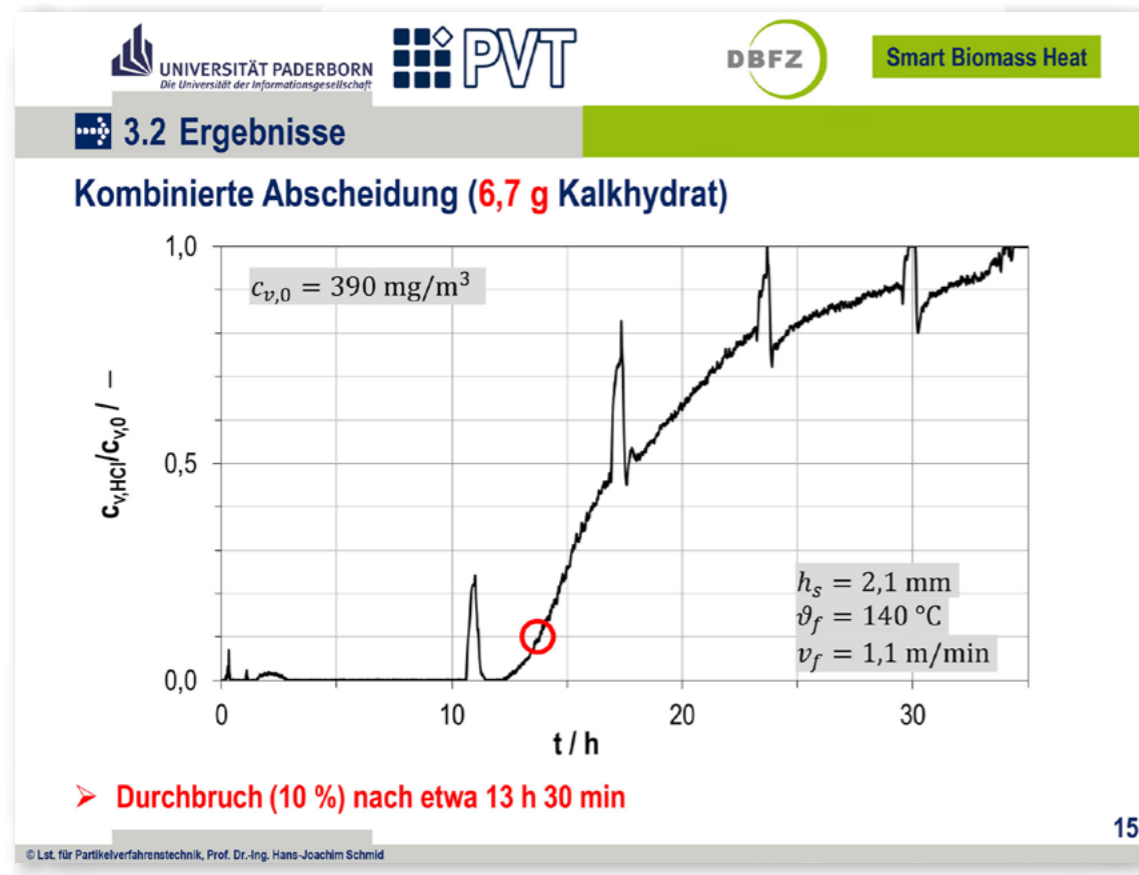
Kombinierte Abscheidung (4,7 g Kalkhydrat)

$c_{v,0} = 390 \text{ mg/m}^3$

$h_s = 1,5 \text{ mm}$
 $\vartheta_f = 140 \text{ }^\circ\text{C}$
 $v_f = 1,1 \text{ m/min}$

➤ **Durchbruch (10 %) nach etwa 6 h 30 min**

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 14

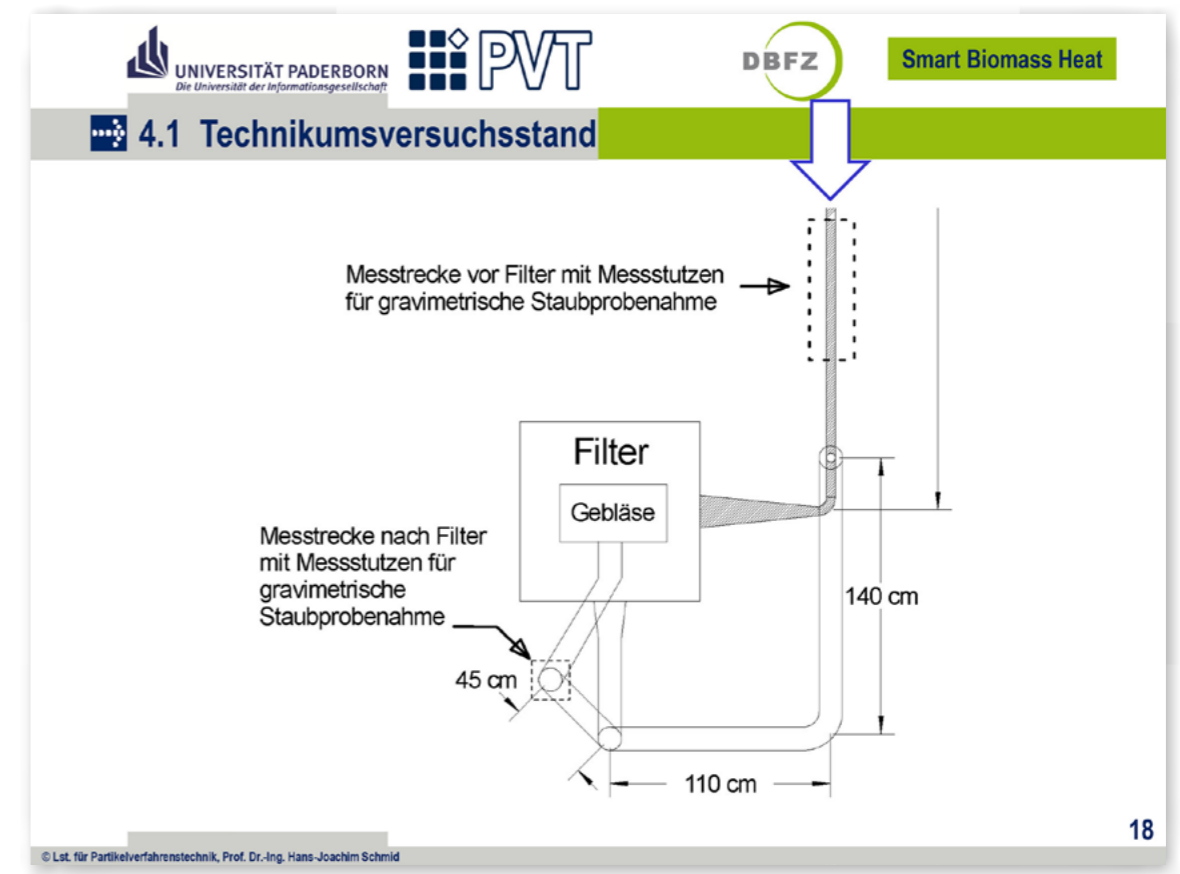


UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

Agenda

- 1 Motivation und Ziel
- 2 Versuchsanlagen
- 3 Versuche im Labormaßstab
 - 3.1 Laborversuchsstand
 - 3.2 Ergebnisse
- 4 Versuche im Technikumsmaßstab
 - 4.1 Technikumsversuchsstand
 - 4.2 Ergebnisse
- 5 Zusammenfassung und Ausblick

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 16



UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

4.1 Technikumsversuchsstand



- 25 Schlauchfilter
- 8,64 m² Filterfläche
- Kontinuierliche Sorbensdosierung

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid

19

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

Agenda

- 1 Motivation und Ziel
- 2 Versuchsanlagen
- 3 Versuche im Labormaßstab
 - 3.1 Laborversuchsstand
 - 3.2 Ergebnisse
- 4 Versuche im Technikumsmaßstab**
 - 4.1 Technikumsversuchsstand
 - 4.2 Ergebnisse**
- 5 Zusammenfassung und Ausblick

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid

21

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

4.1 Technikumsversuchsstand

Parameter

- Brennstoff: DINplus Holz, Stroh, Miscanthus, Getreide-Ausputz
- Filterfläche: 1,04...8,64 m² (3...25 Filterschläuche)
- Kesselauslastung: 60...100 %
- Sorbens-Massenstrom: ~ 100...280 g/h
- Filteranströmgeschwindigkeit: 0,5...2,5 m/min

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid

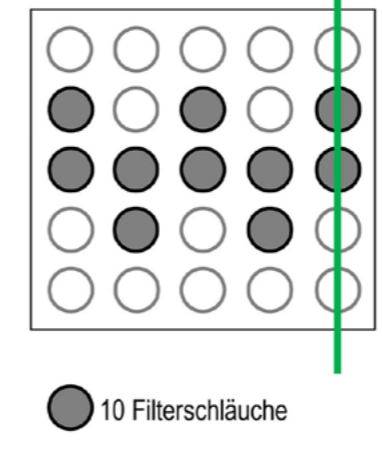
20

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

4.2 Ergebnisse

Betriebsbedingungen (kombinierte Abscheidung)

3 5 2 4 1

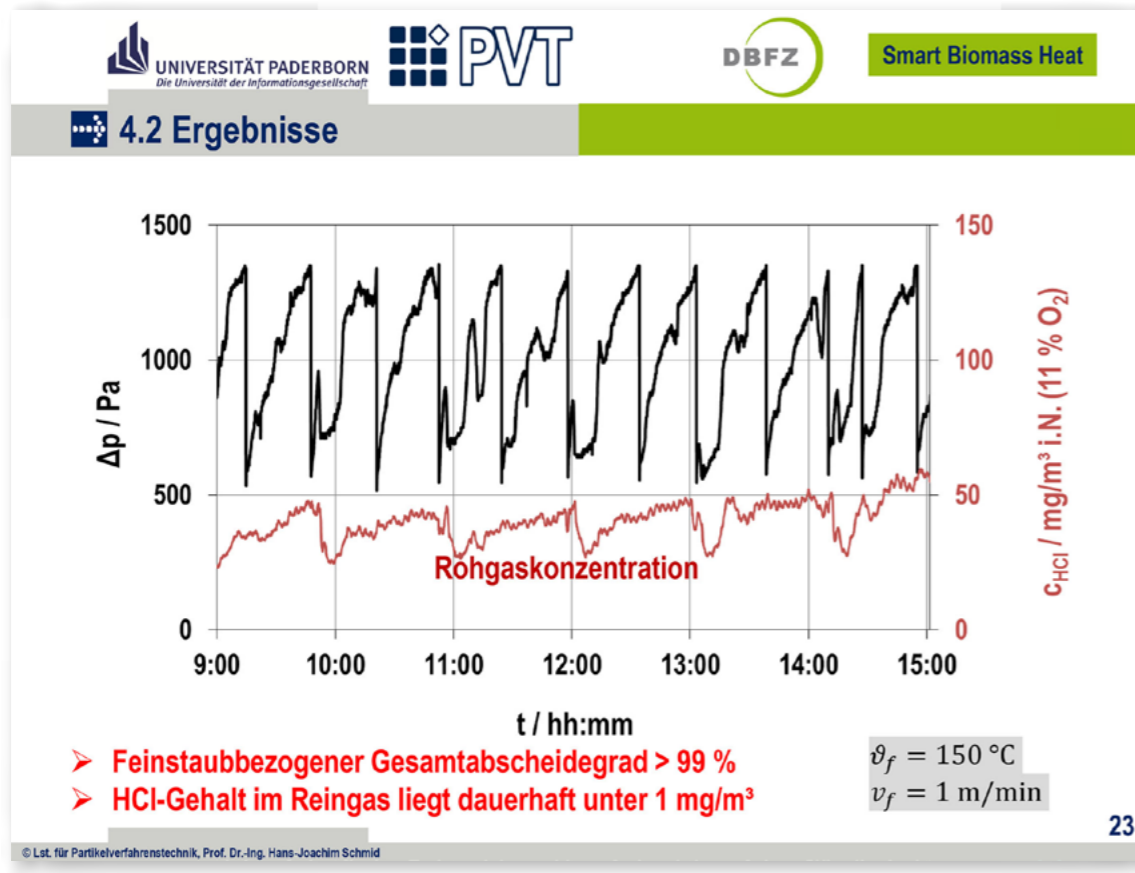


- Kesselauslastung: 68 % (34 kW)
- Brennstoff: Strohpellets
- Sorbens: Kalkhydrat
- Abgastemperatur: 150 °C
- Filteranströmgeschwindigkeit: ~1 m/min
- Filterfläche: 3,5 m²
- Sorbens-Massenstrom: 280 g/h (kontinuierliche Dosierung)

● 10 Filterschläuche

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid

22



UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

Agenda

- 1 Motivation und Ziel
- 2 Versuchsanlagen
- 3 Versuche im Labormaßstab
 - 3.1 Laborversuchsstand
 - 3.2 Ergebnisse
- 4 Versuche im Technikumsmaßstab
 - 4.1 Technikumsversuchsstand
 - 4.2 Ergebnisse
- 5 Zusammenfassung und Ausblick

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 25

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

4.2 Ergebnisse

- Bestimmung der Abgaskomponenten HCl, SO₂ und PCDD/F durch zertifiziertes Messinstitut

Abgaskomponente	Einheit	Rohgas	Reingas
HCl	mg/m ³	37,8	< 1,05
SO ₂	mg/m ³	86,9	< 1,40
PCDD/F	ng/m ³	0,193	0,012

➤ Im Reingas Konzentrationen von HCl und SO₂ unterhalb der Nachweisgrenzen
 ➤ Abscheidegrad von PCDD/F > 90 %

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 24

-
- UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat
- ### 5 Zusammenfassung
- Labor**
- Kombinierte Abscheidung unter Variation der Sorbensschichtdicke
 - $\eta_{\text{Feinstaub}} > 99 \%$
 - $\eta_{\text{HCl}} > 90 \%$ → 1,5 ... 13,5 h (abhängig von Schichtdicke)
- Technikum**
- Kombinierte Abscheidung bei kontinuierlicher Zudosierung von Kalkhydrat
 - $\eta_{\text{Feinstaub}} > 99 \%$
 - $\eta_{\text{PCDD/F}} > 90 \%$
 - $\eta_{\text{HCl}} > 95 \%$
 - $\eta_{\text{SO}_2} > 95 \%$
- © Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 26

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

5 Ausblick

Labor

- Konditionierung des Abgases (Feuchtegehalts, HCl-Gehalt)
- Variation der Filteranströmgeschwindigkeit
- Bestimmung des Sorbensumsatzes → Wiederverwendung!
- Mischung verschiedenartiger Sorbensmaterialien

Technikum

- Variation Kesselauslastung, Sorbensdosiermenge, Sorbensmaterial, Brennstoff, Filteranströmgeschwindigkeit

Feldanlage

- Übertragung aus dem Labor-/Technikumsmaßstab
- Tests unter realen Bedingungen

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid 27

UNIVERSITÄT PADERBORN Die Universität der Informationsgesellschaft PVT DBFZ Smart Biomass Heat

Projektpartner
Hellmich GmbH & Co. KG

Förderer
Bundesmin. für Wirtschaft und Energie

HELLMICH

ZIM
Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

Deutsches Biomasseforschungszentrum

DBFZ

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!!

© Lst. für Partikelverfahrenstechnik, Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schmid

Robert Mack, Dr. Hans Hartmann, TFZ, Straubing

Wirkung eines katalytisch aktiven Schaumkeramikeinbaus in einem Kaminofen

Robert Mack, Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)

Schulgasse 18, 94315 Straubing

Tel.: +49 (0)9421 300-154

Fax: +49 (0)9421 300-211

E-Mail: robert.mack@tfz.bayern.de

Web: www.tfz.bayern.de

Hintergrund und Ziele

Kaminöfen stellen die am häufigsten verwendete Art der Biomasseheizung dar, aber sie verursachen auch hohe Staub-, CO- und org.-C-Emissionen. Um die strengen Emissionsgrenzwerte nicht nur auf dem Prüfstand, sondern auch in der Praxis einhalten zu können, reichen primäre Maßnahmen möglicherweise nicht aus. In diesem Fall werden sekundäre Maßnahmen erforderlich und Schaumkeramikelemente (Filter oder Katalysatoren) könnten eine Alternative zu elektrostatischen Abscheidern darstellen.

Vorgehensweise

Drei unterschiedlich alte Schaumkeramikfilter und ein Nachrüst-Schaumkeramikatalysator wurden in einem Kaminofen mit Hilfe eines „realitätsnahen“ Prüfzyklus bestehend aus 8 Abbränden pro Wiederholung (5 bei Volllast inklusive Anheizen und 3 bei Teillast) getestet. Der Katalysator wurde von Linder Katalysatoren GmbH zur Verfügung gestellt (Pt-, Pd und Rh-beschichtet). Die gemessenen Rauchgasemissionen wurden mit den Ergebnissen einer Referenzmessung mit einem „Dummy-Element“, welcher einen vergleichbaren Druckverlust wie das Schaumkeramikelement aufweist, verglichen. Darüber hinaus wurden einige Vorversuche durchgeführt, um den Druckverlust der Einbauten und das Strömungsverhalten des Rauchgases im Ofen zu bestimmen.

Ergebnisse

Schaumkeramikfilter ohne Katalysatorbeschichtung liefern keine nennenswerte Emissionsminderung unter Praxisbedingungen im Vergleich zum Dummy (CO-Reduktion um 13 %, Nicht-Methan-org.-C: 3 %, Staub-Emissionen: 4 %). Bei der katalytisch beschichteten Schaumkeramik waren die Reduktionseffekte dagegen signifikant: 46 % für CO, 21 % für Nicht-Methan-org.-C und 10% für Staub. Im Teillastbetrieb wurde ein ähnliches Ergebnis erzielt. Die nicht-katalytischen Filterelemente wiesen wieder keine nennenswerte Verbesserung auf. Beim Katalysator blieben die Reduktionsraten auf dem gleichen Niveau wie bei Volllast: 47 % für CO, 23 % für Nicht-Methan-org.-C und 12 % für Staub. Es konnte keine Wirkung auf die Stickoxidkonzentration im Abgas beobachtet werden. Weiterhin haben die Vorversuche gezeigt, dass der Rauchgasstrom vermutlich nicht vollständig durch das Keramikelement geleitet wird und hier weitere Optimierungen möglich sind.

Fazit

Katalytisch beschichtete Schaumkeramikelemente können die Emissionen von Kaminöfen (CO, org.-C sowie Staub) signifikant reduzieren. Zur endgültigen Beurteilung sollten die Ergebnisse noch durch Langzeitversuche ergänzt werden. Die erwartete Staubminderung durch reine Schaumkeramikfilter konnte nicht beobachtet werden.



Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum
für Nachwachsende Rohstoffe



7. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“

Wirkung eines katalytisch aktiven Schaumkeramikeinbaus im Kaminofen

9. März, 2016, Leipzig

Robert Mack • Hans Hartmann

P 16 B Mo 002




Nachrüstbarer Katalysator für Kaminöfen

Technische Daten (vom Hersteller ausgewiesen):

Hersteller	Linder Katalysatoren GmbH	
Thermische Beständigkeit	> 1450 °C	
Trägermaterial	SiC- Schaumkeramik (SiC – SiO ₂ + 3 C → SiC + 2 CO und Al ₂ O ₃) (Al ₂ O ₃ Komponenten gebrannt bei 2300-2500°C)	
Beschichtung	Platin (Pt78), Palladium (Pa45), Rhodium (Rh46)	
Minderung von Struktur	CO, OGC, NO _x , PM > 70% offeneporige Oberfläche	
Verfügbare Porositäten	PPI 8, PPI 10, PPI 20, PPI 30,	

Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
159 Mo 43

Folie 3



Verwendete Filter zur Überprüfung der Langzeitwirkung von Schaumkeramikfiltern

Neue Schaumkeramik



Porosität: 35 ppi

Schaumkeramik nach 200 Abbränden



Schaumkeramik nach 2 Heizperioden ca. 550 Abbrände
(Schaumkeramik wurde nach erste Heizperiode gewaschen)

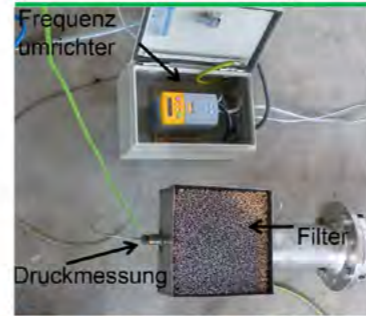


Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
159 Mo 42

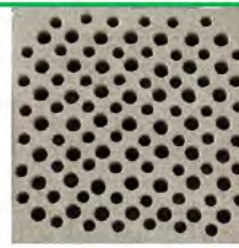
Folie 2



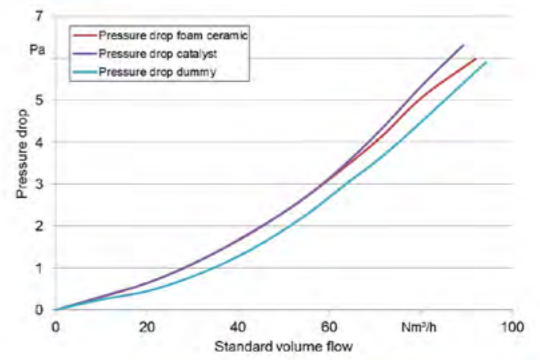
Herstellung einer gleichwertigen Strömungsbremse ("Dummy"-Filter)



Frequenzumrichter
Druckmessung
Filter
Strömungsgeschwindigkeit
Lüfter




TFZ-Dummy:
Material: Vermiculite (25 mm)
Bohrungen: 8 and 10 mm



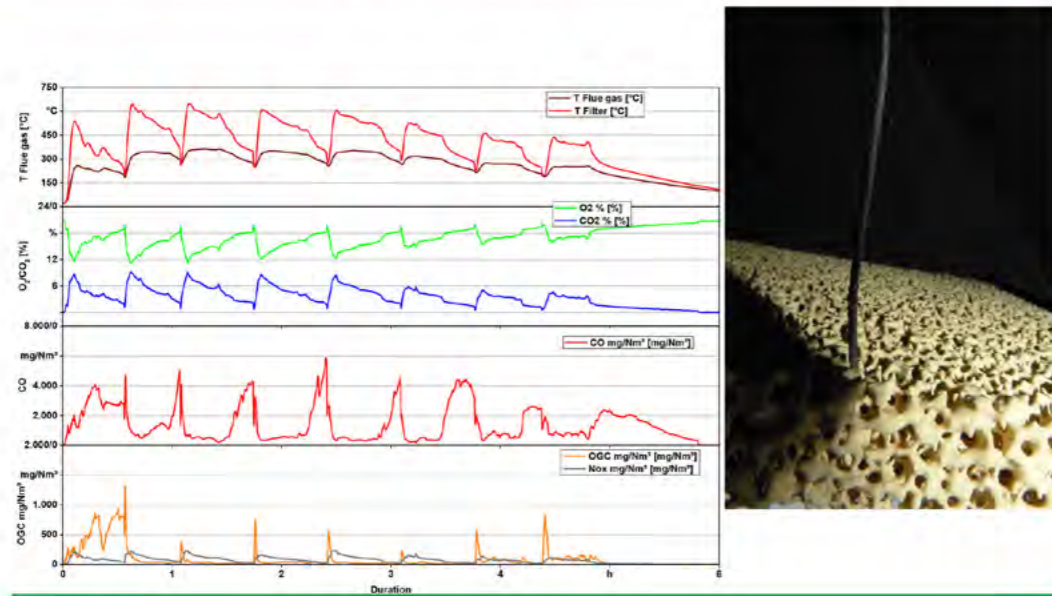
Pressure drop (Pa) vs. Standard volume flow (Nm³/h)

Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
159 Mo 43

Folie 4



Messung der Filter / Katalysatortemperatur



Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
150 Mo 44
Folie 5



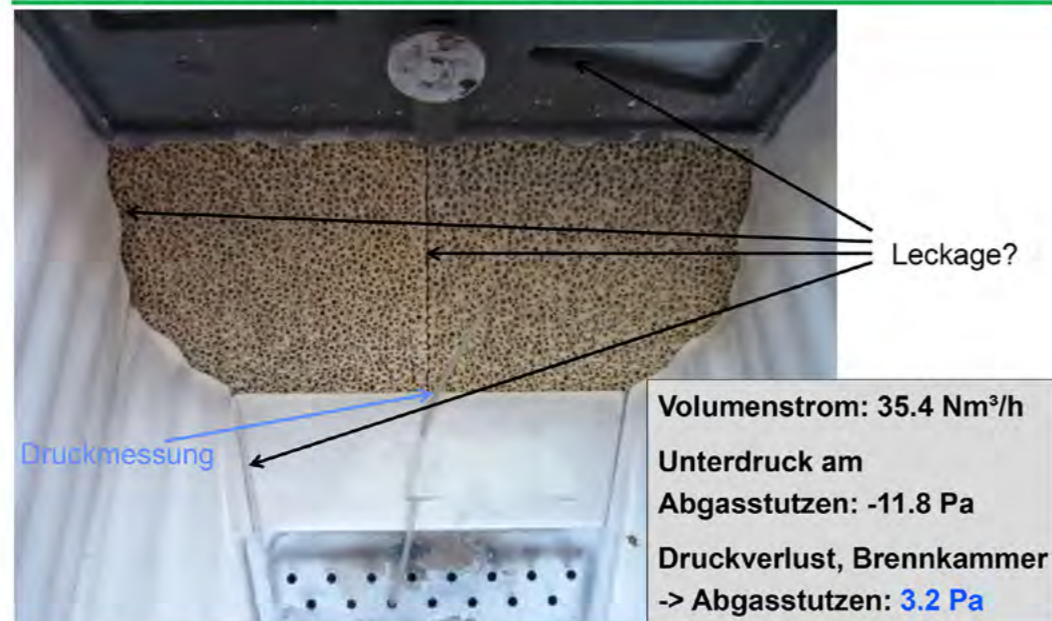
Bestimmung des Strömungswegs der Abgase (2)



Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
Folie 7



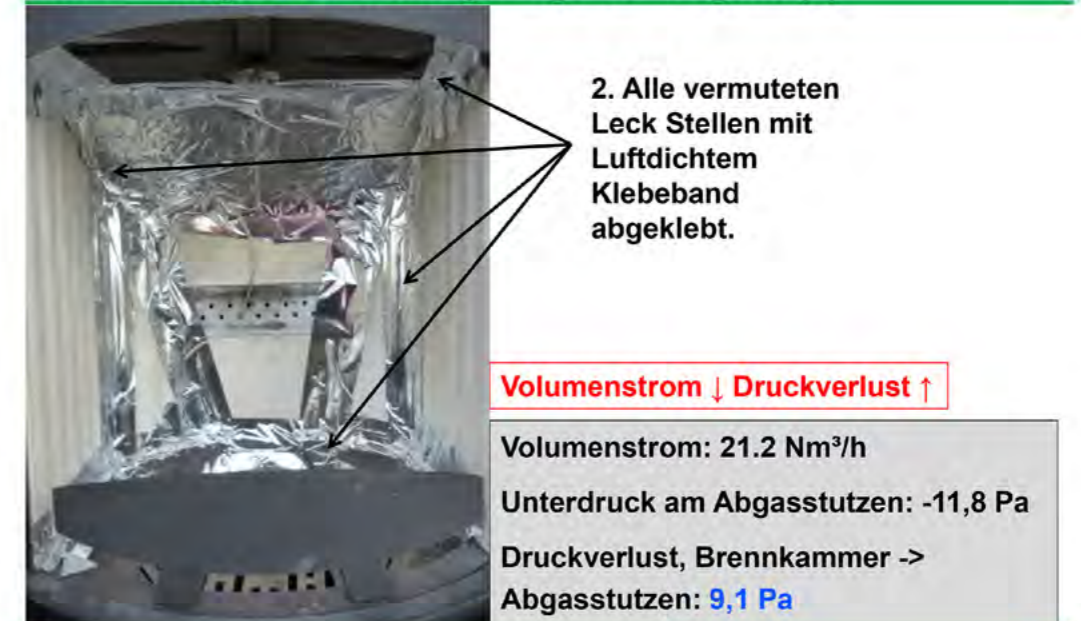
Bestimmung des Strömungswegs der Abgase



Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
150 Mo 44
Folie 6



Bestimmung des Strömungswegs der Abgase (3)



Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
Folie 8



Bestimmung des Strömungswegs der Abgase (4)



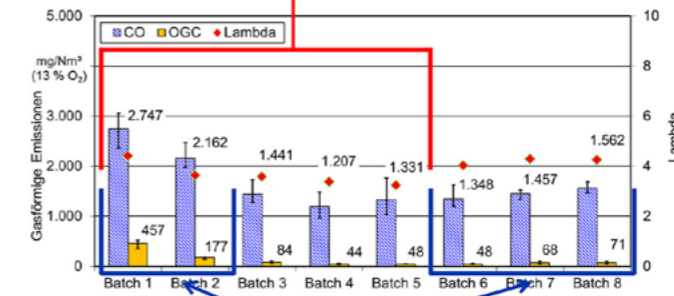
3. Luftdichtes Klebeband von den Filterplatten entfernt.

Vergleichbarer Volumenstrom und Druckverlust zu Variante 1.

Volumenstrom: 33.9 Nm³/h
 Unterdruck am Abgasstutzen: -12.0 Pa
 Druckverlust, Brennkammer -> Abgasstutzen: 3,9 Pa

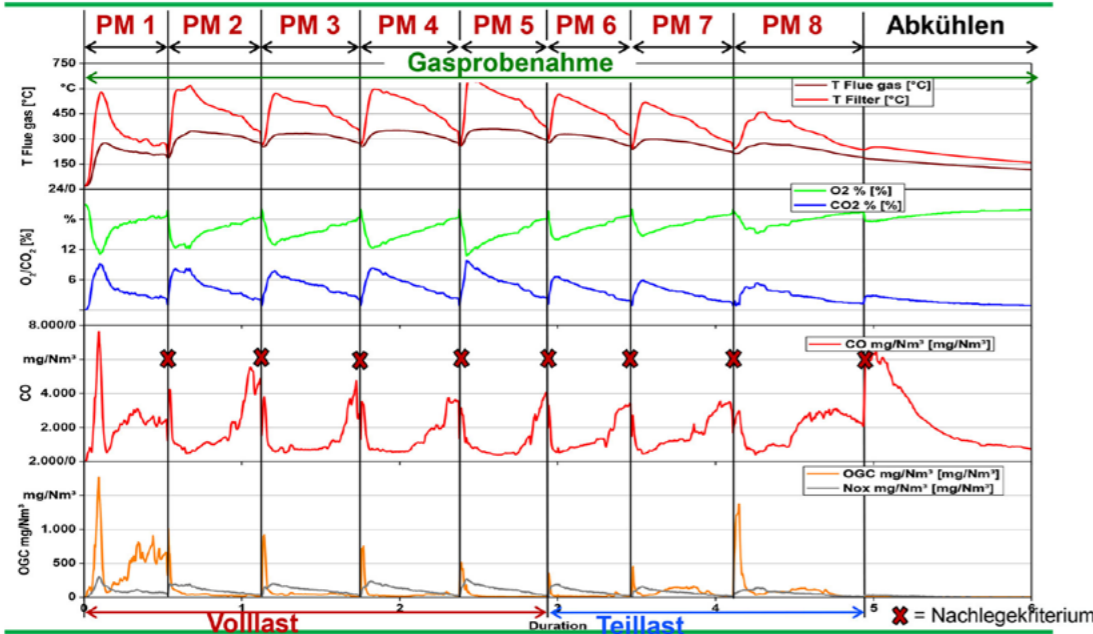
Auswertung der Messzyklen (Vollast und Teillast)

Volllast: Zeitlich gewichteter Mittelwert aus Batch 1-5

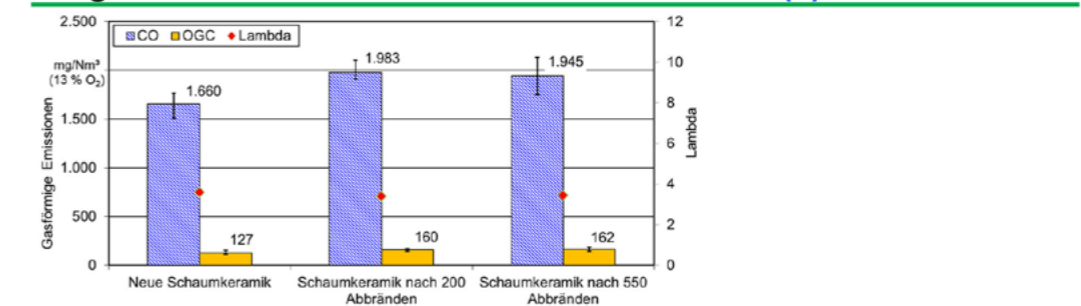


Teillast: Zeitlich gewichteter Mittelwert aus Batch 1,2,6,7,8

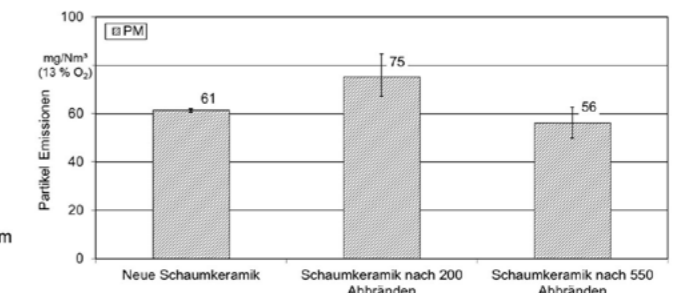
Übersicht zum verwendeten Prüfablauf



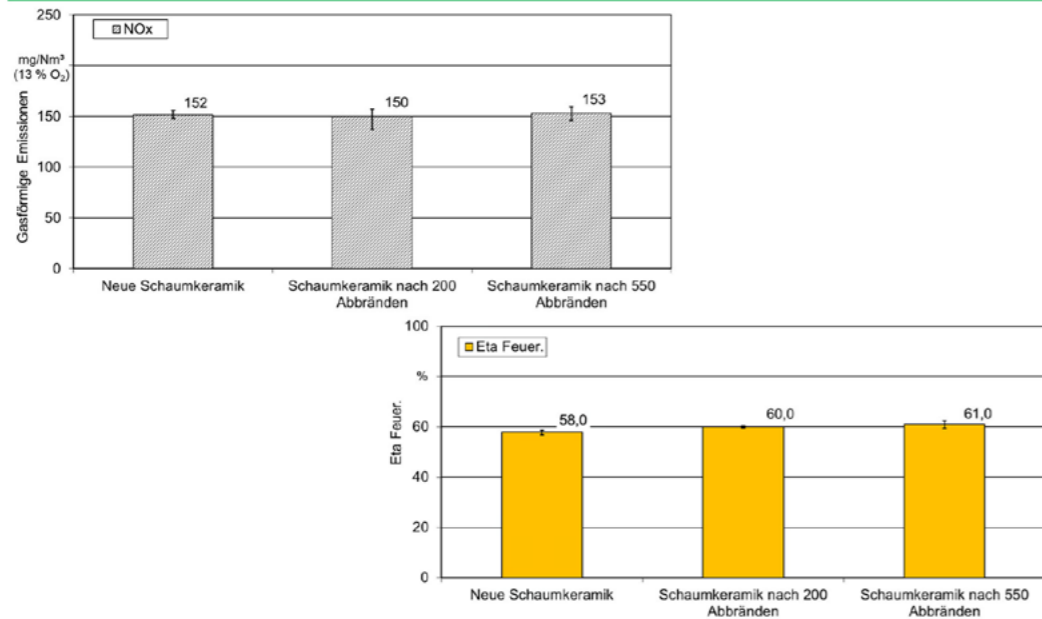
Vergleich der Schaumkeramik Filter: Volllast (1)



- 3 Messtage pro Schaumkeramik
- Alle Messungen an Naturzug
- Ein gewichteter Mittelwert aus Abbrand 1-5
- Gleiche Lufteinstellungen für alle Tests
- Brennstoff: Buche mit Rinde
- Staubprobenahme startet vor Nachlegen/Anzünden und endet vor nächstem Nachlegen



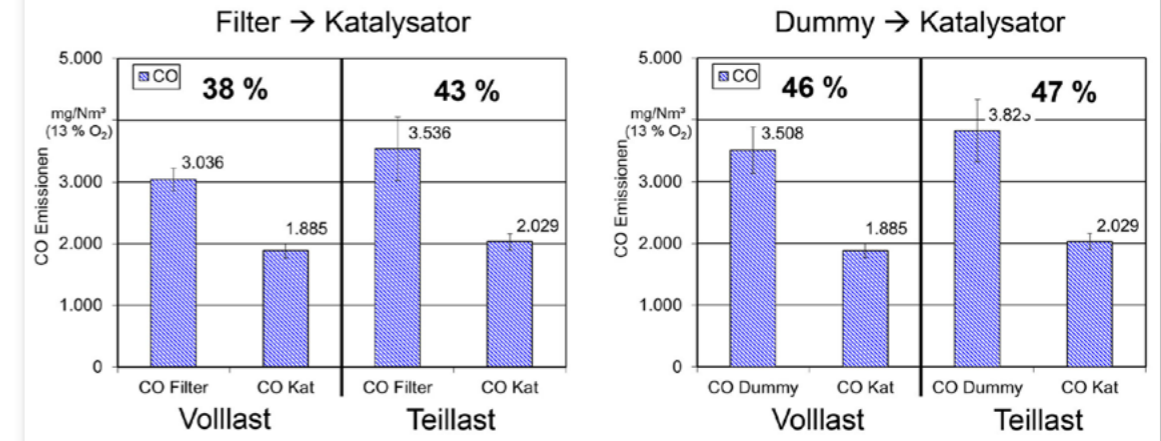
Vergleich der Schaumkeramik Filter: Vollast (2)



Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
15 B Mo 017 Folie 13



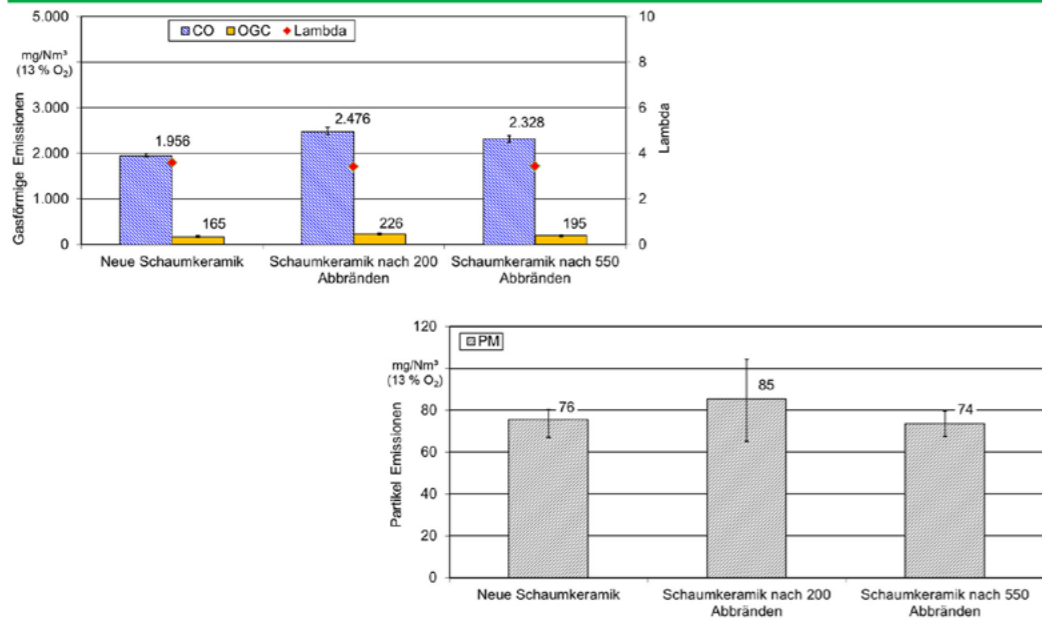
CO Umsetzung



Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
15 B Mo 017 Folie 15



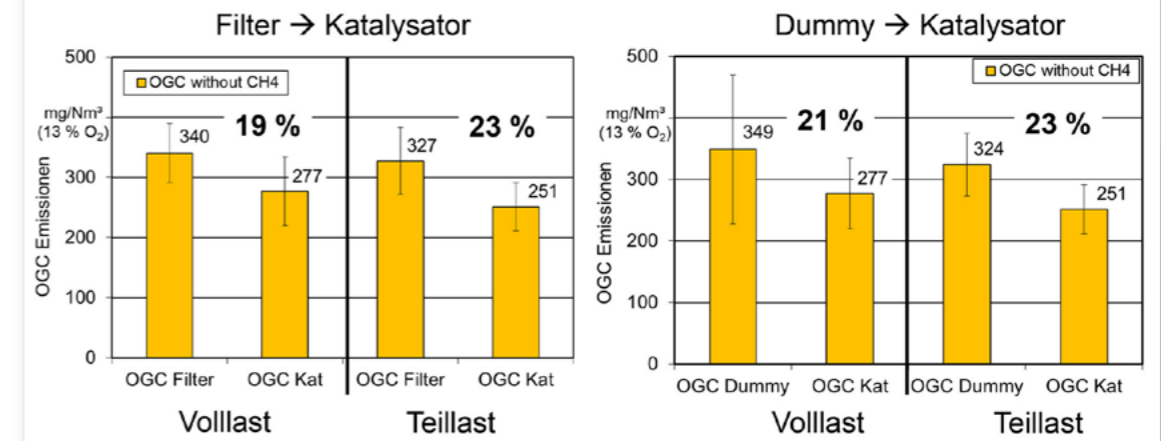
Vergleich der Schaumkeramik Filter: Teillast (1)



Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
15 B Mo 017 Folie 14



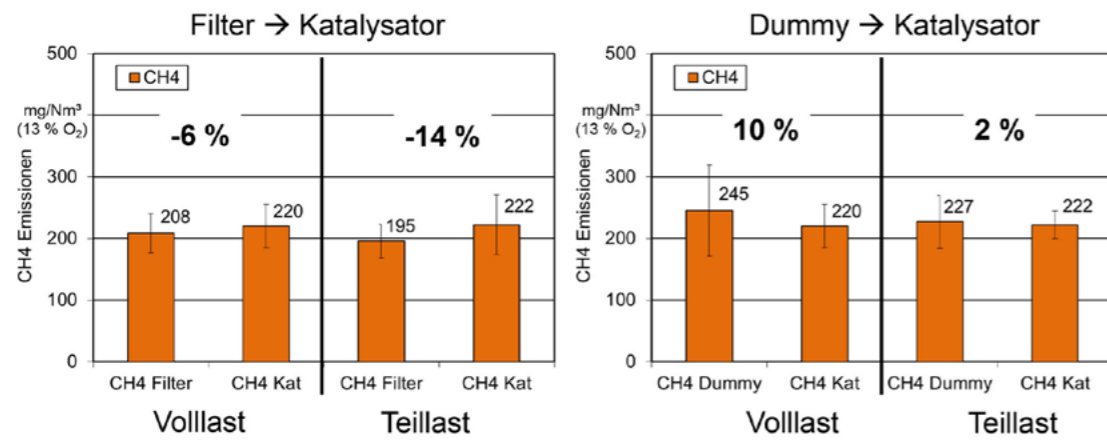
Nicht-Methan-OGC Umsetzung



Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
15 B Mo 017 Folie 16



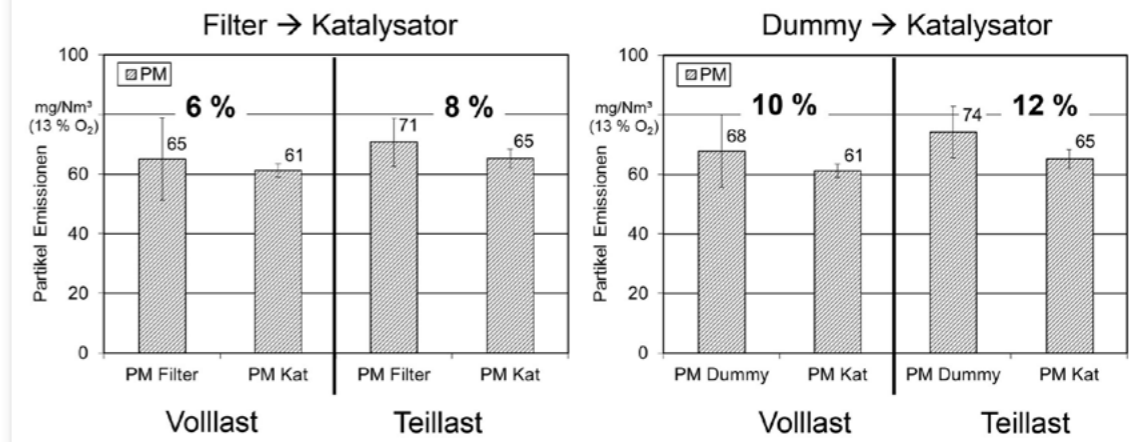
Methan Umsetzung



Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
16 B Mo 009 Folie 17



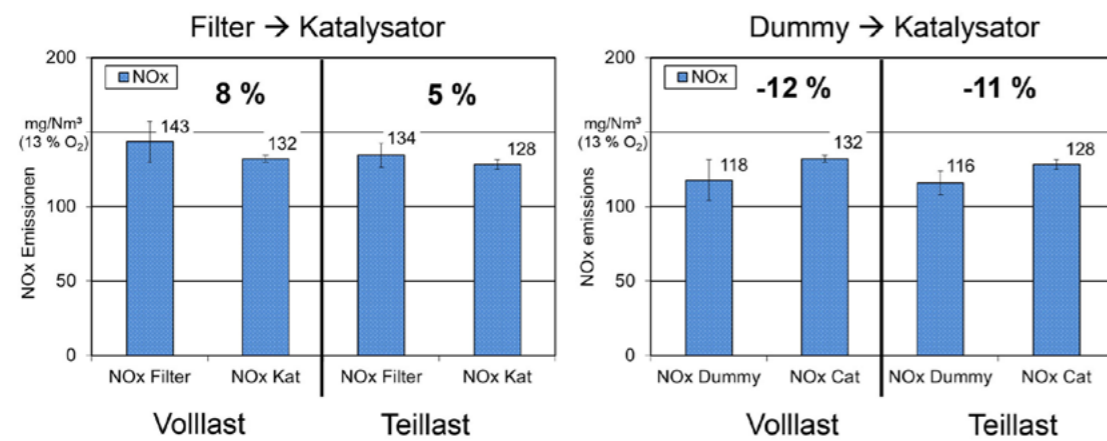
Staub Minderung



Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
16 B Mo 070 Folie 19



NO_x Umsetzung



Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
16 B Mo 074 Folie 18



Schlussfolgerungen

- Die erwartete Staubminderung durch Schaumkeramikfilter wurde nicht erreicht. (insbesondere für nichtkatalytische Elemente).
- Katalytisch aktive Schaumkeramikelemente können gasförmige Rauchgasemissionen reduzieren (CO, OGC).
- Es müssen noch Langzeitmessungen durchgeführt werden (evtl. Feldtests).
- Bezüglich der Strömungsführung durch die Schaumkeramik besteht noch Optimierungspotential.
- Es wäre wünschenswert höhere Oberflächentemperaturen (< 700 °C) am Katalysator zu erreichen.
- Die Nachrüstung von katalytischen Schaumkeramikelementen kann eine interessante Alternative darstellen.

Mack • Hartmann
P 16 B Mo 002
16 B Mo 070 Folie 20





Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum
für Nachwachsende Rohstoffe



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

www.tfz.straubing.de

P 16 B Mc 002

ZUSATZVERANSTALTUNG: STAUBMESSVERFAHREN AN KLEINFEUERUNGSANLAGEN

MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN PARTIKELZÄHLENDER VERFAHREN AN BIOMASSEFEUERUNGEN

Dr. Volker Lenz, Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ); Leipzig

Warum zählen? Möglichkeiten und Herausforderungen

Dr. Volker Lenz
 DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
 Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig
 Tel.: +49 (0)341 2434-450
 Fax: +49 (0)341 2434-133
 E-Mail: volker.lenz@dbfz.de
 Web: www.dbfz.de

Die erste Bundesimmissionsschutzverordnung legt für Biomassekleinfeuerungsanlagen Staubgrenzwerte als Emissionsgrenzwerte gemessen in Masse je Abgasvolumenstrom fest. Auch die TA Luft begrenzt Staubemissionen in der gleichen Einheit. Die Europäische Union gibt ihre Immissionsgrenzwerte an Staub in der Luft ebenfalls als Massenkonzentration an. Insofern ist das deutsche Referenzverfahren zur (Fein-)staubbestimmung auch auf die Bestimmung einer Massenkonzentration ausgerichtet (VDI 2066). In einem aktuellen europäischen Projekt zur Frage der Feinstaubemissionserfassung aus Biomassefeuerungen wurde ebenfalls in der Empfehlung an der Messung von Staubmassen festgehalten.

Nichts desto trotz werden immer wieder mögliche Vorzüge einer Partikelzählung diskutiert. Dabei wird gerne auf die Grenzwerte bei Diesel-Fahrzeugen gemessen als Partikelanzahl verwiesen. Während die Gravimetrie einen erheblichen messtechnischen Aufwand mit sich bringt, gibt es mittlerweile vergleichsweise einfach zu bedienende Partikelzähler mit hoher Zählgenauigkeit. Zusätzlich zur Zählung aller Partikel kann eine Zählung nach Größenklassen erfolgen, so dass neben der Gesamtzahl auch eine Größenverteilung der Partikel erfasst werden kann.

Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass die toxikologische Relevanz der (Fein-)staubemissionen sehr wesentlich an die Größe der Partikel und die Inhaltsstoffe gebunden ist. Über beide Größen gibt eine Massenerfassung keine Auskunft. Im Unterschied dazu gibt die Partikelgrößenverteilung bei frischen Abgasen aus Feuerungen hilfreiche Informationen über die Größe und die Art der Partikel. Dadurch könnte mittels der Partikelklassierung der lange schon im Raum stehenden Forderung nach einer Berücksichtigung der toxikologischen Relevanz von Partikelemissionen Rechnung getragen werden.

Als Herausforderung steht dieser Chance die Veränderlichkeit der Partikelzahlen gegenüber. Durch Wachstums- und Agglomerationsprozesse, die insbesondere bei den hohen Partikelkonzentrationen direkt nach Biomassefeuerungen im Schornstein stattfinden, sinkt die Partikelzahl schnell ab, so dass der Messort erheblichen Einfluss auf das Messergebnis hat, d.h. nach der gleichen Feuerung können an zwei unterschiedlichen Messstellen zwei unterschiedliche Partikelanzahlverteilungen gemessen werden. Die Festlegung und Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten wird dadurch deutlich erschwert.

Sowohl für die Festlegung von Grenzwerten auf der Basis von Partikelzahlen oder Partikelgrößenverteilungen als auch für die Nutzung der Daten für Forschungszwecke ist eine sehr genaue Festlegung des Messortes und des Messzeitpunktes erforderlich.

Gesundheitliche Effekte von Feinstaub

Verschiedenste Studien belegen einen Zusammenhang zwischen Partikelimmissionen und negativen Gesundheitseffekten!

Mortality	RR je 10 µg/m³ PM2.5	95% Confidence interval
Total	1.06	1.02 to 1.11
Heart & lung	1.09	1.03 to 1.16
Lung cancer	1.14	1.04 to 1.23
other	1.01	0.95 to 1.06

Als Folge der signifikanten toxikologischen Relevanz des Feinstaubes sind in EU Immissionsgrenzwerte erlassen worden (max. 35 Tage mit mehr als 50 µg/m³) – häufige Überschreitungen in Städten.

Eigenschaften von Feinstäuben aus Biomassefeuerungen

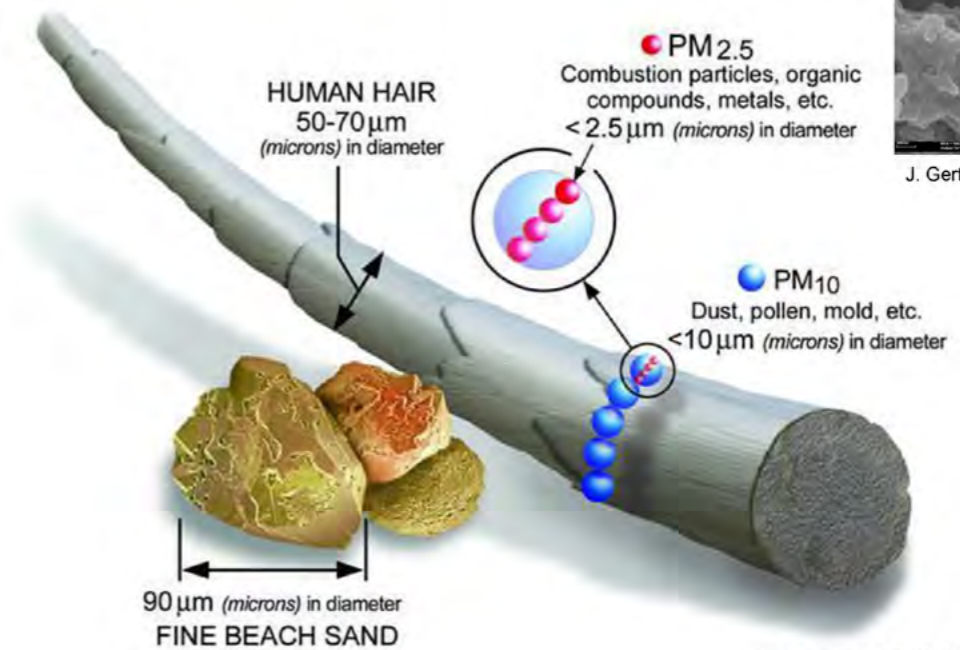


- Massenkonzentration mg/m³ i.N.
- Inhaltsstoffe der Staubfracht
- Größe der Partikel
- Form der Partikel
- Wasser- bzw. Fett-Löslichkeit
- Elektrische Leitfähigkeit

GESAMTMASSE (Total Mass) sagt nichts über die Qualität der Feinstäube.

3

Was ist Feinstaub?

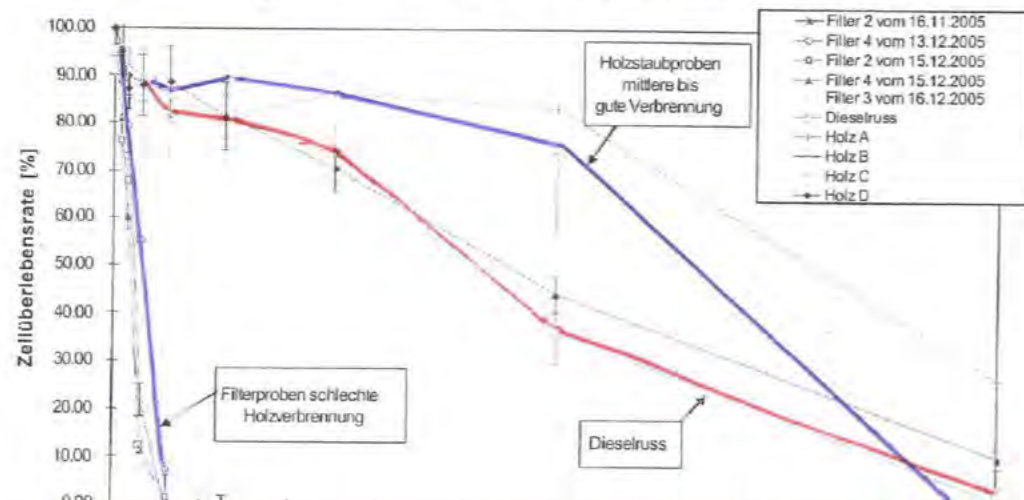


5

Erste Einschätzungen zur Toxizität von Biomasse-Feinstäuben im Vergleich



Biologische Zelltests: Holzruss im Vergleich zu Dieseleruss

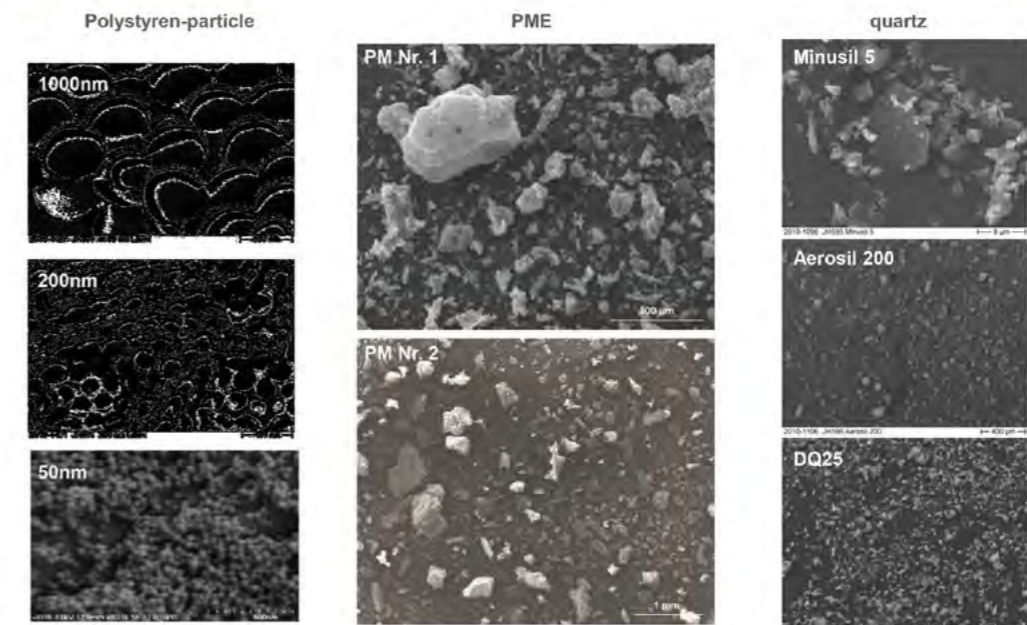


Chemische Zusammensetzung der Partikel hat signifikanten Einfluss auf die toxikologische Relevanz der Partikel.

Klippel, 2007 aus Health Phys. 12, 173 und Huch et al., 2003 and Klippel and Nussbaumer, 2005

4

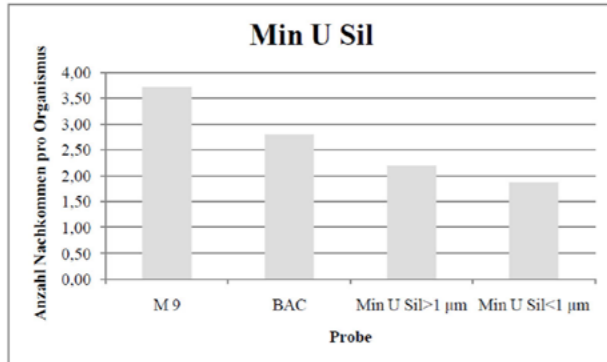
Identifying influence of physical properties of the particles



6

Formabhängigkeit –

Nematodentest nach ISO 10872; Endpunkt: Reproduktion



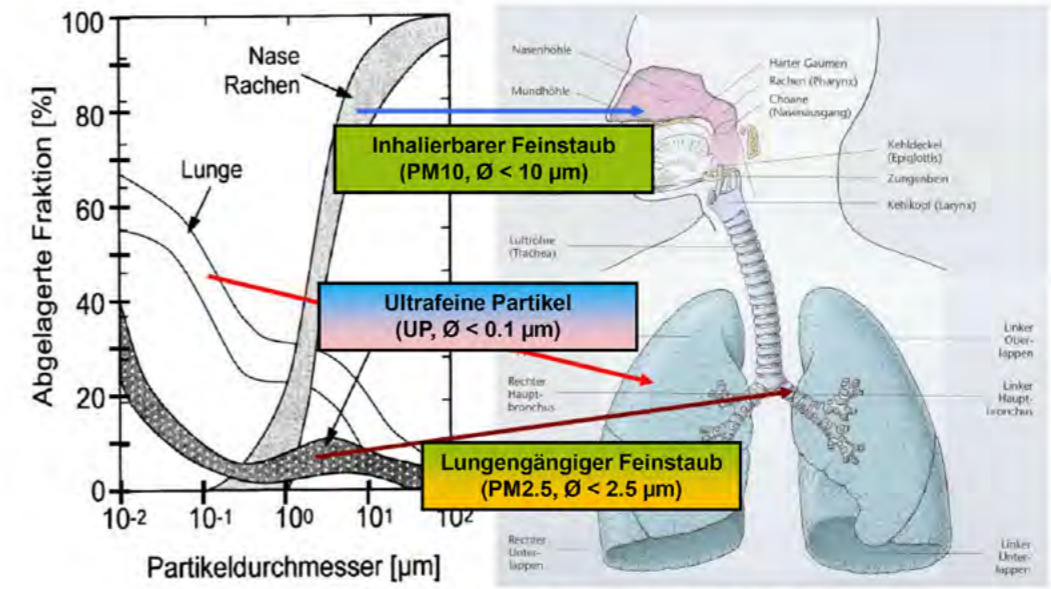
- Scharfkantige Quarz-Partikel 0-5 µm, durch Zentrifugation 0-1µm oder 1-5µm
- Hypothese: mechanische Verletzung durch scharfe Partikel < 1 µm (Partikel < 1µm können aufgenommen werden)

Ergebnis: Unterschied in der Nachkommenzahl der Nematoden nach 72h Inkubation nur gering

→ vermutlich kein Verletzungspotential durch Partikel

Partikelform hat nur geringen Einfluss auf die toxikologische Relevanz von Feinstäuben (außer sehr spitz).

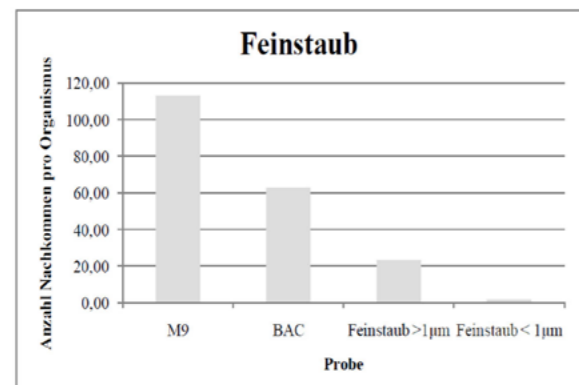
Partikelablagerung im Atemtrakt



Klippel, 2007 aus Health Phys. 12, 173 und Huch et al., 2003

Größenabhängigkeit

Nematodentest nach ISO 10872; Endpunkt: Reproduktion



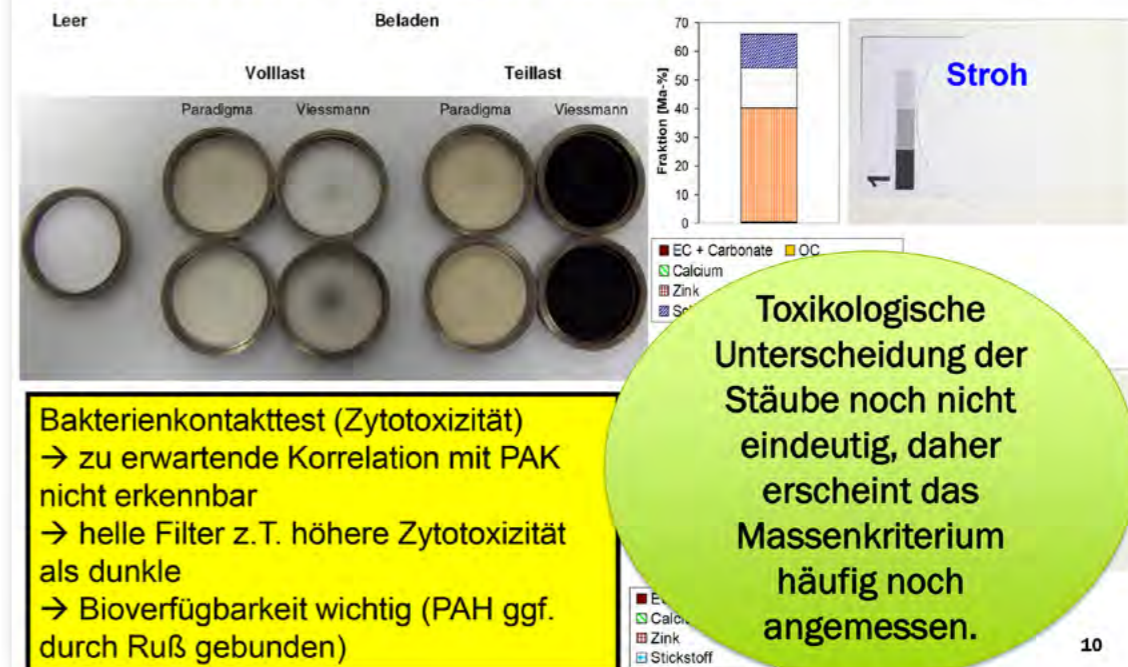
- Feinstaubsuspension ultrabeschallt und zentrifugiert; Partikelgröße < 1µm oder > 1µm
- Hypothese: Partikel < 1µm wirken als Carrier für Schadstoffe (PAK)

deutlicher Effekt auf die Nachkommenzahl nach 96h Inkubation unabhängig der Partikelgröße

Aber: stärkere Wirkung bei Partikeln < 1µm
→ Carrier-Effekt von kleinen Partikeln erhöht die Bioverfügbarkeit der Toxine

Partikelgröße definiert Lungengängigkeit – Carrierfunktion wächst mit sinkender Größe!

Auswirkungen von Laständerung am Beispiel Pelletkessel – Ist weißer Staub unkritisch?



Bakterienkontakttest (Zytotoxizität)
→ zu erwartende Korrelation mit PAK nicht erkennbar
→ helle Filter z.T. höhere Zytotoxizität als dunkle
→ Bioverfügbarkeit wichtig (PAH ggf. durch Ruß gebunden)

Toxikologische Unterscheidung der Stäube noch nicht eindeutig, daher erscheint das Massenkriterium häufig noch angemessen.

Indizien für toxikologische Relevanz von Feinstäuben



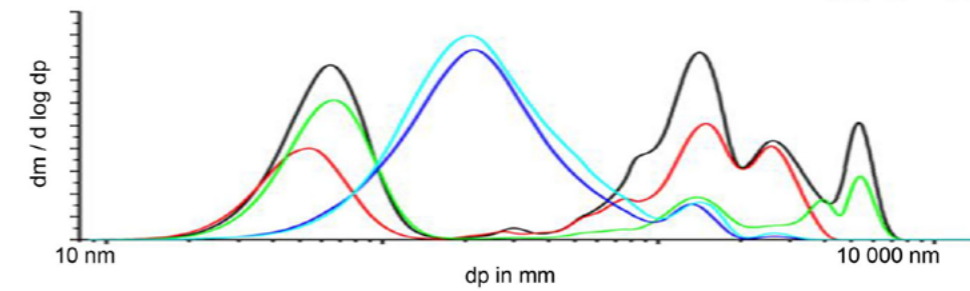
- Größe entscheidend für die Eindringtiefe der Partikel.
- Toxikologische Relevanz hängt an Stoffgruppe und Verfügbarkeit (z.B. PAK besonders kritisch, wenn sie nicht an Ruß gebunden sind).

GESAMTMASSE (Total Mass) sagt weder etwas über die Größe, die Stoffgruppe noch die Verfügbarkeit aus.

Abgas aus Biomassefeuerungen



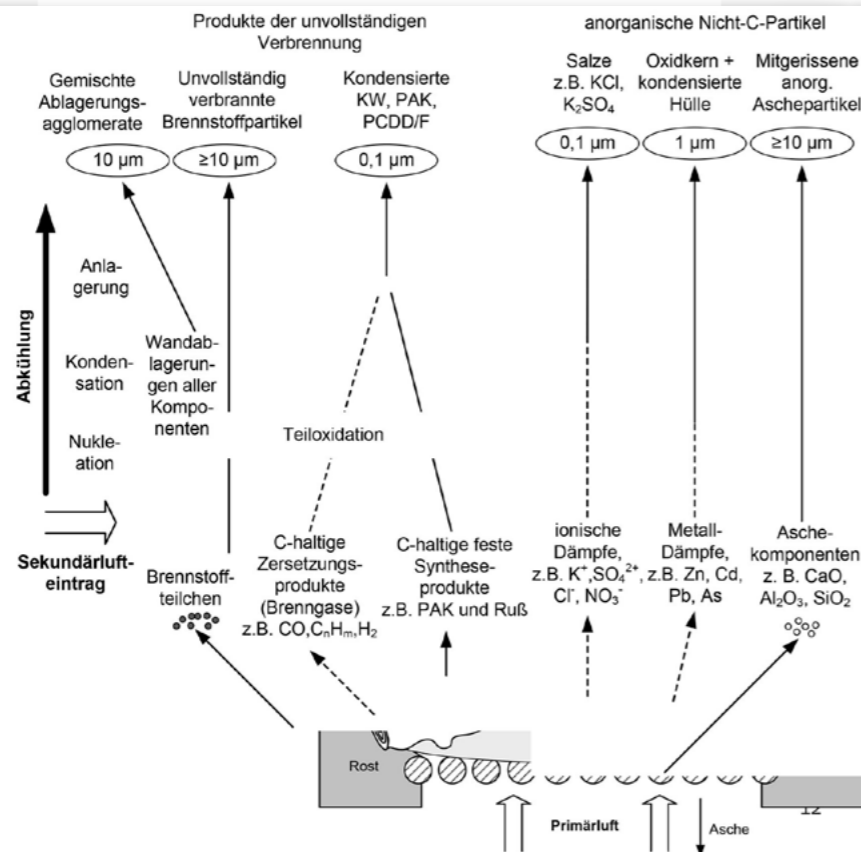
Partikelgrößenverteilung im Abgas aus Biomassefeuerungen



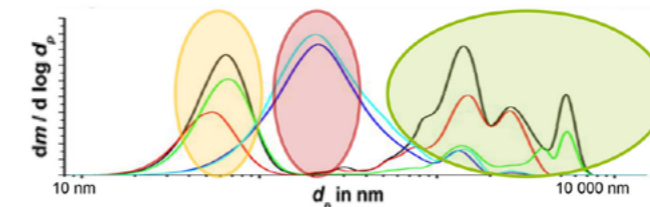
Partikelgrößenverteilung verändert sich:

- je nach Brennstoff
- je nach Verbrennungsphase (Anzündvorgang, quasikontinuierliche Verbrennung und Ausbrand)
- je nach Lastanforderung

Feinstaubbildung



Abgas aus Biomassefeuerungen



- Anorganische Salz-Partikel:**
 $d_p < 100 \text{ nm}$ (Ultrafeinstaub)
 • Alkali-Salze aus den Komponenten $K^+, Na^+, SO_4^{2-}, Cl^-, OH^-, CO_3^{2-}, NO_3^-$
- Anorganische Ruß-Partikel und OC:**
 $d_p \approx 100 \text{ nm}$ (Feinstaub)
 • Ruß
 • Anlagerung von Organik-Komponenten wie PAK, Phenole und andere semi- bzw. schwerflüchtige OC sowie PCDD/F durch Adsorption
- Anorganische oxidische Partikel:**
 $100 \text{ nm} < d_p < 10\,000 \text{ nm}$
 • Oxide von Schwermetallen (Zn, Fe, Mn u.a. in Spuren wie Cr, Cu, Pb, Cd)
 • Kondensation von Alkali-Komponenten

- Anorganische Aschepartikel und unverbrannte Brennstoffpartikel:**
 $d_p > 10\,000 \text{ nm}$
 • Erdalkali-/Übergangsmetall-Verbindungen (Ca, Mg, Al, Fe als Oxide, Sulfate, Silikate, Phosphate)
 • Kohlenstoff-Verbindungen

Warum zählen? Möglichkeiten



- Partikelanzahl kann gut erfasst werden.
- Partikel können nach Größe sortiert gezählt werden.
- Bei „frischen“ Partikeln sagt die Größe etwas über die Zusammensetzung aus.
- Bei „frischen“ Partikeln sagt das Größenspektrum etwas über die Verfügbarkeit besonders kritischer Stoffe aus.

PARTIKELKLASSIERTE ZÄHLUNG gibt Aussage über die Größe, die Stoffgruppen und die Verfügbarkeit.

15

Deutsches Biomasseforschungszentrum

gemeinnützige GmbH



Smart Bioenergy – Innovationen für eine nachhaltige Zukunft

Ansprechpartner

Dr. Volker Lenz
Tel. +49 (0)341 2434 – 450
E-Mail: Volker.Lenz@dbfz.de

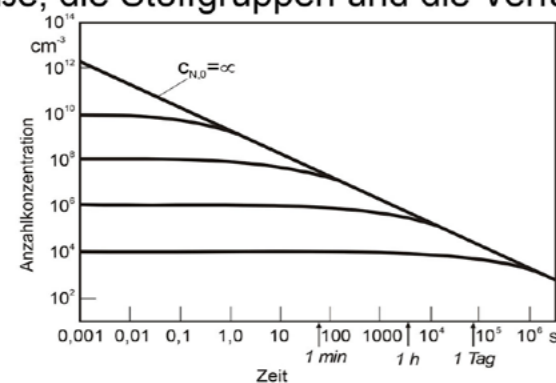
DBFZ Deutsches
Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116
D-04347 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 2434 – 112
E-Mail: info@dbfz.de
www.dbfz.de

Warum zählen? Möglichkeiten und Herausforderungen



PARTIKELKLASSIERTE ZÄHLUNG gibt Aussage über die Größe, die Stoffgruppen und die Verfügbarkeit.



monodisperse Koagulation
Quelle: Kaltschmitt, Hartmann,
Hofbauer: Energie aus Biomasse

Sekundärpartikel,
Feuchtigkeit, UV-
Einstrahlung

ABER: Partikel altern – Anzahl, Größenverteilung und Zusammensetzung ändert sich mit der Zeit.

16

Prof. Dr. Alfred Wiedensohler, Leibniz-Institut für Troposphärenforschung, Leipzig

Möglichkeiten und Grenzen partikelzählender Verfahren

Prof. Dr. Alfred Wiedensohler

Abteilungsleiter Experimentelle Aerosol- und Wolkenmikrophysik

Permoserstraße 15, 04318 Leipzig

Tel.: +49 (0)341 2717-7062

E-Mail: alfred.wiedensohler@tropos.de

Web: www.tropos.de

Allgemeine Aerosol-Definitionen

Partikel-Durchmesser-Definitionen

Physikalischen Messprinzipien zur Bestimmung der "Partikel- Anzahlgrößenverteilung"

Mobilitäts-Partikelgrößenspektrometer

Randbedingungen zur Messung von Partikeleigenschaften aus Verbrennungsprozessen

Möglichkeiten und Grenzen Partikelzählender Verfahren

Alfred Wiedensohler
Leibniz-Institut für Troposphärenforschung
World Calibration Center for Aerosol Physics
Permoserstr.15, 04318 Leipzig

Fachgespräch „Staubmessverfahren an Kleinfeuerungsanlagen“
8. März 2016, Leipzig

Member of



Leibniz Association



TROPOS
Leibniz Institute for
Tropospheric Research

Vortrags-Überblick

- Allgemeine Aerosol-Definitionen
- Partikel-Durchmesser-Definitionen
- Physikalischen Messprinzipien zur Bestimmung der "Partikel- Anzahlgrößenverteilung"
- Mobilitäts-Partikelgrößenspektrometer
- Randbedingungen zur Messung von Partikeleigenschaften aus Verbrennungsprozessen

Definitionen

Definition "Aerosol"
Feste und/oder flüssige Partikel schwebend in einem Gas

Grobe Partikel
 Partikel größer als 1 µm im Durchmesser > 1µm

Feine Partikel
 Partikel kleiner als 1 µm im Durchmesser

Akkumulations-Größenbereich 100 nm - 1 µm

Ultrafeine Partikel
 Partikel kleiner als 100 nm im Durchmesser

Aitken-Größenbereich 10 - 100 nm
 Nukleations-Größenbereich 1 - 10 nm

Partikel aus Verbrennungsprozessen sind in der Regel < 1 µm und haben einen mittleren Durchmesser von ~ 100 nm

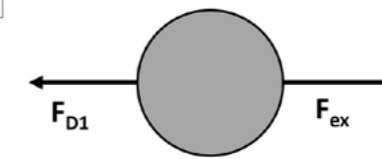
Mobilitäts-(Stokes)-Partikeldurchmesser

Der Stokes-Durchmesser ist für eine gleichförmige Bewegung definiert, bei der die externe Kraft gleich der Widerstandskraft ist (keine Abhängigkeit von der Partikeldichte)

$$\vec{u}_p = \text{konstant} \rightarrow \text{Stokes-Gesetz}$$

$$\vec{F}_{ex} = \vec{F}_D = \frac{3\pi \cdot \eta \cdot \vec{u}_p \cdot D_p}{C_C}$$


$$\frac{\vec{u}_p}{\vec{F}_D} = B = \frac{C_C}{3\pi \cdot \eta \cdot D_p}$$



- Für kugelförmige Partikel kann der Stokes-Durchmesser durch die Widerstandskraft und die Partikel-Geschwindigkeit bestimmt werden $\rightarrow D_{p,St}$
- Für kugelförmige Partikel ist der Stokes-Durchmesser gleich dem geometrischen und dem volumenäquivalenten Durchmesser $\rightarrow D_{p1,Ve}$

Partikel-Durchmesser-Definitionen

1. Mobilitäts-Partikeldurchmesser (Stokes-Gesetz)
 → gleiche Mobilität in einer gleichförmigen Bewegung
2. Aerodynamischer Partikeldurchmesser
 → gleiche Geschwindigkeit nach einer beschleunigten Bewegung
3. Optischer Partikeldurchmesser
 → gleiche Lichtstreuung in einem bestimmten Winkelbereich

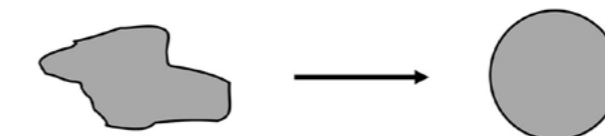


Für nicht-kugelförmige Partikel ist der äquivalente Stokes-Durchmesser $D_{p2,St} = D_{p1,St}$

→ $\vec{u}_{p2} / \vec{F}_{D2} = B_2 = B_1 = \vec{u}_{p1} / \vec{F}_{D1}$

Der volumenäquivalente Durchmesser eines nicht-kugelförmigen Partikels kann berechnet werden, wenn der dynamische Formfaktor bekannt ist.

$$\vec{F}_D = \frac{3\pi \cdot \eta \cdot \vec{u}_p \cdot D_{p,Ve}}{C_C} \cdot \chi \rightarrow D_{p,Ve} = \frac{D_{p,St}}{\chi}$$



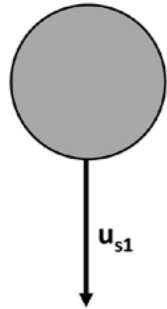
Der volumenäquivalente Durchmesser $D_{p2,Ve} < D_{p1,Ve}$

Aerodynamischer Partikeldurchmesser

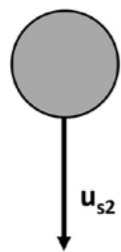
Der aerodynamische Durchmesser wird dann benutzt, wenn die Geschwindigkeit nach einer Beschleunigung als Maßstab für die Partikelgröße genommen wird (abhängig von der Partikeldichte).

Beispiel: Sedimentations-Geschwindigkeit

$$\bar{u}_s = \frac{\rho_p \cdot D_p^2 \cdot C_C \cdot \bar{g}}{18\eta} = \frac{\rho_o \cdot D_{p,Ae}^2 \cdot C_C \cdot \bar{g}}{18\eta}$$



Der aerodynamische Partikeldurchmesser durch folgende Annahme berechnet werden: $\rho_p = \rho_o = 1$

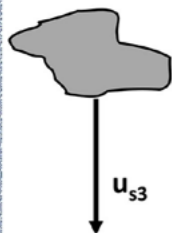


Ist die Partikeldichte $\rho_p \neq 1$ und die Sedimentations-Geschwindigkeiten $\bar{u}_{s2} = \bar{u}_{s1}$, dann sind die aerodynamischen Durchmesser gleich: $D_{p2,Ae} = D_{p1,Ae}$

Der Stokes-Durchmesser kann von aerodynamischen Durchmesser berechnet werden, wenn die Partikeldichte bekannt ist.

Für kugelförmige Partikel mit der Dichte $\rho_p \neq 1$, kann der der Stokes- bzw. der volumenäquivalente Durchmesser aus dem aerodynamische Durchmesser wie folgt berechnet werden.

$$D_{p2,St} = D_{p2,Ve} = D_{p1,Ae} \sqrt{\frac{\rho_o}{\rho_p}}$$

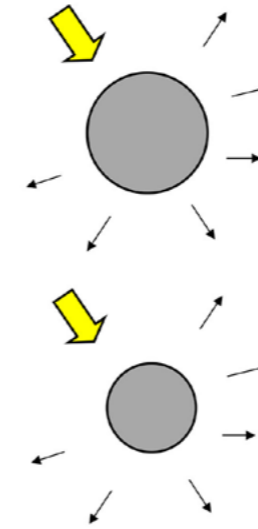


Ist die Partikeldichte $\rho_p \neq 1$ und der Formfaktor $\chi \neq 1$ und die Sedimentation-Geschwindigkeiten gleich $\bar{u}_{s3} = \bar{u}_{s1}$, dann sind die aerodynamischen Durchmesser gleich $D_{p3,Ae} = D_{p1,Ae}$. Der volumenäquivalente Durchmesser ist dann:

$$D_{p3,Ve} = D_{p1,Ae} \sqrt{\frac{\rho_o}{\rho_p} \chi}$$

Optische Partikeldurchmesser

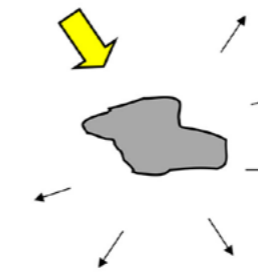
The optische Partikeldurchmesser basiert auf die Partikel-Lichtstreuung σ_p , wenn es beleuchtet wird.



Ein kugelförmiges Partikel mit bekanntem Stokes-Durchmesser (**Latex-Partikel-Kalibrierung**) und einem bekannten Brechungsindex (**Latex**) zeigt eine bestimmte Partikel-Lichtstreu-Intensität σ_p . Der optische Partikeldurchmesser ist dann identisch dem Stokes-Durchmesser des Latex-Partikels:

$$D_{p1,Opt} = D_{p1,St} = D_{p1,Latex}$$

Ein kugelförmiges Partikel mit unbekannter Größe und Brechungsindex, aber mit der gleichen Partikel-Lichtstreu-Intensität $\sigma_{p2} = \sigma_{p1}$ hat den gleichen optischen Partikeldurchmesser $D_{p2,Opt} = D_{p1,Opt}$



Ein nicht-kugelförmiges Partikel mit unbekannter Größe und Brechungsindex, aber mit der gleichen Partikel-Lichtstreu-Intensität $\sigma_{p3} = \sigma_{p1}$ hat den gleichen optischen Partikeldurchmesser $D_{p3,Opt} = D_{p1,Opt}$

Partikel-Größenverteilungen kugelförmiger Partikel lassen sich mit bekanntem Brechungsindex über die Mie-Theorie in den Stokes-Durchmesser umrechnen.

Dies ist für nicht-kugelförmige Partikel nicht trivial möglich.

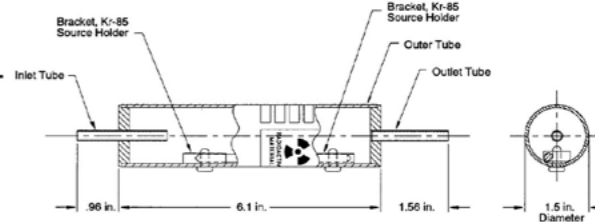
Messprinzipien und -Instrumente

- Aerodynamisches Partikelgrößenspektrometer
 - abhängig von der Partikel-Relaxationszeit (Trägheit)
 - $D_p > 0,7 \mu\text{m}$
 - **nicht geeignet** für Anzahlgrößenverteilungen
- Optische Partikelgrößenspektrometer
 - abhängig von Lichtstreuung: $D_p >$ als Wellenlänge
 - $D_p > 0,3 \mu\text{m}$
 - **nicht gut geeignet** für Anzahlgrößenverteilungen
- Mobilitäts-Partikelgrößenspektrometer
 - abhängig von der elektrischen Mobilität
 - $10 \text{ nm} < D_p < 1000 \text{ nm}$
 - **am besten geeignet** für Anzahlgrößenverteilungen von Verbrennungs-Aerosolen

Bipolarer Diffusionsauflader (z.B. TSI-type Kr⁸⁵)

Vorteile der bipolaren Landungs- verteilung

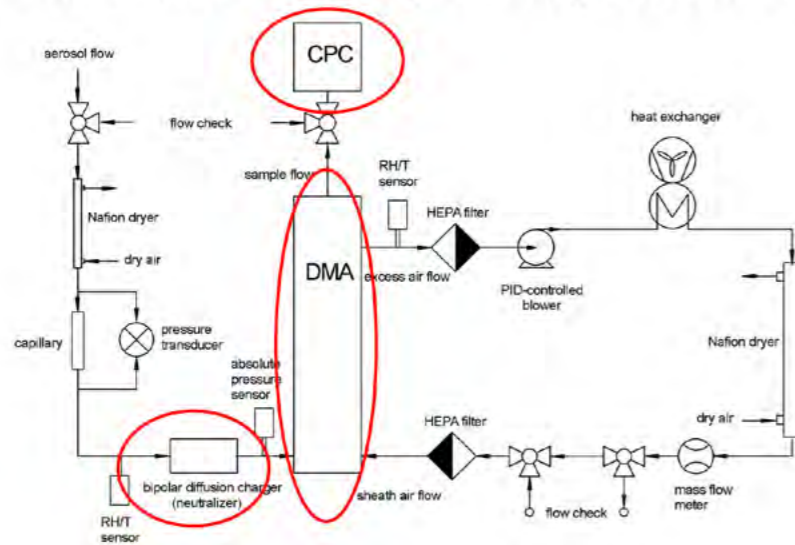
- **Zeitunabhängige Aufladung**
- Schmale Verteilung unter 300 nm
- **Bekannt für den ganzen sub-mikrometer Größenbereich**
- Einfach zu berechnen



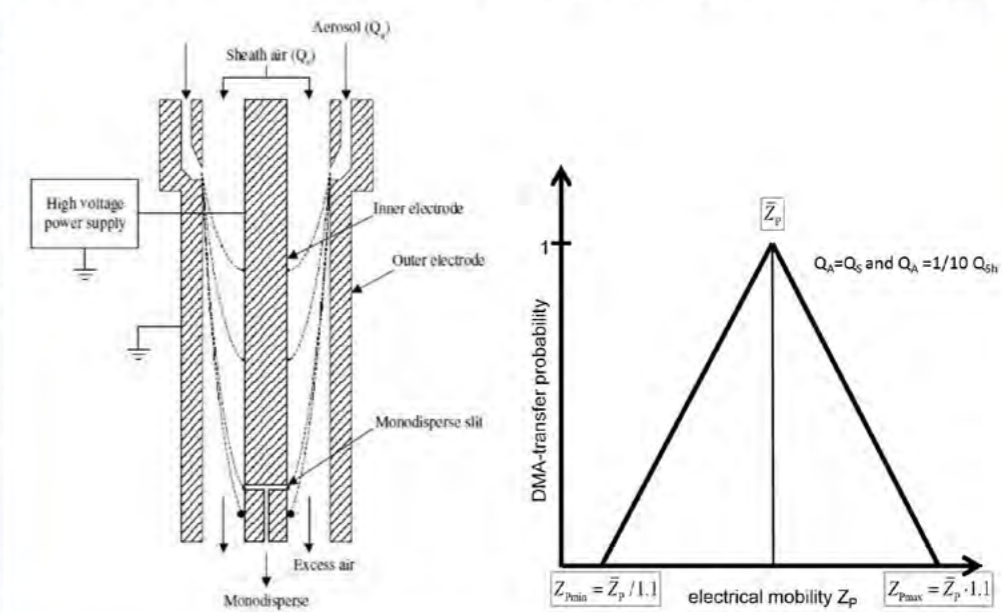
Nachteile der bipolaren Landungs- verteilung

- Breite Verteilung über 300 nm
- Geringe Aufladung unter 10 nm

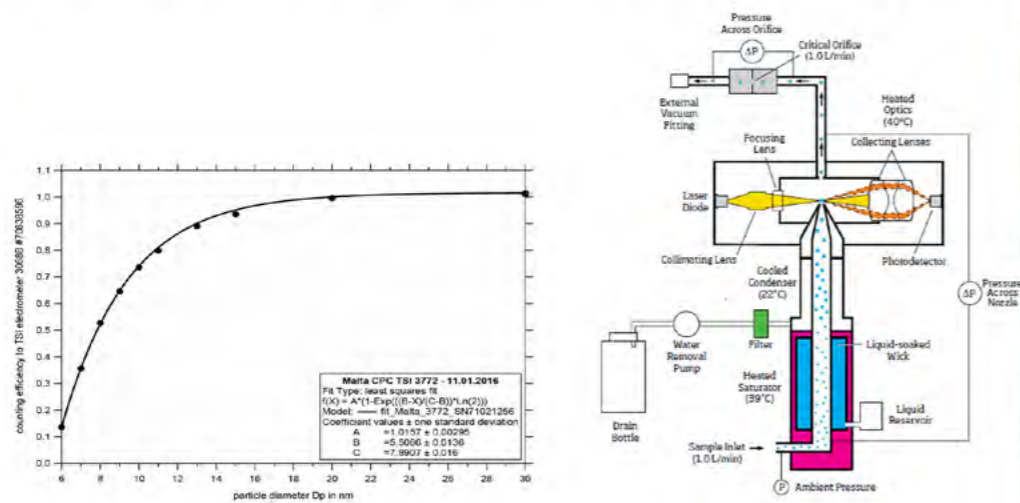
Mobilitäts-Partikelgrößenspektrometer



Differentieller Mobilitätsanalysator (z.B. Hauke-type)

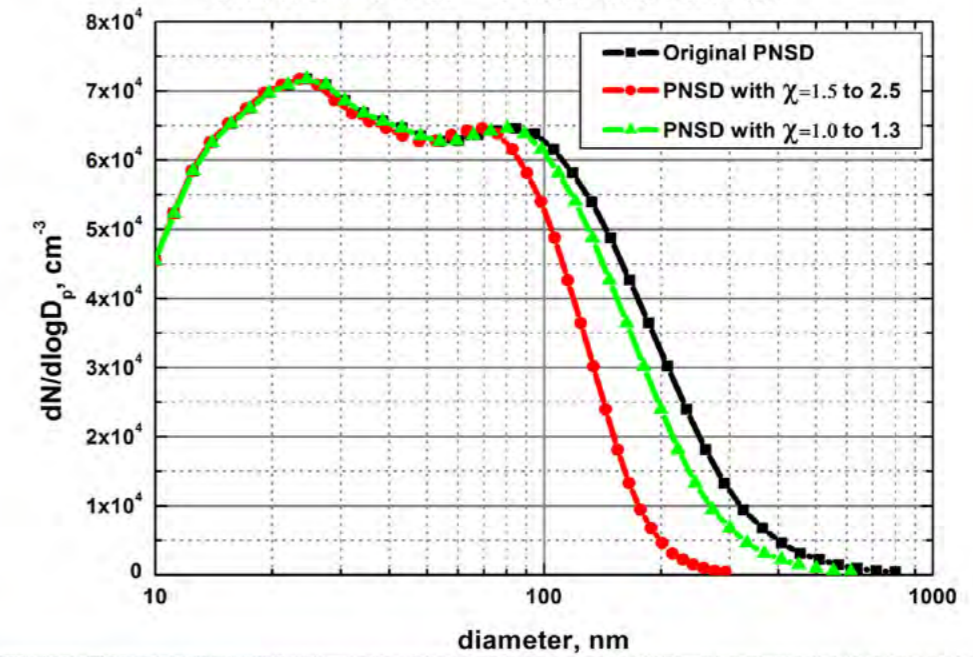


Kondensations-Partikelzähler (z.B. TSI-3772)



Partikel-Anzahlgrößenverteilung

Taft Ave. Manila: ~ 100% Ruß-Partikel



Randbedingungen zur Messung von Partikeleigenschaften aus Verbrennungsprozessen

- Je nach Verbrennung kann die Partikel-Anzahlkonzentration 10^5 - 10^8 #/cm³ betragen.
- Zur Gewährleistung einer plausiblen Größenverteilungs-Messung sollte die Partikel-Anzahlkonzentration auf Werte zwischen 10^5 - 10^6 #/cm³ reduziert werden.
- Der bipolare Diffusionsauflader ist z.B. nur in der Lage max. eine Partikel-Anzahlkonzentration von 10^6 #/cm³ ins Ladungsgleichgewicht zu bringen.
- Es muss eine Verdünnung um einen Faktor 10-1000 mit trockener und partikelfreier Luft erfolgen.
- Die Verdünnung hat den Zusatzeffekt, dass das Verbrennungsaerosol getrocknet und abgekühlt wird.
- Empfehlenswert ist die Partikel-Anzahlgrößenverteilung (Stokes-Durchmesser) mit einem größenabhängigen Formfaktor (z.B. für Rußpartikel) zu korrigieren (volumen-äquivalenter Durchmesser).

Dr. Alejandro Keller, Fachhochschule Nordwestschweiz, Windisch/Schweiz

Masse, Anzahl und weitere Metriken: Bestimmung von Emissionsfaktoren für Partikelemissionen aus Systemen zur Biomasseverbrennung

Dr. Alejandro Keller, Heinz Burtscher

Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Aerosol- und Sensortechnik

Klosterzelgstrasse 2, 5210 Windisch/Schweiz

Tel.: +41 56 202 74 84

Fax: +41 56 202 76 01

E-Mail: alejandro.keller@fhnw.ch

Web: www.fhnw.ch/technik/iast

Es ist gut bekannt dass die Emissionen aus Systemen zur Biomasseverbrennung einen grossen Einfluss auf Klima und Gesundheit haben. Trotzdem haben nur wenige Länder strenge Grenzwerte für diese Emissionen. Die Europäische Union arbeitet an einer Regelung für alle Mitgliedsstaaten. Die deutsche Gesetzgebung sieht bereits heute relativ strenge Grenzwerte bei der Typenprüfung vor und schreibt eine Feldüberwachung mit kontinuierlichen oder quasi-kontinuierlichen Messverfahren vor. Bis heute basieren diese Grenzwerte auf der Partikelmasse. Chemische Zusammensetzung und Partikelgrösse werden dabei nicht berücksichtigt. Die Diskussion, ob das die beste Metrik ist oder was es für Alternativen gibt ist im Gang.

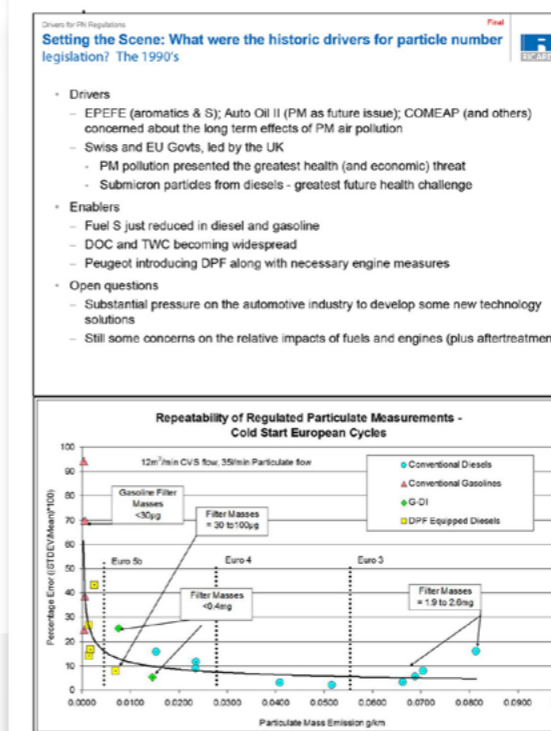
Es wird zunehmend klarer, dass eine stärkere Gewichtung der kleinen Partikel, wie es bei einer Messung von Anzahl oder Oberfläche der Fall ist, die Gesundheitsrisiken besser abbildet. Auf der Immissionsseite werden seit langem nur kleinere Partikel Berücksichtigt. Es wird PM10 (Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser ($dp < 10\mu m$) oder zunehmend PM2.5 ($dp < 2.5\mu m$) gemessen. Für Dieselfahrzeuge wurde schon vor einiger Zeit auf europäische Ebenen im Rahmen des PMP-Programms ein Anzahlgrenzwert eingeführt. Dadurch konnte der Einsatz von effizienten Partikelfiltern erzwungen werden, welche die Emissionen sehr stark reduzierten.

Im Bereich der Luftreinhaltung werden auch Ansätze, bei denen die Zusammensetzung berücksichtigt wird diskutiert, insbesondere eine Messung/Begrenzung des elementaren Kohlenstoffs. Im Beitrag wird auf das Anzahlverfahren für Fahrzeuge eingegangen und mit den Anforderungen bei der Biomasseverbrennung verglichen. Dies wird anhand von eigenen Messungen und Literaturdaten diskutiert. Neben der Bestimmung von Emissionsfaktoren wird auch auf den Einsatz zur Bestimmung der Effizienz von Partikelabscheidern eingegangen. Im Weiteren werden auch Vorschläge zur Berücksichtigung der Zusammensetzung gemacht. Ziel ist es, die Diskussion anzuregen, wie eine zukünftige Metrik aussehen könnte, die besser mit der Verbrennungsqualität verknüpft ist, besser mit Immissionsdaten korreliert und die Gesundheitsrisiken besser abbildet.

Masse, Anzahl und weitere Metriken Bestimmung von Emissionsfaktoren für Partikelemissionen aus Systemen zur Biomasseverbrennung

Alejandro Keller und Heinz Burtscher
Institut für Aerosol- und Sensortechnik (IAST)
Fachhochschule Nordwestschweiz
Windisch, Schweiz

alejandro.keller@fhnw.ch



Anzahl-Basierte Normen: Ursprung

- Feinstaub, vor allem aus Diesel Fahrzeugen, wird als größte Gefahr für die öffentliche Gesundheit erkannt (Ende 90er Jahre).
- Ein Hersteller (Peugeot) installiert aus eigener Entscheidung Diesel Partikel Filter (DPF). Anzahl-basierte Emissionen werden damit bis in etwa 5 Größenordnungen reduziert.
- Gleichzeitig kommen die Emissionen von DPF-Fahrzeugen und von modernen Benzinmotoren an die Grenze von dessen, was mittels Gravimetrie messbar ist.
- 2001 wird die Suche nach einer neuen Europäischen Metrik durch das „Particle Measurement Programme“ (PMP) gestartet. Die Idee für Anzahl-Messungen kommt vor allem aus der Schweiz.

Folien: J. Andersson, 2015 ETH Nanoparticle Conference

A. Keller, Fachgespräch „Staubmessverfahren an Kleinfeuerungsanlagen“, Leipzig

08.03.2016

2

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz Hochschule für Technik

Entwicklung von Europäischen Emissionsgrenzwerten (Fahrzeuge)

- Keine Begrenzung von Partikelanzahl (PN) bis Euro 6/VI. Untersuchungen zeigen dass 1mg PM etwa $1-3 \times 10^{12}$ Partikel enthält.
- PN Normen sind viel strenger als die für Partikelmasse (PM).
- Euro 6/VI Normen entsprechen einer Partikelmasse von weniger als 1mg/km (oder 1mg/kWh). Dies kann nur mittels effizienter Partikelfilter erreicht werden. Diese tiefe Masse wäre durch Gravimetrie nicht nachweisbar.

A. Keller, Fachgespräch „Staubmessverfahren an Kleinf Feuerungsanlagen“, Leipzig 08.03.2016 3

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz Hochschule für Technik

Why Ultra Fine Particles (UFP)?

- UFP are particles with sizes smaller than 100nm.
- Proxy for traffic and particle formation.
- Better correlation with health effects (than PM10 or PM2.5).

Keep in mind: European Federation of Clean Air (EFCA) still supports a fraction approach both in size and composition (in particular for Black Carbon).

Bukowiecki et al., Atmos. Env. 2002

A. Keller, Fachgespräch „Staubmessverfahren an Kleinf Feuerungsanlagen“, Leipzig 08.03.2016 5

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz Hochschule für Technik

PMP (light- and heavy-duty vehicles)

An initiative by the authorities for emission regulations from a number of European countries resulted in the Particle Measurement Program (PMP). This program started in 2001 under the auspices of the UNECE WP29/GRPE group with the aim of recommendations for a new or additional PM measurement system to be used for EU type approval testing and the corresponding emission standards for both light- and heavy-duty vehicles. The objectives of the program are to identify the best metrics, to determine instruments and methods utilizing these metrics, and to investigate a test procedure.

In the PMP program the measurement of the number concentration of non-volatile particles has been recommended. A CVS system as primary dilution followed by a secondary dilution and a thermodiluter/thermodilutor to prevent nucleation has been proposed. The measurement should be done by a CPC. **The pragmatic approach of preventing nucleation (and at the same time excluding the volatile fraction) allowed a stable and reproducible measurement.**

For the European legislation this program resulted in a limitation of the particle number for solid particles larger than 23nm in addition to the existing mass limit for light and heavy duty diesel engines and now also for gasoline engines (this became necessary because direct injection gasoline engines emit much higher particle concentrations than conventional port injection engines).

The main goal of this program was to enforce the use of efficient particle filters, and in this sense it is a success. It allowed to achieve a very significant reduction in particle emissions. On the other hand the exclusion of the volatile fraction and the size limit of 23nm is still subject of many discussions.

The problem of applying the same methodology to wood combustion is on the one hand that the volatile fraction is much more important. Excluding the volatile fraction in wood burning would exclude the probably most important part in terms of health effects. In addition, the size distribution and chemical composition of diesel emissions have relatively small variations, for wood combustion emissions they are much. This reduces the relevance of the number concentration as indicator for health effects. Additionally, due to the size distribution variation, number concentration cannot serve as surrogate for a mass based standard in the case of wood combustion.

Source: EN-PME-TEST Position Paper (soon available under, e.g., www.bfe.admin.ch)

A. Keller, Fachgespräch „Staubmessverfahren an Kleinf Feuerungsanlagen“, Leipzig 08.03.2016 4

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz Hochschule für Technik

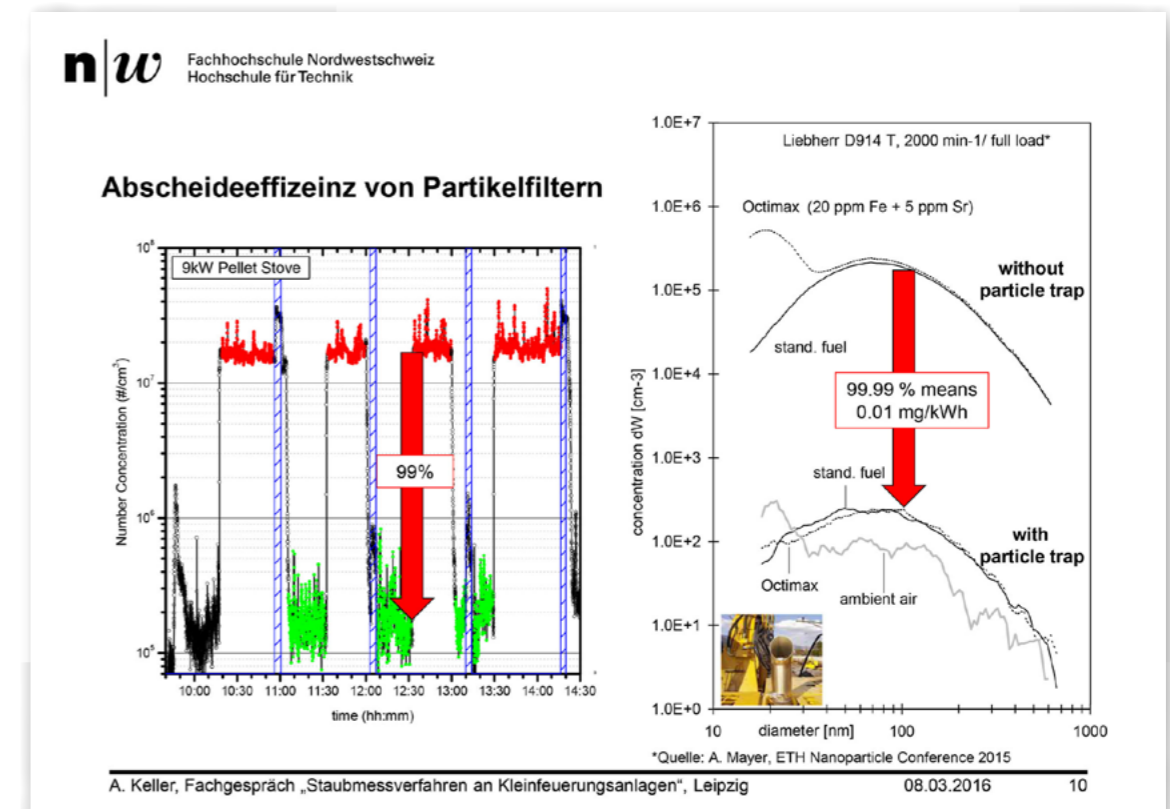
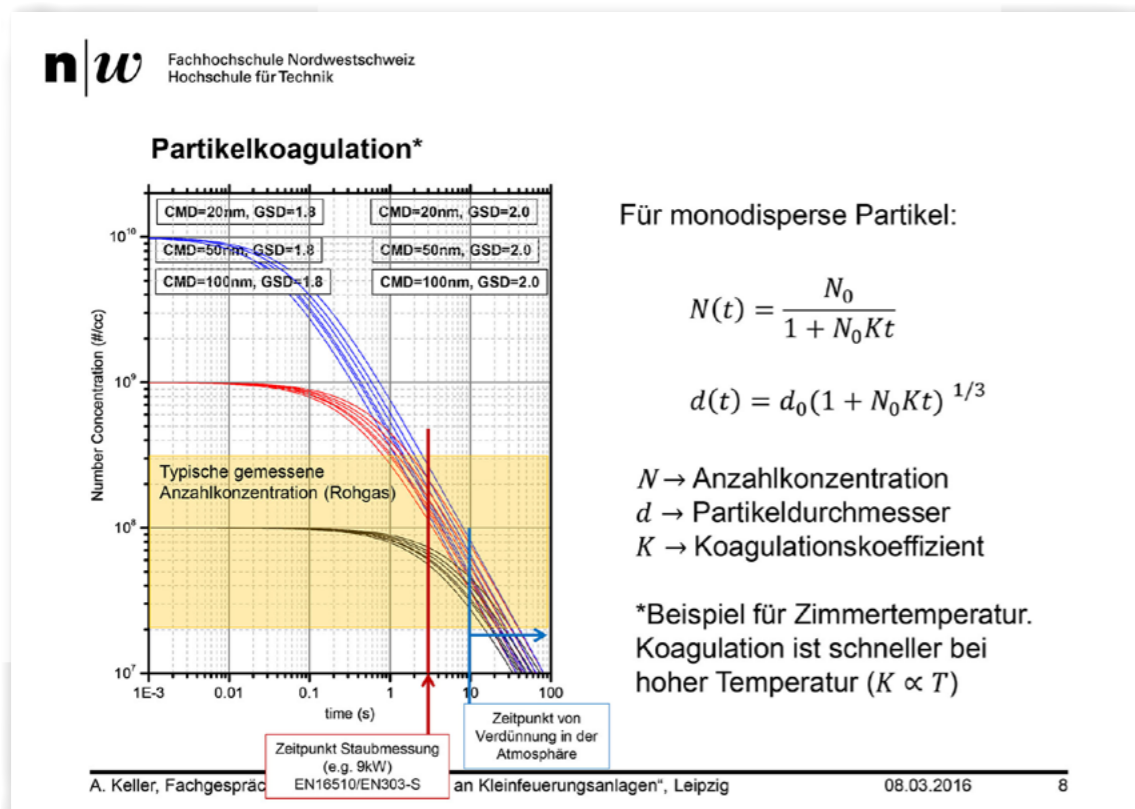
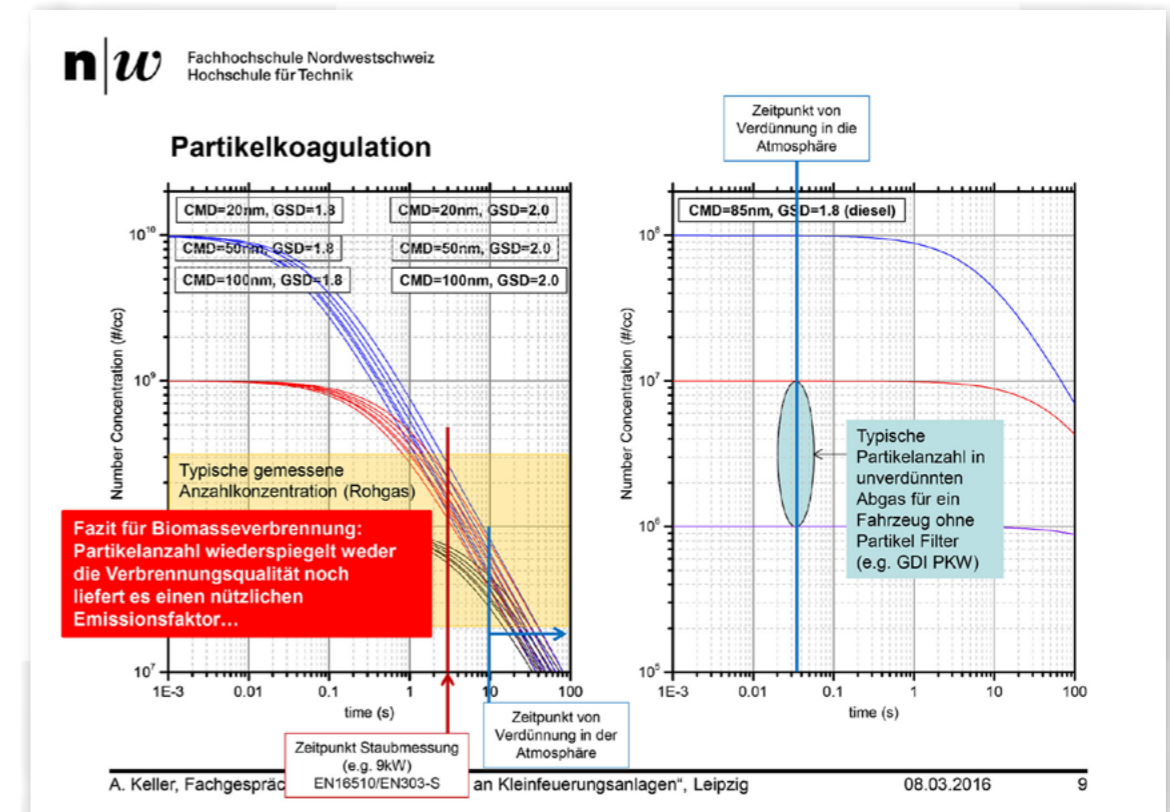
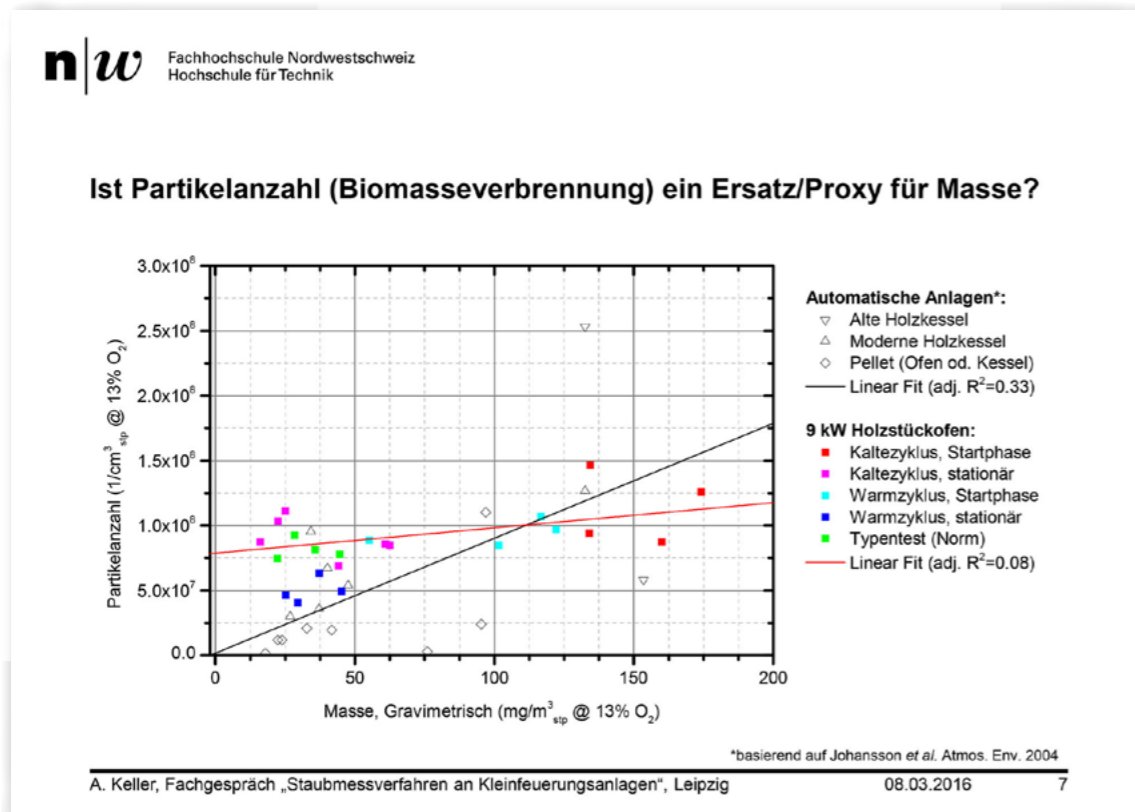
Health Effect for Particle Number Concentration (PNC) and Mass (PM2.5)*

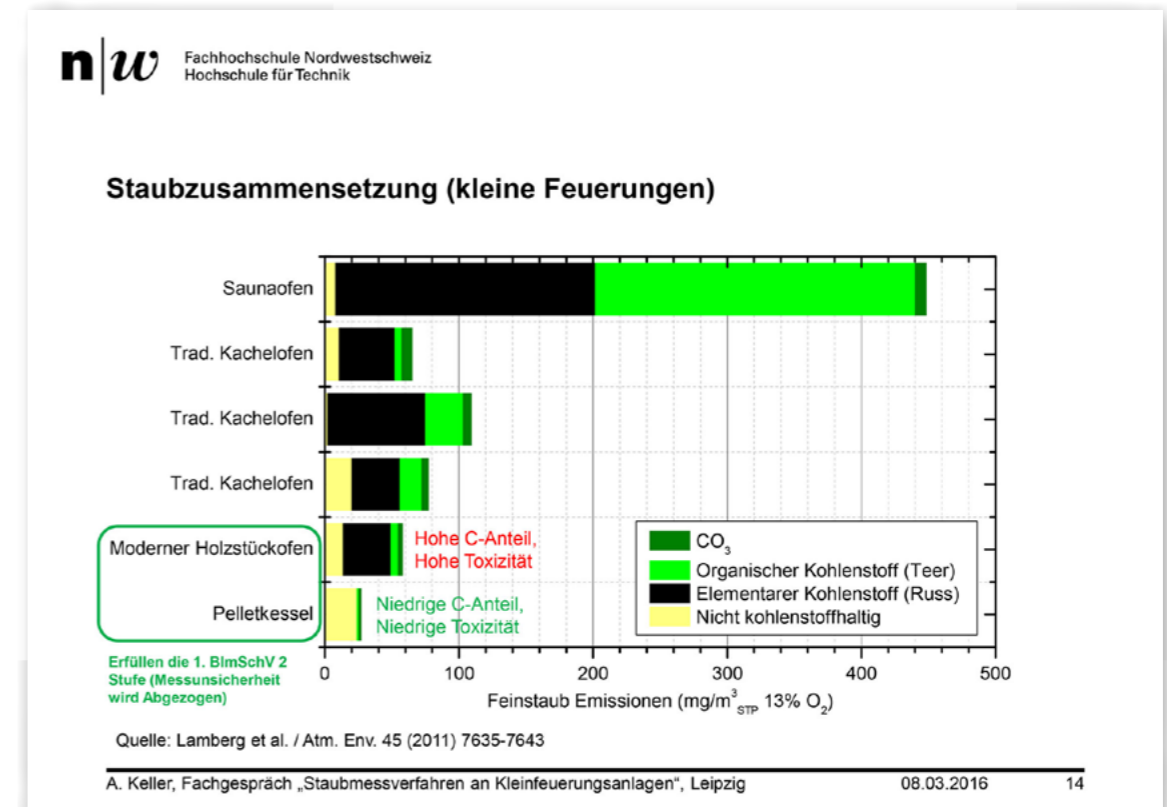
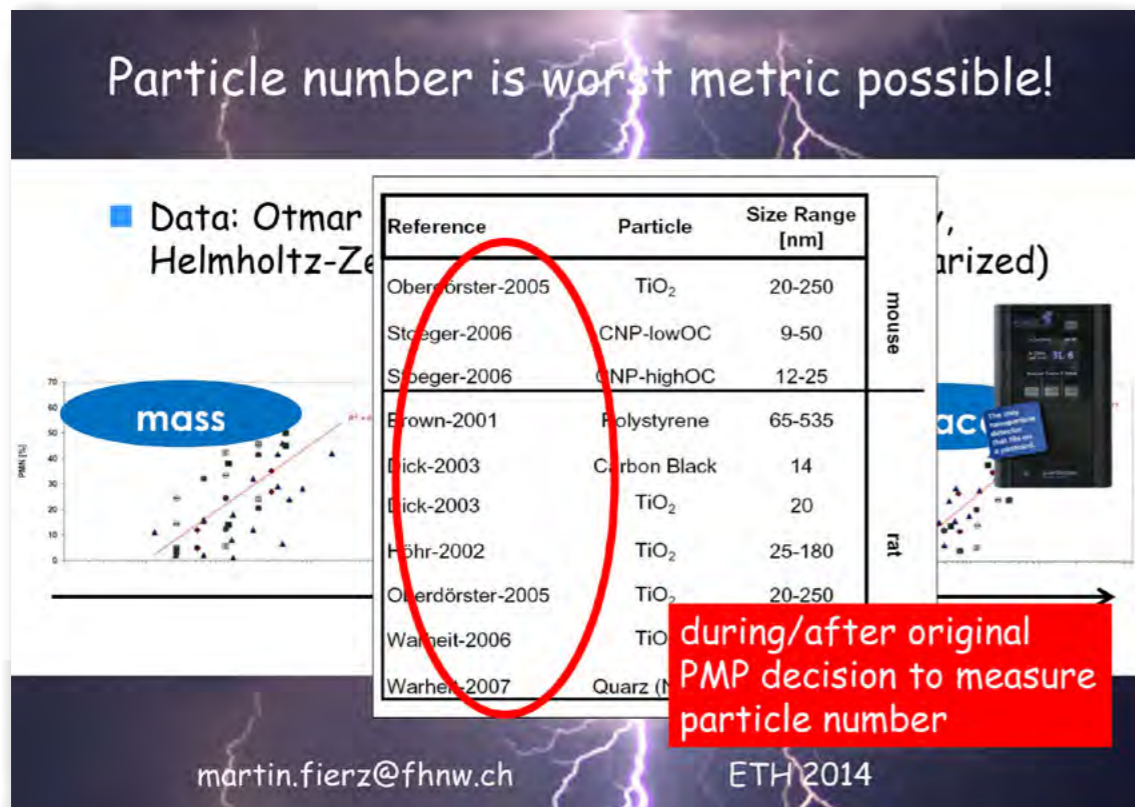
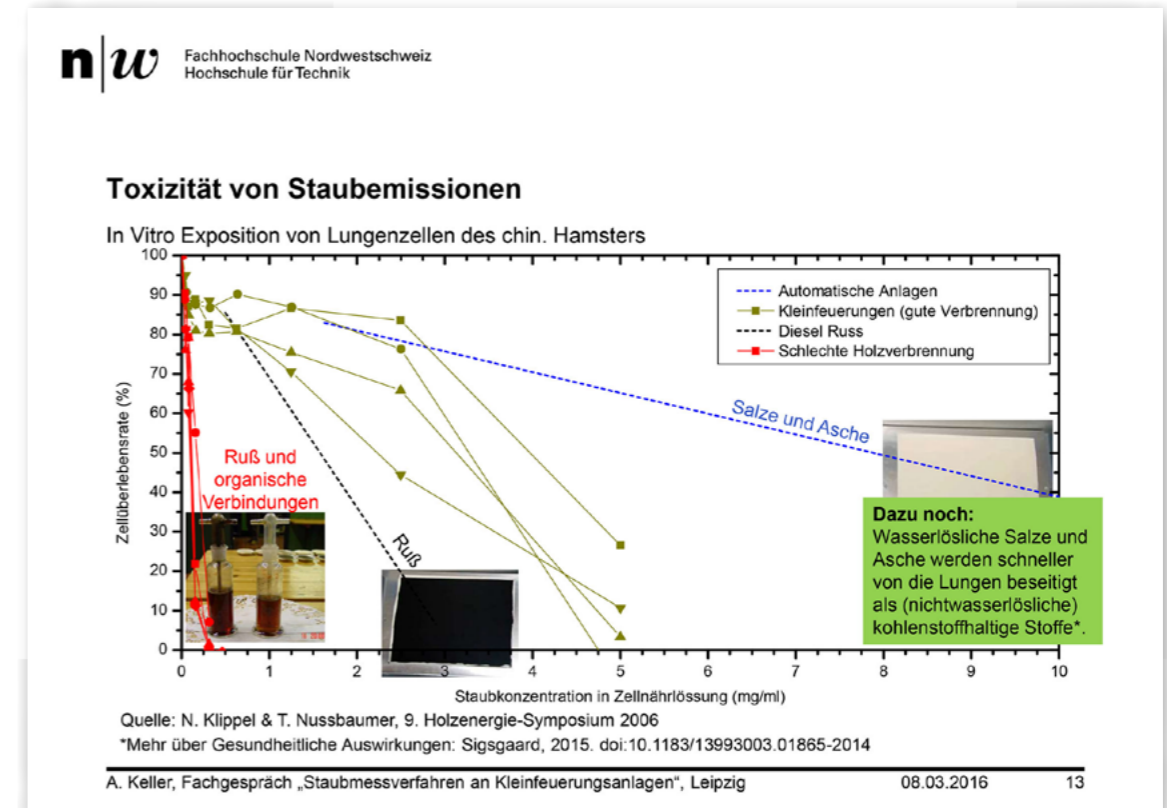
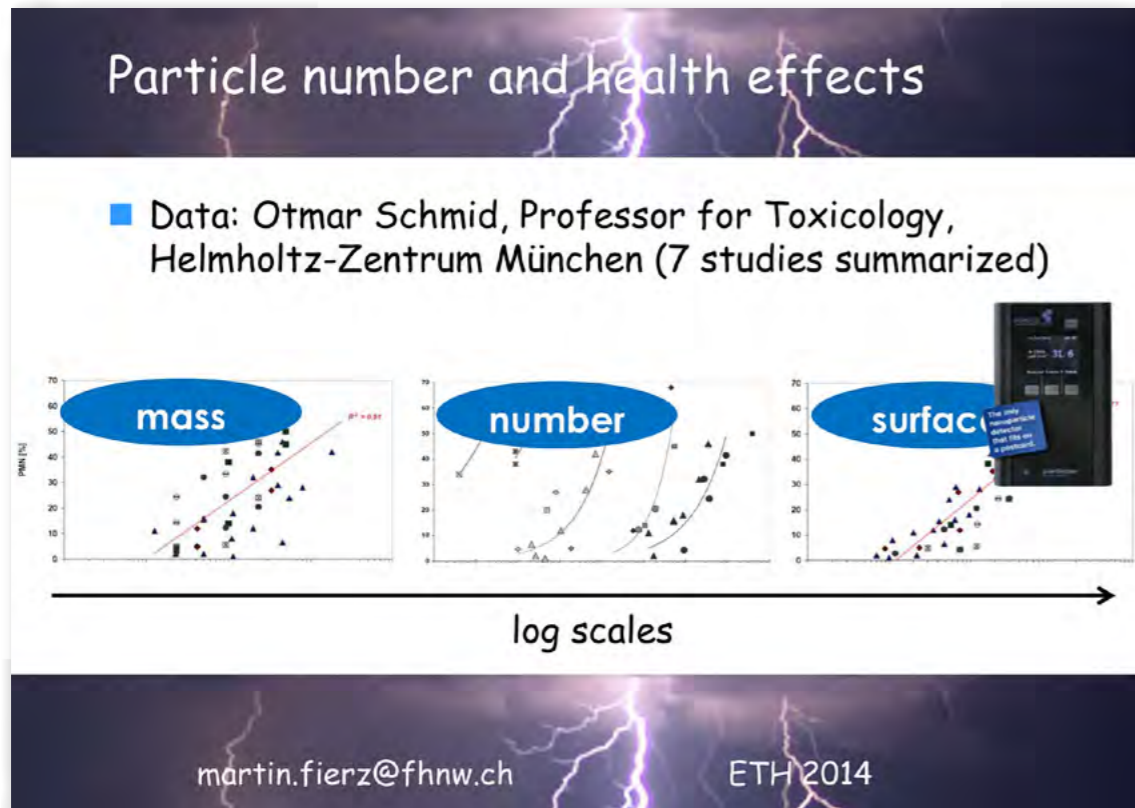
Short term mortality, Cardiovascular Disease (CVD, Herz-Kreislauf-Erkrankung)

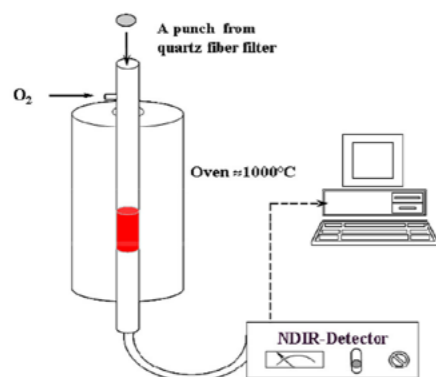
Study	City, Year	CVD increase per PN per PNC	CVD-PN per 10µg/cm3	CVD-PM2.5 per 10µg/cm3
Atkinson	London 2010	2.2% / 10166	6.8 %	0 – 0.5 %
Stolzel	Erfurt 2007	3.1% / 9748	9.9 %	0 – 1.5 %
Breitner	Beijing 2011	7.3% / 6250	36.5 %	NA
Branis	Prag 2010	1.1% / 1000	34.1 %	0 – 0.4 %
Forastiere	Rom 2006	7.6% / 27790	8.4 %	0.1 – 3.1 %
Kettunen	Helsinki 2012	8.5% / 4979	52.7 %	2.1 – 23 %
Average			24.7 %	3.1%

*Quelle: A. Mayer, ETH Nanoparticle Conference 2015

A. Keller, Fachgespräch „Staubmessverfahren an Kleinf Feuerungsanlagen“, Leipzig 08.03.2016 6







TC ist die Masse aller Kohlenstoffatome in einer Probe. Dazu gehört Russ (elemental carbon, EC) sowie die Masse der Kohlenstoffatome in organische Verbindungen (organic carbon, OC). Üblicherweise mittels CO₂-Bestimmung gemessen. Carbonate werden auch durch diese Technik mitgemessen. (graphic: TU-Wien)

Wieso Gesamtkohlenstoff (total carbon, TC)?

1. Im Gegensatz zur Partikelmasse (PM), steht TC in direkter Beziehung zur Qualität der Verbrennung (TC beträgt zwischen 5% und 90% des PM einer normkonformen Anlage)
2. TC widerspiegelt besser als PM die Gesundheit- und Klimafolgen.
3. Einzelner Wert, gute Reproduzierbarkeit und einfacher zu messen als OC/EC.
4. Bekannte Methode, bereits erhältlich als kommerzielles Gerät und als Standard-Analyseverfahren von unabhängigen Laboren angeboten
5. **Potenzial für ein automatisches semi-online Analysegerät.**

Zusammenfassung

- Das Europäische „Particle Measurement Programme“ (PMP) hat durch die Einführung eines Emissionsgrenzwertes für die Partikelanzahl gute Ergebnisse gebracht. Diesel Fahrzeuge benötigen jetzt Filter um die Grenzwerte einzuhalten. Die Feinstaub-Emissionen wurden damit um mehrere Größenordnungen gesenkt.
- Anzahlkonzentration ist aber keine gute Metrik für Biomasseverbrennung. Es gibt z.B. keine Korrelation zwischen Verbrennungsqualität und Partikelanzahl. Anzahlmessungen sind trotzdem praktisch und können benutzt werden um z.B. die Effizienz von Partikelabscheidern zu bestimmen. Es ist auch denkbar einen sehr tiefen Anzahl-Grenzwert einzuführen um hochwertige Partikelabscheider zu erzwingen.
- Außerdem gewichten Anzahl- und Massen-Messungen alle Feinstaubanteile gleich. Ideal wäre es wenn eine Metrik die Gesundheit- und Klimafolgen widerspiegelt (i.e. Kohlenstoffhaltige-Stoffe sind dafür relevanter als Aschen und Salze).
- Wir schlagen Gesamtkohlenstoff (Total Carbon, TC, analysis) als alternative Metrik für Biomasseverbrennung vor. Die Gesamtkohlenstoff-Analyse ist eine einfache und gut etablierte Technik, wird bereits für Immissionsmessungen benutzt, korreliert besser mit Toxizität und widerspiegelt die Verbrennungsqualität.

Anforderungen für eine bessere Metrik

	Masse ¹	Anzahl	TC ²
Achtet nicht auf große Teilchen	-	+	+
Korreliert mit Toxizität	-	-	o
Widerspiegelt die Verbrennungsqualität	o	-	+
Messung kann online oder semi-online erfolgen	-+	+	+
Tauglich für Prüfstand- und Feld-Messungen	o+	+	+
Berücksichtigt primäre und sekundäre Emissionen ³	-	-	+

Andere Anforderungen: kostengünstig, tiefe Nachweisgrenze, Reproduzierbarkeit, ISO-rückverfolgbar, etc.

¹ Referenzmethode: Isokinetische Probenahme (120°C) und gravimetrische Analyse. On-line möglich durch neue Messgeräte (z.B. Testo, Wöhler).

² TC: Total Carbon Analyse mit Größen-Begrenzung bei Probenahme (cut-off).

³ Sekundäre Emissionen mittels „micro smog chamber“ Konditionierung (Keller und Burtscher, JAS 2011).

Dr. Carsten Kykal, TSI GmbH, Aachen

TSI NPET für Aerosolmessungen an Holzfeuerungsanlagen

Dr. Carsten Kykal

TSI GmbH

Neuköllner Straße 4, 52068 Aachen

Tel.: +49 (0)241 52 30 30

Fax: +49 (0)241 52 30 349

E-Mail: carsten.kykal@tsi.com

Web: <http://www.tsi.com/Products/Particle-Counters/Other/Nanopartikel-Emissionstester-Modell-3795.aspx>

Der Nanopartikel-Emissionstester (NPET) Modell 3795 wurde zunächst für die Anwendung an Baumaschinen entwickelt. In Ihrer überarbeiteten Fassung wurde die Schweizer Verordnung 941.242 (VAMV) um Vorschriften über Messmittel für Nanopartikel aus Verbrennungsmotoren ergänzt. Diese ist seit Februar 2016 gültig.

Bei Baumaschinen mit gut gewarteten Dieselmotoren und intaktem Diesel Partikel Filter (DPF) ergaben die Trübungsmessungen bei freier Beschleunigung (vorgeschriebene Prüfmethode) einen Trübungskoeffizient von praktisch null pro Meter. Der neue Anzahl basierte Emissionsgrenzwert liegt jetzt bei 250.000 Feststoffpartikeln pro cm^3 , welcher mit dem NPET bei konstanter Abregeldrehzahl ermittelt werden kann. Das NPET beinhaltet eine eingebaute Verdünnung, einen katalytischen Stripper Abscheider flüchtiger Bestandteile aus der Verbrennung, sowie einen Kondensations-Partikelzähler (CPC).

Durch die hohe Empfindlichkeit des verwendeten Detektors/CPC wie auch der eingebauten Verdünnung ergibt sich ein sehr großer Dynamikumfang bzgl. der zu messenden Feststoffpartikel -Konzentrationen von unter 10^3 Partikel/ cm^3 bis über 5×10^6 Partikel/ cm^3 . Zudem ist der Konzentrationsbereich über eine zusätzliche Verdünnung erweiterbar.

Hieraus ergeben sich weitere potentielle Einsatzgebiete aus allen Bereichen, in denen die Partikelanzahl bei Verbrennungsaerosolen bestimmt werden soll. Neben den offiziellen Messungen in der Schweiz (METAS Zertifikat) wird der NEPT für Filtereffizienztests (DPF Retrofit) und für RDE (Real Driving Emissions) als sogenannte PEMS-PN Lösung (HORIBA) angeboten. Darüber hinaus wäre der NPET eine mögliche Komplettlösung zukünftiger Partikelanzahlmessungen an Kleinfeuerungsanlagen, sowohl im Bereich Forschung und Entwicklung als auch zur Überprüfung möglicher zukünftiger Grenzwerte.

Erfolgreich getestet wurde der NPET bei Emissionsmessungen von Kaminen in den Innenraum, an Pelletöfen (MVT, Univ. Paderborn, Prof. Schmid und AFU Solothurn, Hr. Trösch), sowie Scheitholzöfen (DBFZ). Weitere Versuche, insbesondere zur Evaluierung der benötigten Verdünnung und Anpassung an bestehende Prüfstände werden im Laufe diesen Jahres im Rahmen von Workshops (z.B. DBFZ, April 2016) und Kooperationen mit Kunden und Interessenten folgen.

ERFAHRUNGEN MIT AKTUELLEN MESSGERÄTEN AN BIOMASSEFEUERUNGEN

TSI NPET für Aerosolmessungen an Holzfeuerungsanlagen

Fachgespräch "Staubmessverfahren an Kleinf Feuerungsanlagen", DBFZ Leipzig, 8.3.2016

Carsten Kykal, Juergen Spielvogel, Aaron Avenido, Jason Johnson, Torsten Tritscher, Brian Osmondson, and Hans-Georg Horn

TSI GmbH
Aachen, Germany



Outline

1) Background and Motivation

From Particle Mass (PM) Measurements to Particle Number (PN) Measurements for Aerosol Emissions from Combustion Processes

2) Introducing the NPET

Portable Solution for solid PN Measurements including Dilution and Volatile Particle Remover (VPR)

3) Case Study: Fireplace Emissions

4) Outlook and Summary



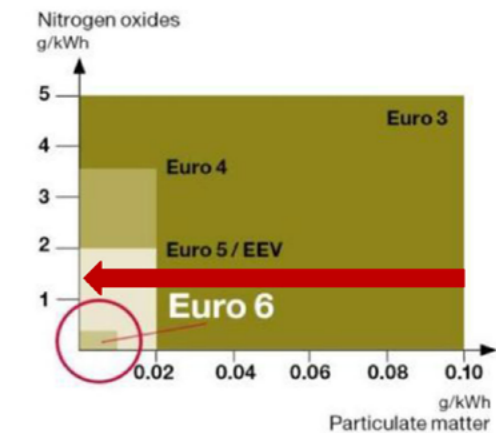
Background (Non Road Machines)



+ Drastically lower PM emission levels today

- Due to modern engine technologies, efficient Diesel Particulate Filters (DPF) & tighter emission standards
- Example:

HD Engines Euro VI compared to previous standards
→ 90% reduction



Graph © Scania AB (publ.)

Motivation

+ Concentrations of particulate matter in modern engine exhaust is low due to the use of Diesel Particulate Filters (DPFs)

+ DPFs can fail in the field (1.5-2% /year)
+ Swiss Regulation 941.242

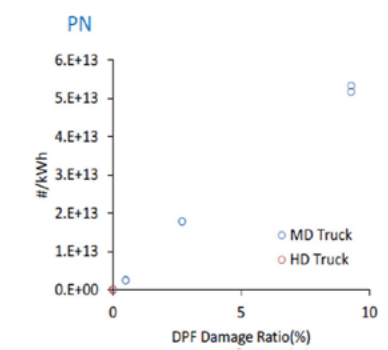
- Mandates biannual in-use testing of non-road mobile machinery DPFs

+ **Problem:**

- Detecting DPF failure is challenging for field mass/opacity based systems

+ **Solution:**

- Measurement of **solid** particle number concentration
- Yamada, ETH-2015 "Detect Small Failures (increasing number of holes) in DPFs at Low Idle - linear"



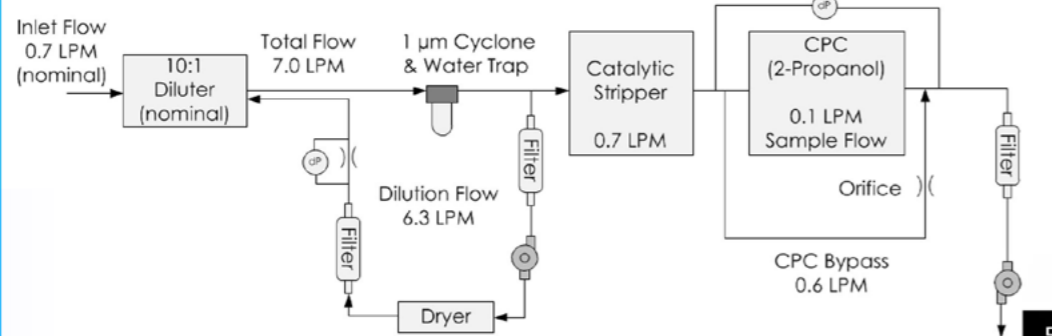
[Yamada, ETH 2015]

Portable Solution -> NPET

- + Probe for tailpipe measurement (up to 300 °C)
- + Integrated, 10:1 probe-dilution (Options available)
- + Dried, recirculating dilution air
- + 1 micron cyclone with water trap
- + Catalytic stripper
- + Isopropanol-based condensation particle counter (CPC)
- + Powered e.g. by a Windows 10 Pro tablet and software application
- + Research & official Swiss test mode



First available instrument that is certified by METAS to be compliant to SR 941.242



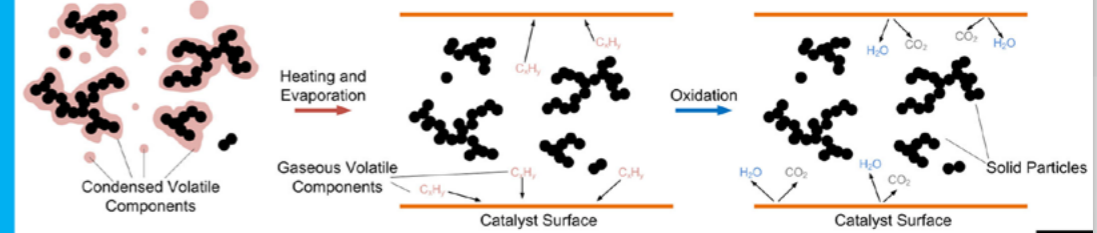
5

Methods of removing volatile particulate matter

- + Volatile particle removal (VPR) tube
 - Evaporates volatile material
 - Uses secondary dilution to prevent re-condensation
 - Possibility of re-nucleation
- + Thermal denuder
 - Evaporates volatile material
 - Volatiles adsorb into activated carbon
 - Needs regeneration

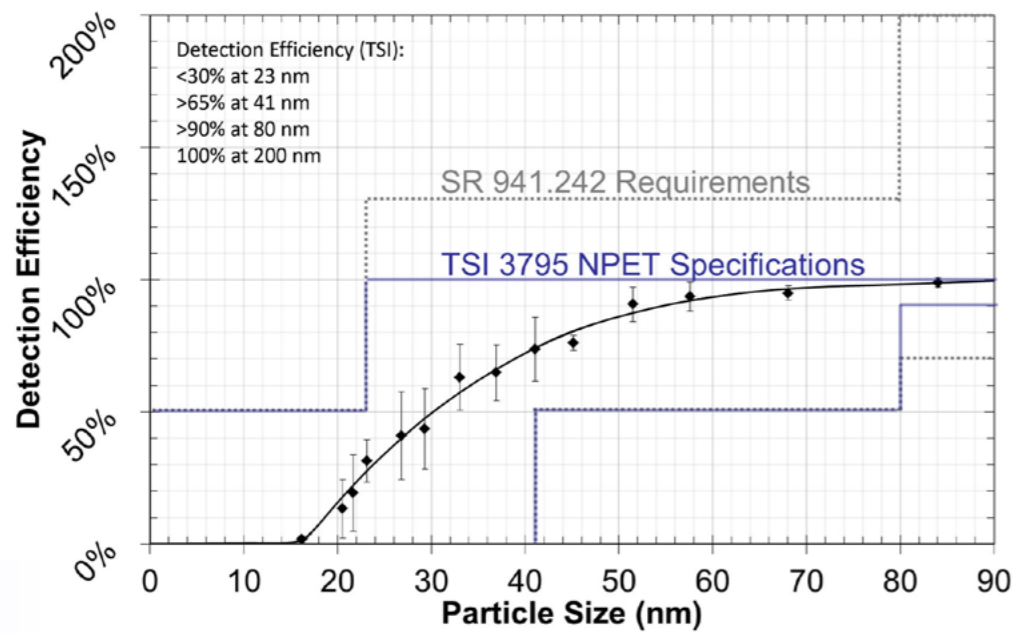
+ Catalytic stripper

- Evaporates volatile material
- Volatiles are oxidized using a catalyst to prevent them from re-condensing



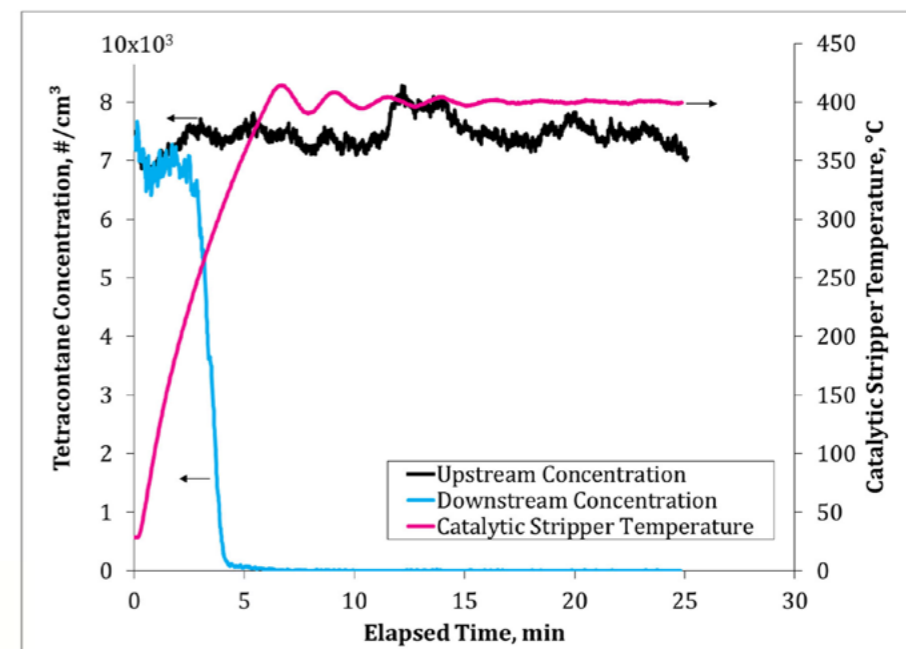
7

Solid Particle Detection Efficiency



6

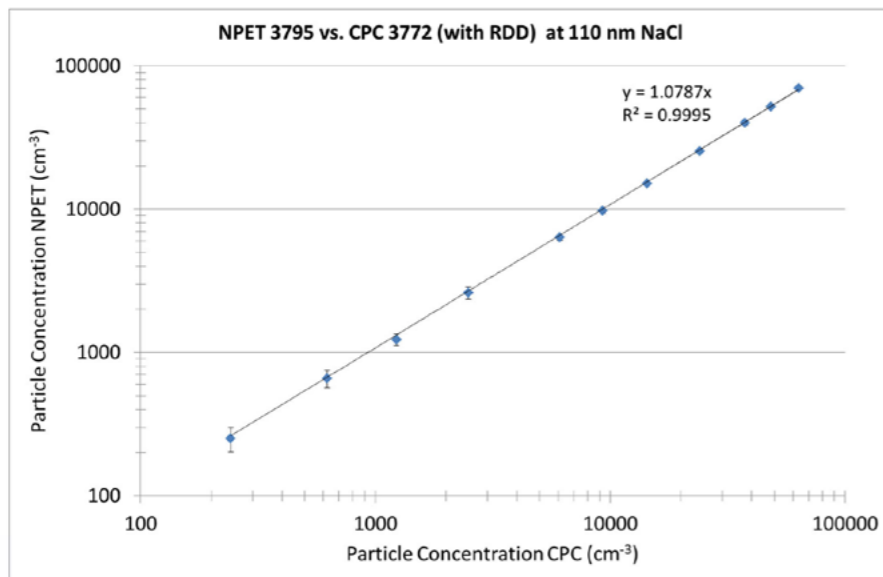
Volatile Particle Removal



NPET: Volatile particle removal efficiency >99% of 30 nm Tetracontane (C₄₀H₈₂)

8

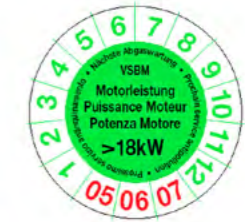
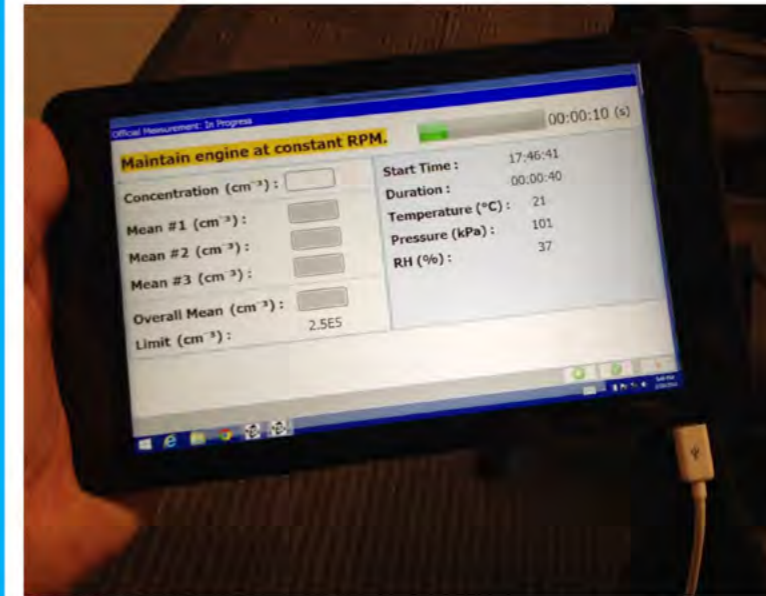
Linearity of NPET 3795 vs. CPC 3772 for monodisperse salt aerosol



Salt aerosol (NaCl) was pre-classified to a monodisperse aerosol with a mode diameter at 110 nm. This test aerosol was subsequently diluted at a ratio of 60:1 in a Rotating Disk Diluter (Model 379020A, TSI Inc.) operated at 80°C.

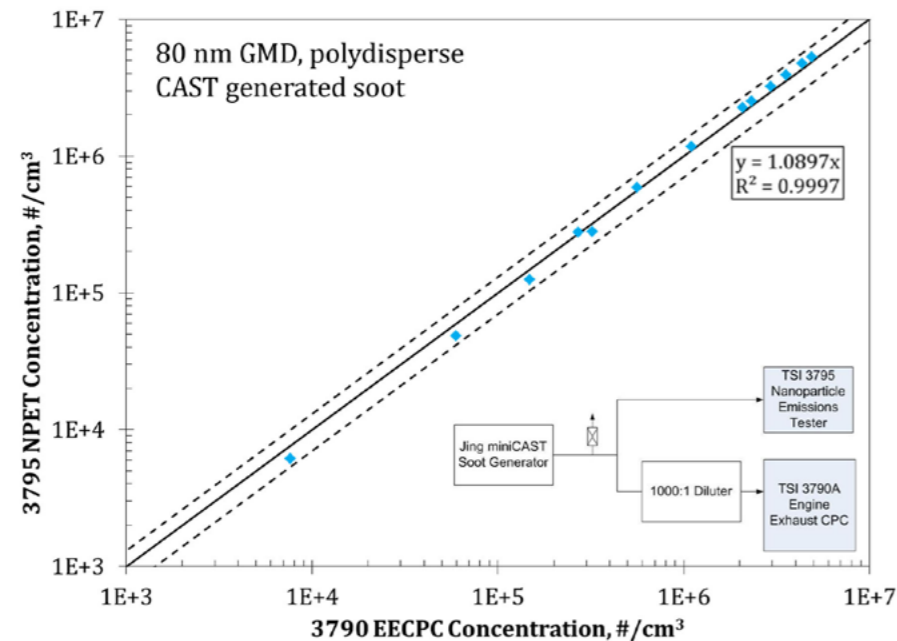
Official Operation Mode

Swiss Regulation SR 941.242



- + Diesel particulate filter (DPF) installation and regulatory certification
- + Aftertreatment inspection and maintenance

Concentration Linearity (log scale) 3795 NPET and 3790A EECPC



Note: Despite the good agreement this solution for field tests is **not** PMP compliant.

Official Operation Mode SR 941.242

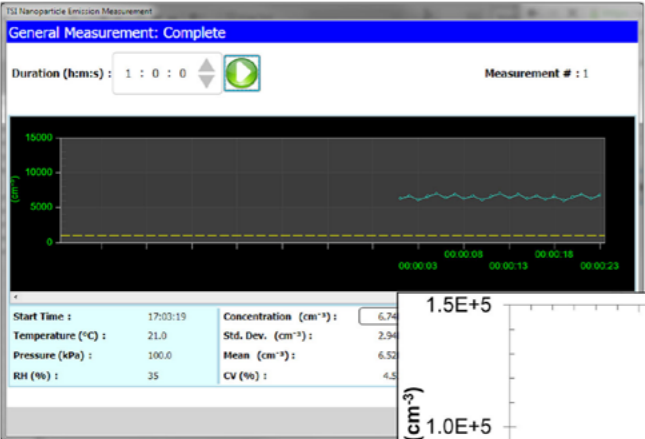


Model:	3795	Hersteller:	TSI Inc.
Serien-Nr.:	3795105507	Letzte Kalibrierung:	2019-01-29
Firmware-Version:	1.1	Anwendungs-Version:	1.1.0.0
Anwendungsschlüssel:	6852-078E-21E8-CA6D-0MAC-CF37-1F15-A088		
ZIELYATECH AG			
Fährstrasse 1			
5202 Hünzschwil			
Kanton Basel-Stadt			
OFFIZIELLE MESSUNG			
Datum/Uhrzeit:	2019-03-30, 14:51:52	Mittelwert Nr. 1 (1/cm³):	1.8554
Dauer:	00:30:40	Mittelwert Nr. 2 (1/cm³):	1.9074
Besitzer:	-	Mittelwert Nr. 3 (1/cm³):	1.7854
Maschinen-Fabrikat:	Syvacac	Gesamtmittelwert (1/cm³):	1.8554
Maschinen-Modell:	1712	Grenzwert (1/cm³):	2.5E5
Maschinen-ID:	-	Ergebnis:	ERFOLGREICH
Motor-Kennzeichen:	-		
Umgebungsbedingungen: 15.2 °C, 86 fPa, 58 %r.F.			



Model:	3795	Hersteller:	TSI Inc.
Serien-Nr.:	3795105507	Letzte Kalibrierung:	2019-02-16
Firmware-Version:	1.1	Anwendungs-Version:	1.1.0.0
Anwendungsschlüssel:	6852-078E-21E8-CA6D-0MAC-CF37-1F15-A088		
OFFIZIELLE MESSUNG			
Datum:	2019-03-16, 16:20:15	Mittelwert Nr. 1 (1/cm³):	0.0264
Dauer:	00:02:40	Mittelwert Nr. 2 (1/cm³):	0.0264
Operator:	TSI	Mittelwert Nr. 3 (1/cm³):	0.0264
Maschine-Mark:	Bomag	Overall Mean (1/cm³):	0.0264
Maschine-Modell:	ACTO	Grenzwert (1/cm³):	2.5E5
Maschine-ID:	TSI0001	Ergebnis:	ERFOLG
Engine Nr.:	7510001		
Umgebungsbedingungen: 15.0 °C, 1008 hPa, 57 %r.F.			
SIGNATURE:			

Research Test Mode

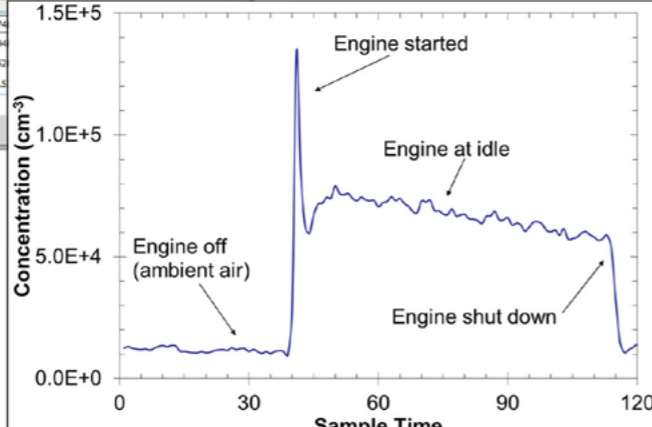


General Measurement: Complete
Duration (h:ms): 1 : 0 : 0
Measurement # : 1

Start Time :	17:03:19	Concentration (cm ⁻³):	6.74
Temperature (°C) :	21.0	Std. Dev. (cm ⁻³):	2.94
Pressure (kPa) :	100.0	Mean (cm ⁻³):	6.52
RH (%) :	35	CV (%) :	4.5





Screen shot and example data from research test mode measuring the startup emissions of a A770 Bobcat loader.

- + Combustion source emissions research
 - Engine exhaust, stack emissions, wood stoves, waste incinerators boilers, etc.




Solid Particle Measurement Applications

- + Combustion source emissions research
 - Engine exhaust, stack emissions, wood stoves, etc.
- + **Aftertreatment inspection and maintenance**
- + Filter installation and regulatory certification (e.g. DPF)
- + Fleet emissions profiling
- + Emissions source apportionment
- + Particulate volatility studies

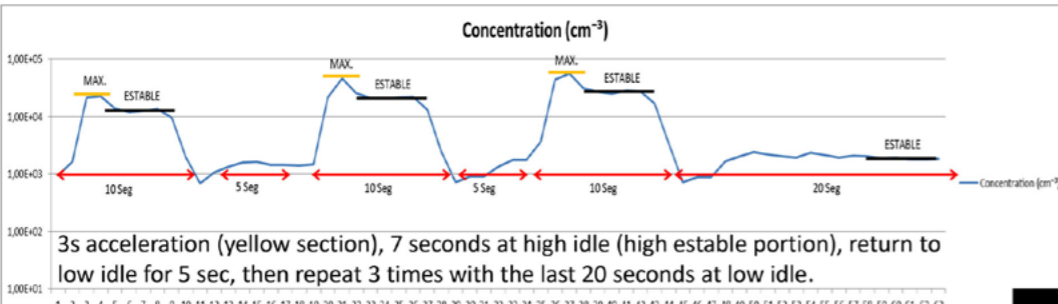
15

DPF Testing in Santiago, Chile : 400 buses



„The NPET has opened the eyes of the people involved in inspection and maintenance.“

- Many buses with excellent results < 5.000 P/cc whereas ambient air showed 50.000 P/cc
- Small filter failures are visible
- Opacity measurement is by no means correlating to PN



3s acceleration (yellow section), 7 seconds at high idle (high estable portion), return to low idle for 5 sec, then repeat 3 times with the last 20 seconds at low idle.


14

Fireplace Emissions into the Living Room : Setup


Startup: Wood Wool and Kindling


Fireplace Startup: 18:40
Adding Wood: 19:09
Adding Wood: 19:34
Adding Wood: 19:51
End of Meas.: 20:05

18:40 20:00




Adding wood: Compressed Wood

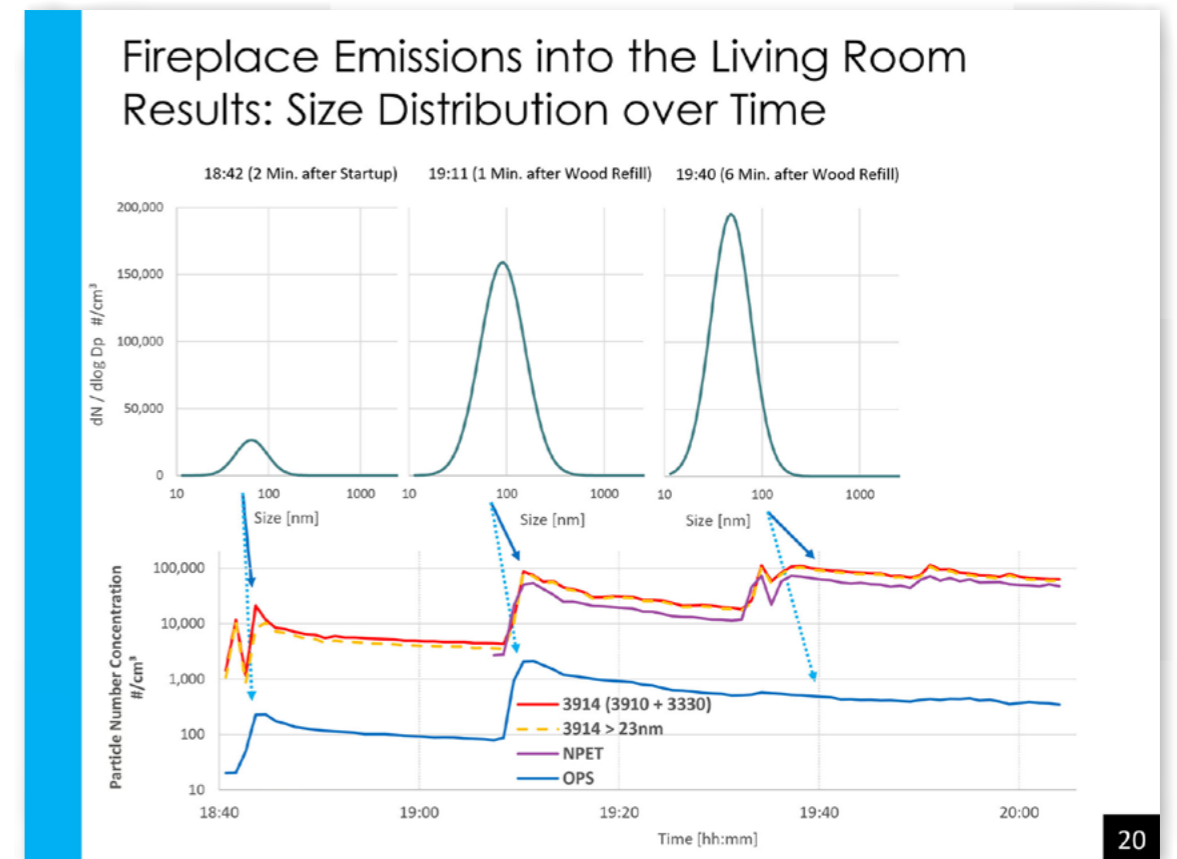
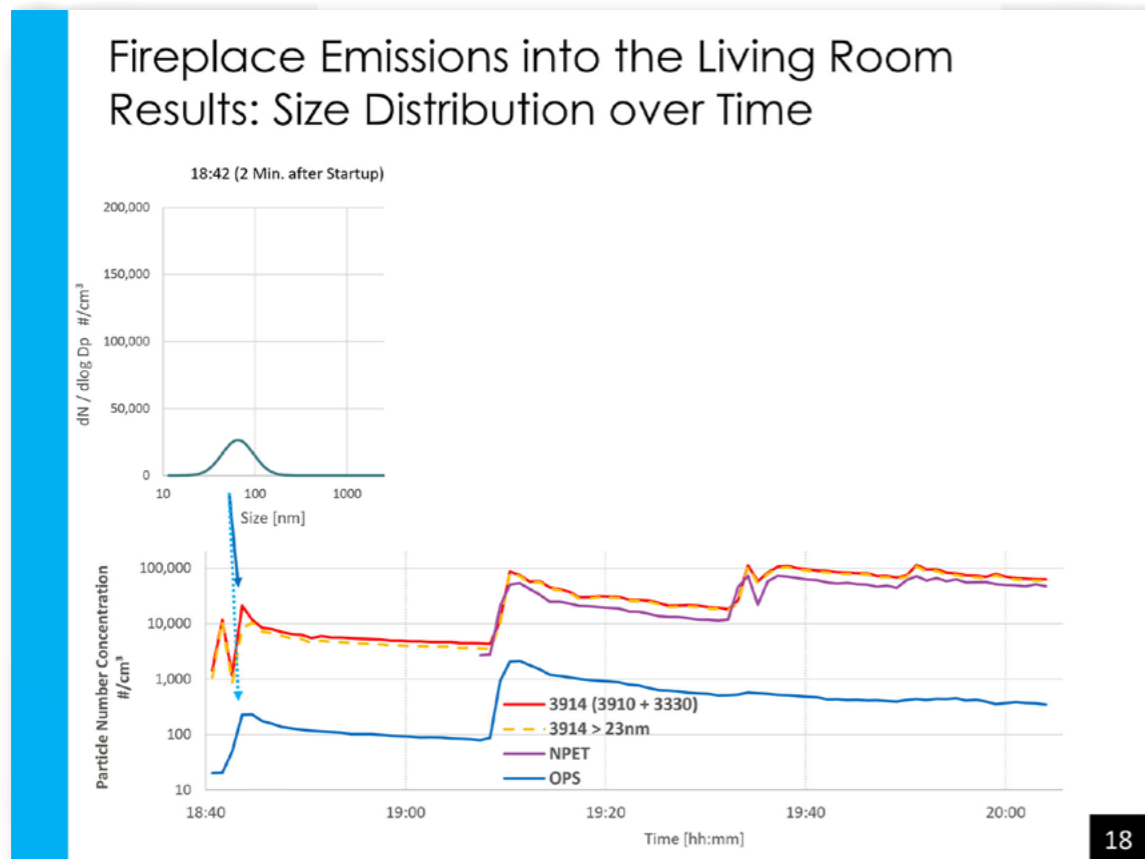
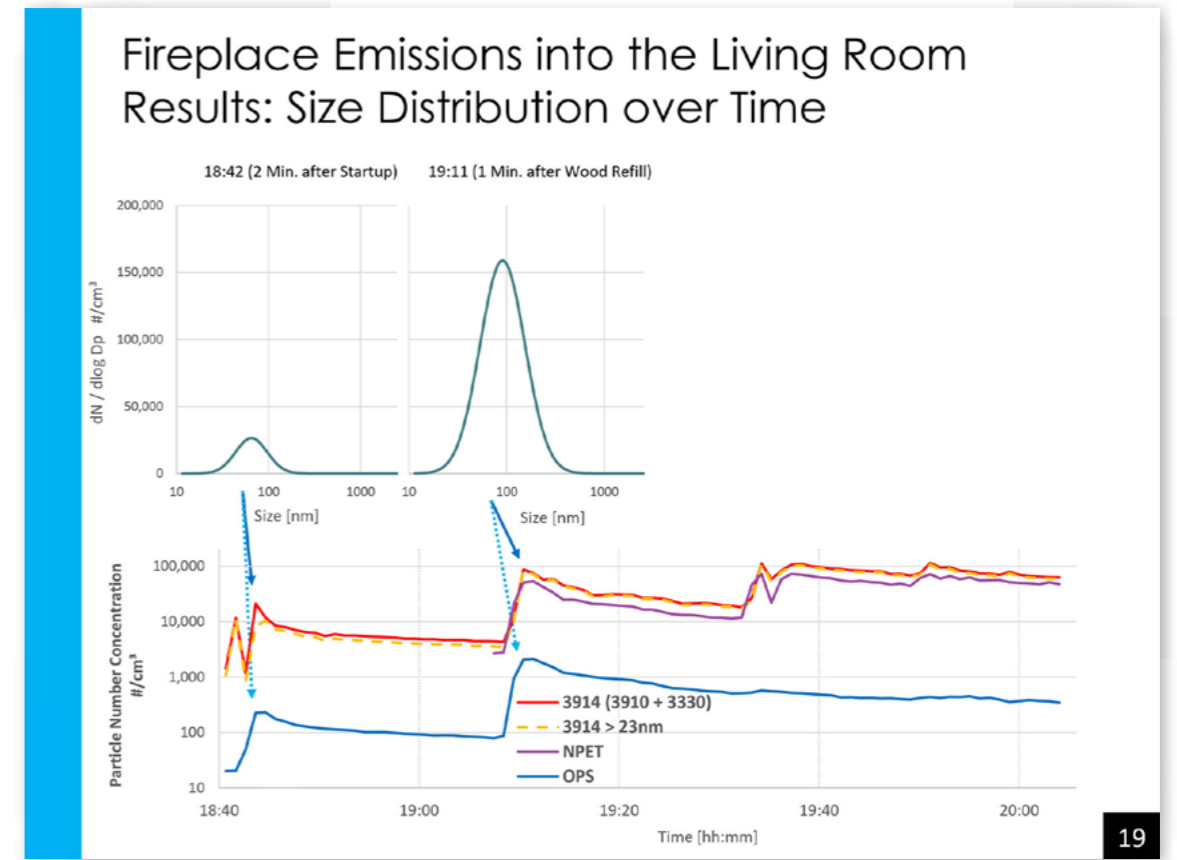
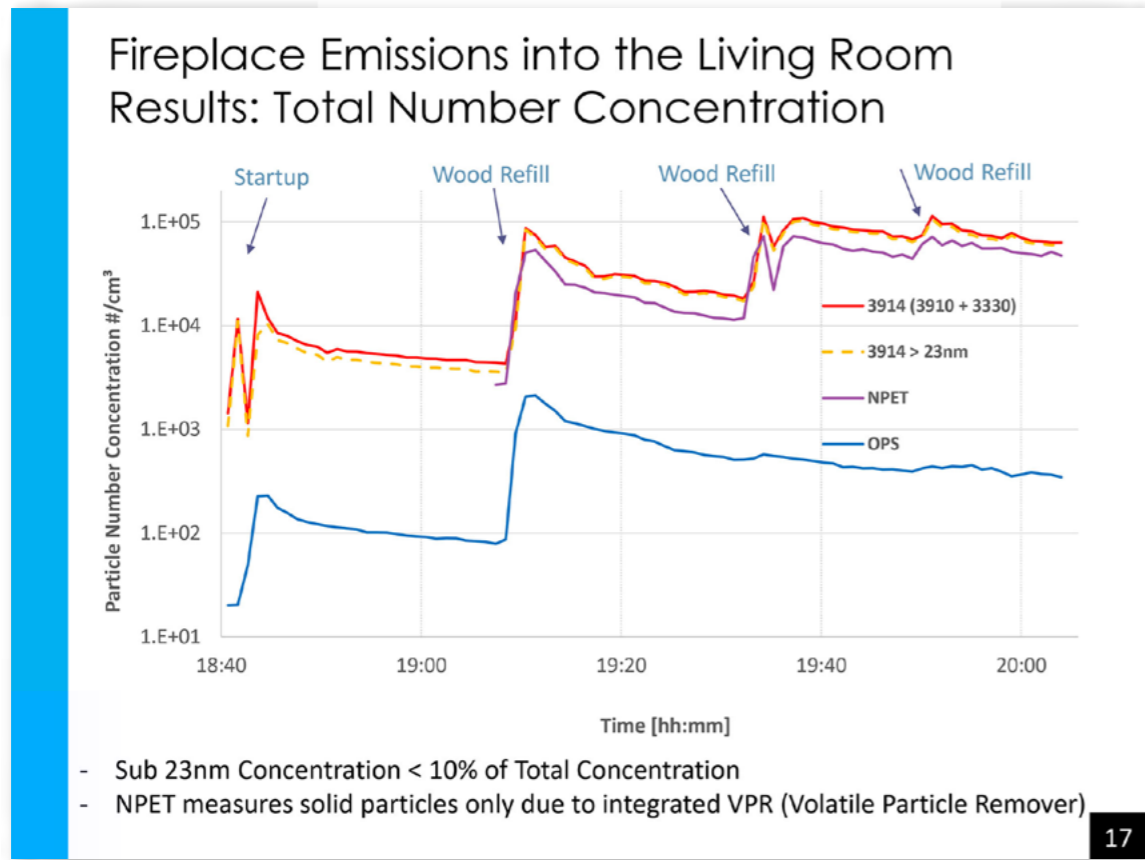


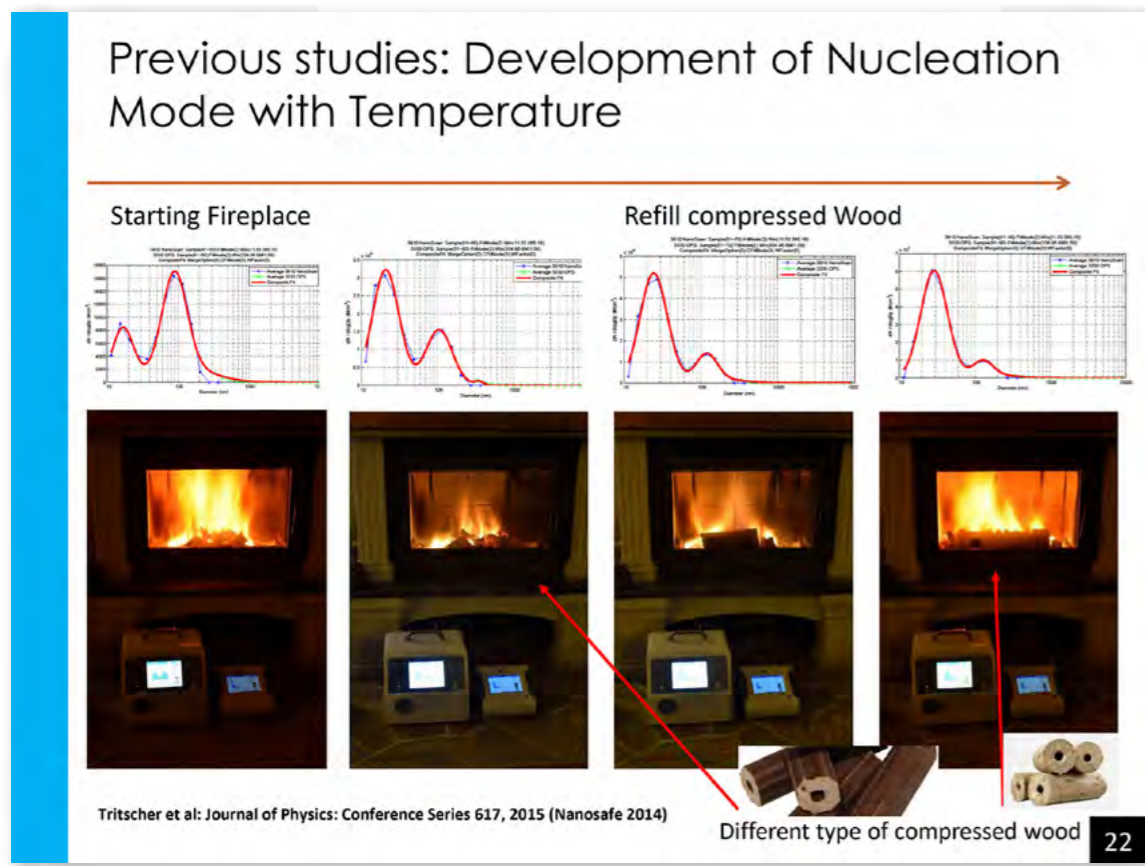
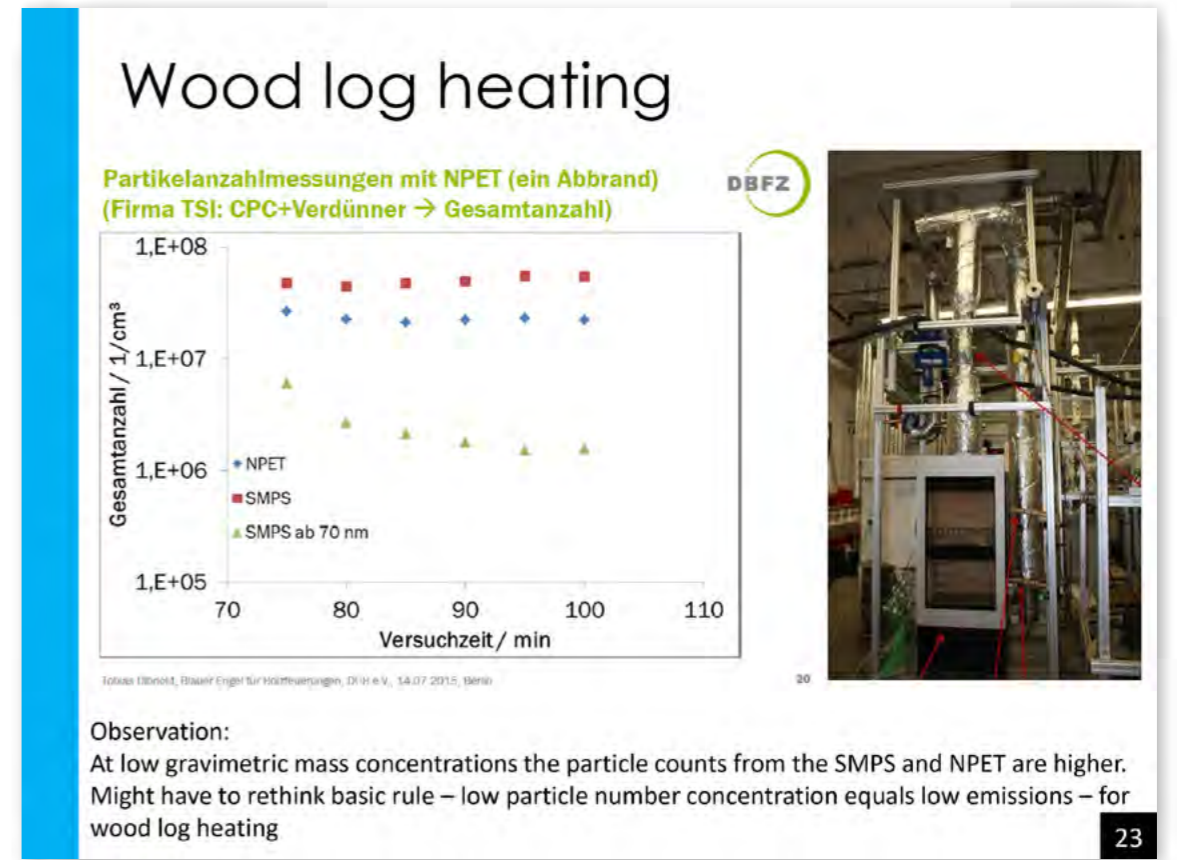
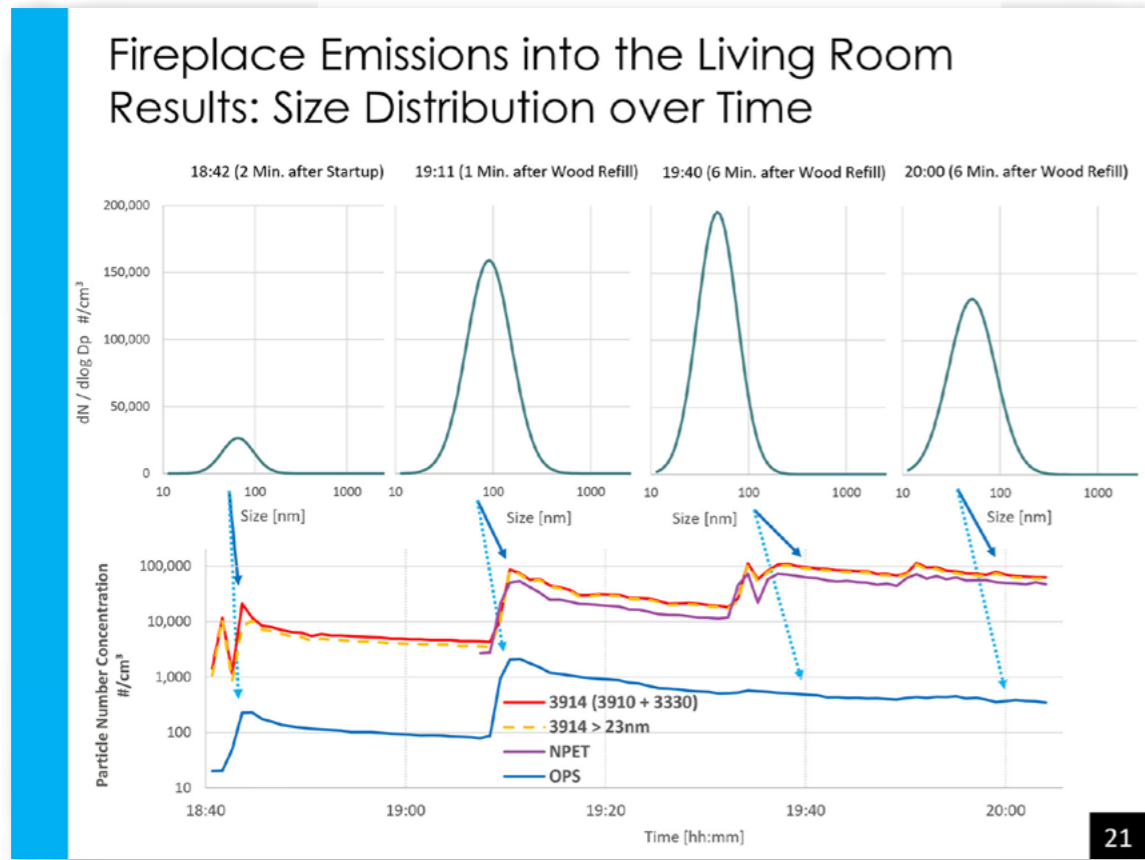


Meas. Setup:
3910+3330 (Combo)
3795 NPET



16





What's Next?

- + Large marine diesel
 - In particular cruise ships
- **Inland Waterway Ships in Switzerland (in progress)**
- + Locomotive diesel engines
- + PEMS (Real Driving Emissions)
- + **Wood Firing ?**
- + Lawn movers, hedge trimmers, ...
- + **Non-exhaust particle emissions**
 - e.g. brake wear

„Recent Developments in the Measurement of Low Particulate Emissions from Mobile Sources: A Review of Particle Number Legislations“, Journal ‚Emission Control Science & Technology‘, Springer
<http://link.springer.com/article/10.1007/s40825-015-0016-9/fulltext.html>

24

Measurement Solution: Need for wood firing

- + Concentration Range
- + Temperature Range
- + Pressure Compensation
- + Desired Features (Hardware, Software)



Summary - NPET



Thank you for your attention!

E-mail: carsten.kykal@tsi.com

- + Measures solid PN concentrations
- + Includes dilution, catalytic stripper and CPC
- + Concentration Range: 1,000 to $5 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$ (higher dilution as option)
- + Exhaust after treatment inspection and maintenance programs
- + Retrofit programs e.g. Diesel Particulate Filter (DPF)
- + Combustion emissions research

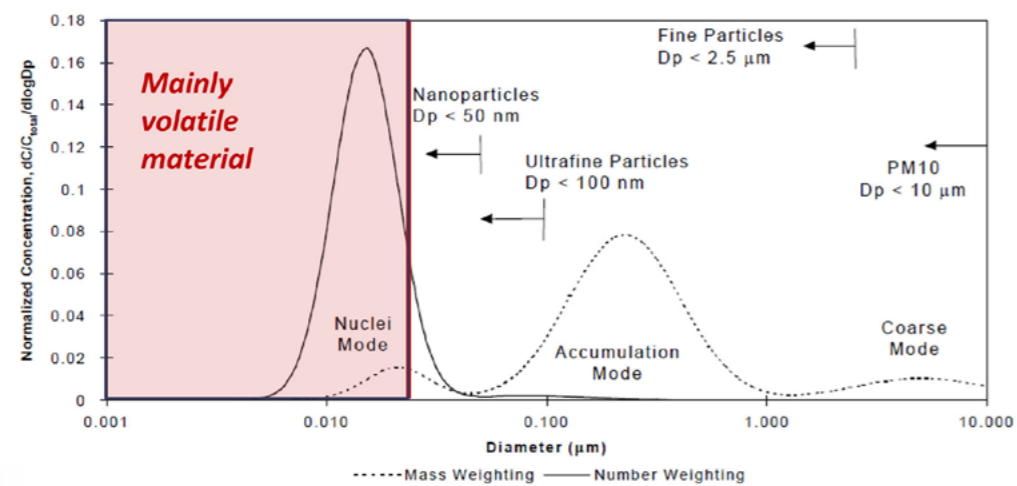
TECHNISCHE DATEN

NANOPARTIKEL-EMISSIONSTESTER MODELL 3795

Partikelgrößenbereich	Detektionseffizienz < 50% bei 23 nm > 50% bei 41 nm Max. erfassbare Partikelgröße 1 µm, begrenzt durch einlassseitigen Zyklon	Software	Nanopartikel-Emissionsmester-Software von TSI für Microsoft® Windows® 7 oder 8 (32 / 64 Bit); optimiert für Windows® 8 mit Touchscreen-Bedienung
Partikelkonzentrationsbereich	Einzelpartikelzählung (Nennverdünnung 16:1) 1.000 bis 5×10^6 Partikel/cm ³	Probenahmefrequenz	Offizielle Messung 10 Hz Generelle Messung 1 Hz
Partikelkonzentrationsgenauigkeit	Referenzwert ± 10%	Kalibrierungs-/Wartungsintervall	Jährlich (empfohlen)
Reaktionszeit	T _{10%-90%} und T _{90%-10%} 4 s ± 0,5 s T _{50%-50%} 8 s ± 0,5 s	Hardware	Frontseite Wasserabscheider mit Zyklon, Sondenanschlüsse (Probeneinlass und Verdünnungstufenauslass) Rückseite Netzstecker, Ethernet-Anschluss, Dochthalter
Volumenstrom	Probenahme-Volumenstrom 0,7 l/min (nominal) CPC-Messvolumenstrom 0,1 l/min (nominal) CPC-Nebenstrom 0,6 l/min (nominal)	Abmessungen (H x B x T)	26 cm x 33 cm x 57 cm
Flüssigkeitssystem	Arbeitsflüssigkeit Isopropanol (Reinheit besser als 99,5%) Befüllung Wechselladung, nachfüllbar Messzeit pro Füllung 4 Stunden	Gewicht	13,1 kg
Katalytischer Stripper	Temperatur 350 °C Abscheidung flüchtiger > 95% für polydisperse C ₆₀ H ₆₂ -Partikel mit 30 nm mittlerem Durchmesser	Betriebsstoffe	HEPA-Filter (2x), Trockenmittelkartusche (kobaltfreies Siliziumdioxid), Isopropanol (Reinheit > 99,5%)
Abgaszustand	Geeignet zur Probenahme in heißen (bis zu 300 °C) und korrosiven (NO _x , HC, H ₂ O, H ₂ SO ₄) Motorabgasen	Optionales Zubehör	3795-Tab Windows® 8-Tablet mit Schutzgehäuse und Ethernet-Dongle 1602051 HEPA-Filter 3795200 Trockenmittelkartusche 8016 16 Flaschen Isopropanol, je 30 ml
Umgebungsbedingungen im Betrieb	Temperatur +10 bis +40 °C Druck 70 bis 106 kPa	Stromversorgung	100 – 240 V AC, 50/60 Hz, 100 W (Nennleistung), 200 W (Spitzenleistung)
Datenkommunikation	Ethernet 8-Pin RJ-45-Buchse, 10/100 BASE-T, TCP/IP		

TSI und das TSI Logo sind eingetragene Handelsmarken von TSI Incorporated
Windows ist eine eingetragene Handelsmarke von Microsoft Corporation in den Vereinigten Staaten und/oder anderen Ländern.

Typical Engine Exhaust Particle Size Distribution



D. Kittelson (J. Aerosol Sci., 1998)

29

Frederik Weis, Palas GmbH, Karlsruhe

Erweiterte Möglichkeiten bei der Partikelanzahl- und Partikelgrößenbestimmung im Aerosol

Frederik Weis

Palas GmbH

Greschbachstraße 3 b, 76229 Karlsruhe

Tel.: +49 (0)721 962130

Fax: +49 (0)721 96213-33

E-Mail: frederik.weis@palas.de

Web: www.palas.de/de

Für die Bestimmung der Partikelanzahl und Partikelgrößenverteilung feiner und ultrafeiner Partikelemissionen aus z.B. Verbrennungsprozessen eignen sich insbesondere elektrostatisch klassierende Messsysteme. Diese SMPS-Systeme kombinieren einen DEMC (Differential Electrical Mobility Classifier) mit einem Kondensationspartikelzähler oder einem Aerosolelektrometer. In diesem Vortrag werden die Flexibilität und besonderen Anwendungsmöglichkeiten des Palas® U-SMPS vorgestellt. An Beispielmessungen von Funkenruß und Verbrennungsruß wird zudem die Kombinationsmöglichkeit mit einem optischen Aerosolspektrometer wie dem Fidas® oder welas® erläutert und der zusätzliche Informationsgewinn durch Vergleich und Anpassung im Überlappungsbereich der beiden Messverfahren diskutiert.

PALAS®

Erweiterte Möglichkeiten bei der Partikelanzahl- und Partikelgrößenbestimmung im Aerosol

08.03.2016; DBFZ Leipzig
Fachgespräch „Staubmessverfahren an Kleinf Feuerungsanlagen“

Frederik Weis

Palas® GmbH, Karlsruhe, Germany, <http://www.palas.de>

PALASCOUNTS

welas® Messprinzip **PALAS®**

Partikel unterschiedlicher Größe → Messung der Streulichtintensität mit dem WELAS® Aerosolspektrometer → Kein Randzonenfehler und Koinzidenzerkennung durch die patentierte T-Blenden-Technologie

PALASCOUNTS

PALAS®

Unsere Kernkompetenzen

- Filtertestsysteme*
- Aerosolspektrometersysteme*
- Feinstaubmonitorsysteme
- Nanopartikelmesstechnik
- Partikelerzeugungssysteme*
- Verdünnungssysteme*
- Reinraumpartikeltechnik
- Sonderentwicklungen
- Kalibriersysteme*
- Services
- Schulungen und Seminare

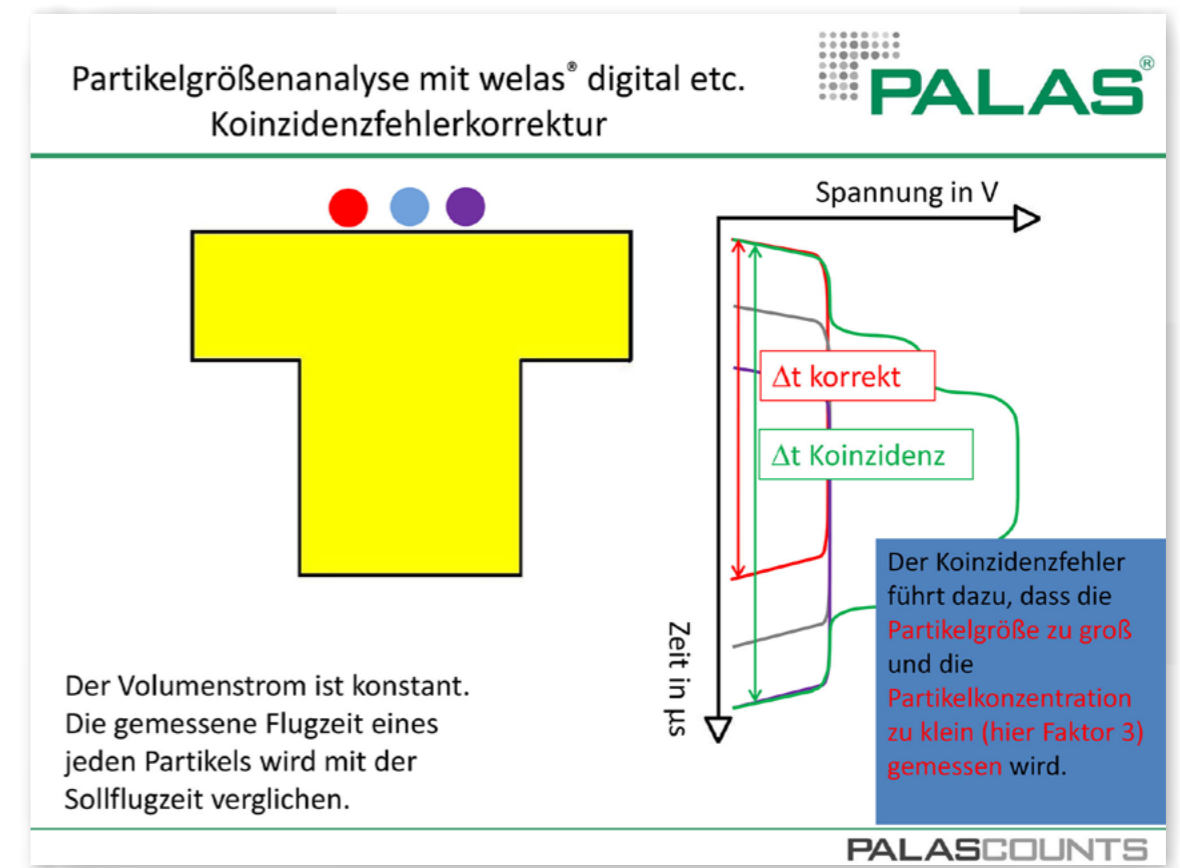
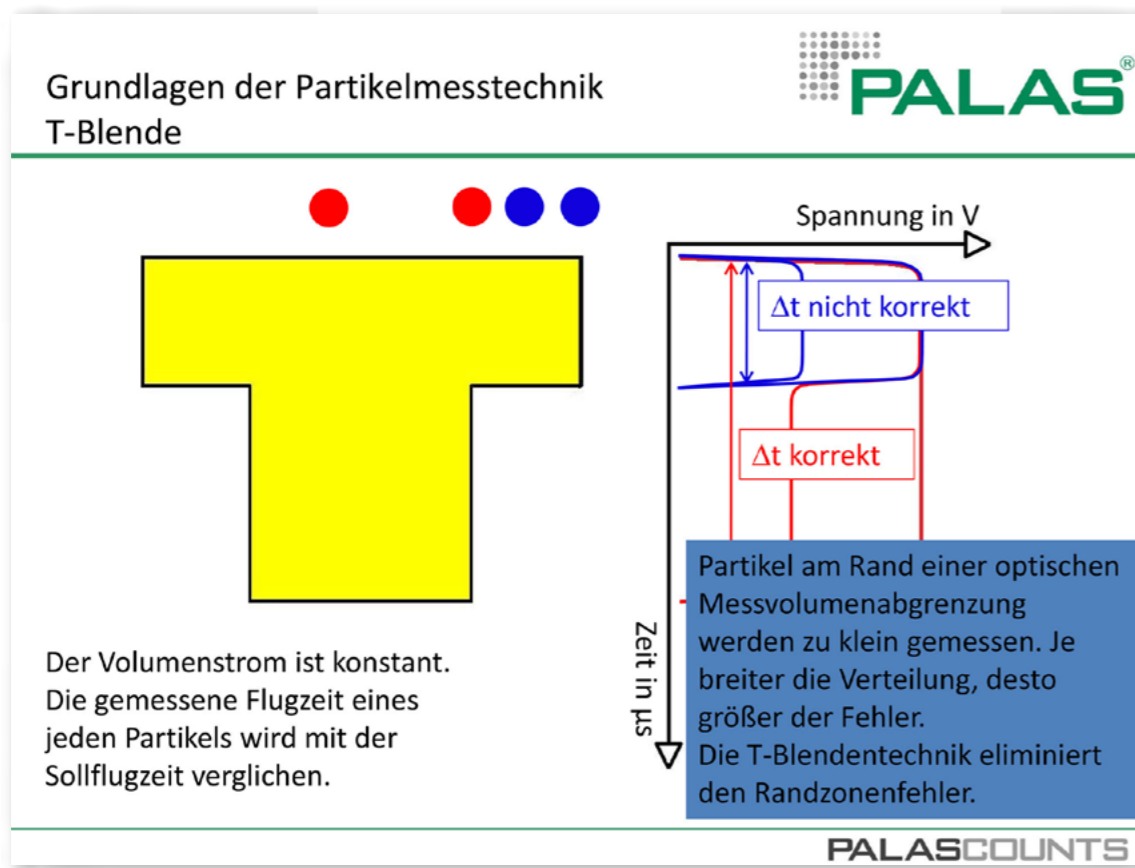
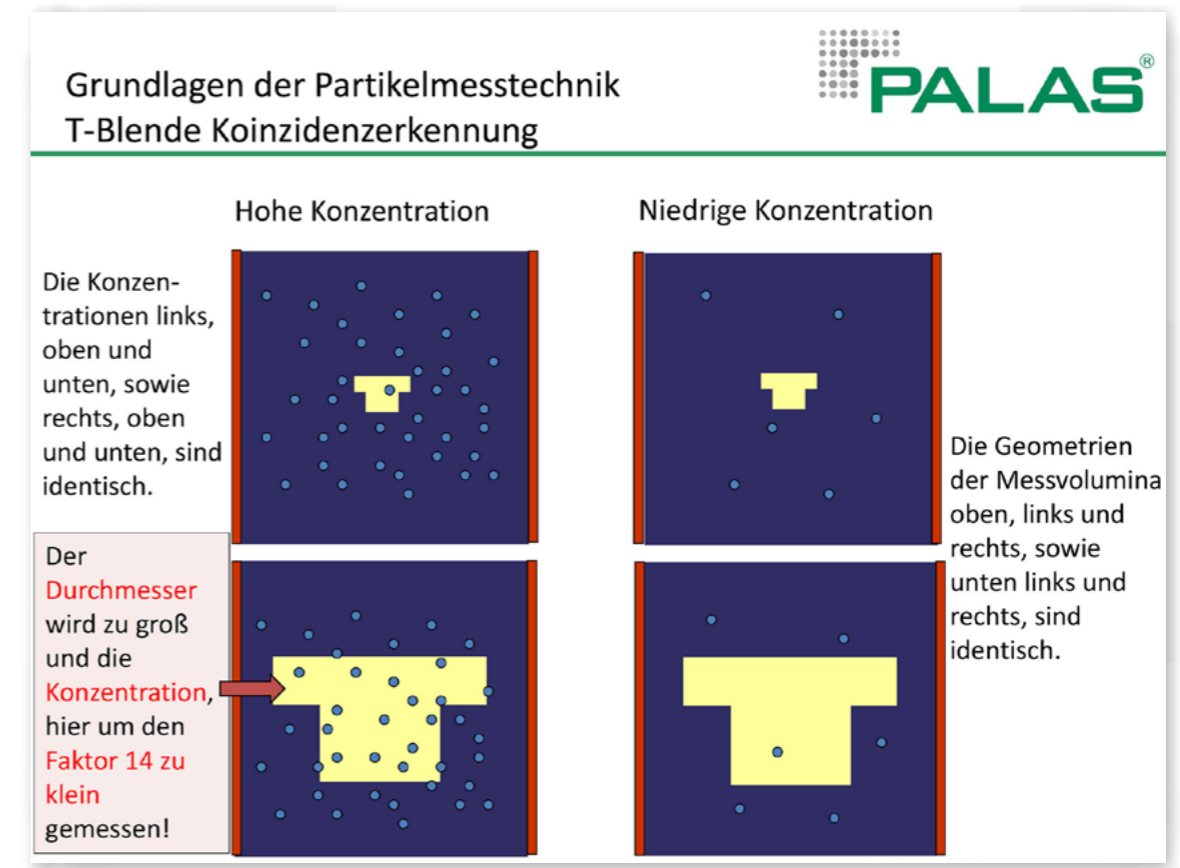
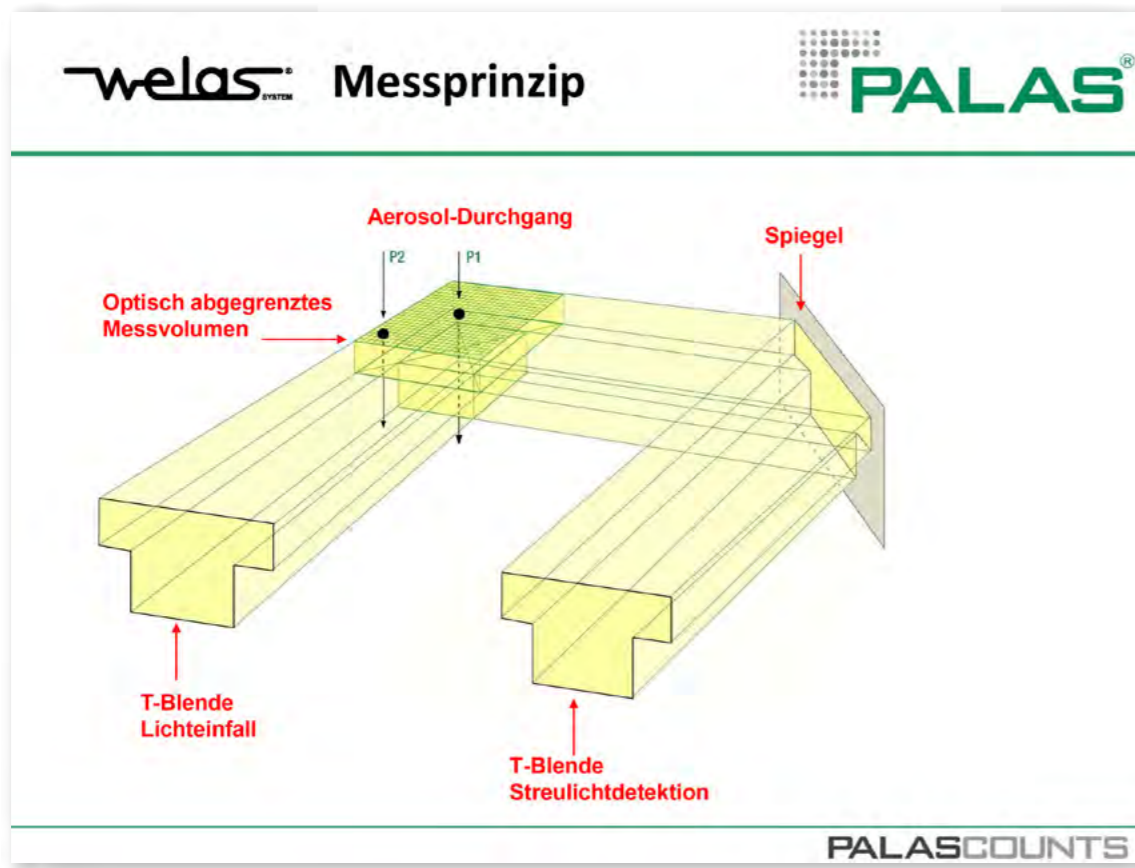
* In diesen Produktgruppen ist Palas® Marktführer

PALASCOUNTS

welas® Messprinzip **PALAS®**

T-Blende, aerosol flow, Keramische Ausführung für Hochtemperatur-Anwendungen (T < 470°C), LichtEin- und Auskopplung über optische Glasfaserkabel, optisch definiertes Messvolumen (verschiedene Größen verfügbar)

PALASCOUNTS



Aerosolspektrometer Fidas® zur Feinstaub-Überwachung



Fidas® 200 und Fidas® 200 S
Mit Einzelpartikelanalyse.

Die **weltweit einzigen** nach DIN EN 15267 zugelassene, eignungsgeprüfte optische Feinstaubmessgeräte.
Geschützt durch **drei Patente**.

Zusätzliche Anzeige der Masse von **PM₁**, **PM_{2,5}**, **PM₄**, **PM₁₀**, „TSP“, der **Partikelanzahl** - und der **Partikelgrößenverteilung**.

$d_{pmin} = 180 \text{ nm}$, $d_{pmax} = 18 \text{ }\mu\text{m}$

Vom Umweltbundesamt für behördliche Messungen zugelassen.



Fidas® 200 ohne Probenahmeeinrichtung



Eignungsgeprüft
Entspricht
2008/50/EG
DIN EN 15267
Regelmäßige
Überwachung
www.tuv.com
ID 0000040212



PALASCOUNTS

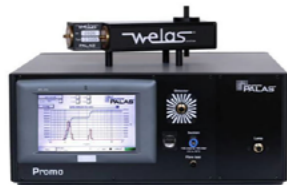
Aerosolspektrometer Promo® und welas® zum Prozessmonitoring



welas® / Promo®

Besonderheiten:

- **Optische Glasfaserleitungen (bis zu 50m Länge) zur Entkopplung des Sensors von der Steuereinheit**
- **Austauschbare Sensoren für unterschiedliche Konzentrationsbereiche 1 P/cm³ bis 106 P/cm³**
- **Messbereiche:**
- **200µm bis 40µm (welas digital 1000 ab 120 nm)**
- **Temperaturen von -120°C bis 250°C (470°C)**
- **Drücke bis 10bar Überdruck**
- **Direkte Messung im Abgas möglich, Vermeidung von Kondensations-/Verdünnungseffekten bei beheizten Sensoren**



Austauschbare Aerosolsensoren



PALASCOUNTS

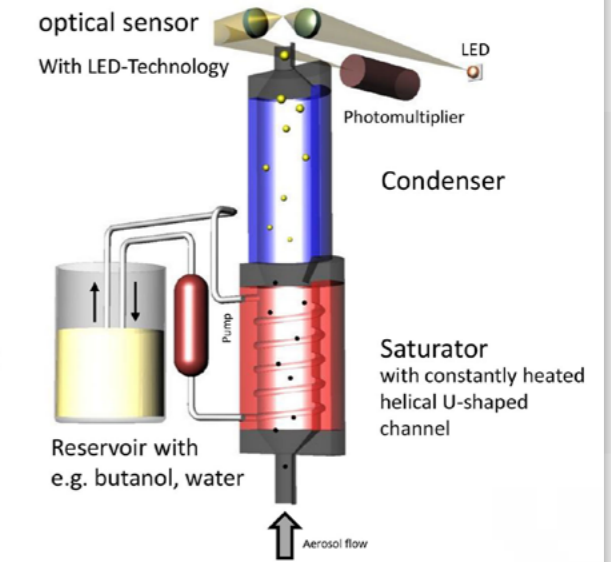
Kondensationspartikelzähler



Palas® UF-CPC

Besonderheiten:

- **Patentiertes Sättigerdesign OHNE Fließ (weniger Verschmutzung, kaum Wartung nötig)**
 - **Leichter Wechsel der Arbeitsflüssigkeit**
 - **Einzelzählung bis zu $2 \times 10^6 \text{ P/cm}^3$**
 - **Standalone-Gerät mit Touchpanel und integriertem Datalogger**
 - **Bewährter optische Detektionseinheit liefert zusätzlich Tropfengrößenverteilung**
- ➔ liefert Zusatzinfo über Änderungen der chem. Zusammensetzung der Rußpartikel



more technical specifications on www.palasz.de

PALASCOUNTS

Elektrischer Mobilitätsklassierer




Palas® DEMC Steuereinheit

- **Freie Wahl der Scanzeiten, Scanbereiche**
- **Up-/Down-Scan möglich**
- **Automatische Bestimmung der Verzugszeit zwischen Klassierer und Zähler durch Kreuzkorrelation**
- **Integrierter Röntgenneutralisator möglich**
- Säule: Vienna / Tropos-Design
- Einbindung von Säulen und CPCs anderer Hersteller möglich




PALASCOUNTS

Betriebsmöglichkeiten U-SMPS 1



Simultane Scans und Datenaufnahme mit zwei Countern (CPC/CPC oder FCE/CPC)




selection for scan #1	selection for scan #2	DAQ activated	UF-CPC#1	device connected	device not ready	IP	3515.15	P/µm³	0.89869	l/min
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Charme	device not connected			0	P/µm³	0	l/min
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	TSI CPC	device not connected		075.071 3025A 3010	0	P/µm³	0.9	l/min
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UF-CPC#2	device connected	device ready	IP: 192.168.0.133	2450.23	P/µm³	0.90154	l/min


menu 0.0 s classifier 03.31.15.963 1261

PALASCOUNTS

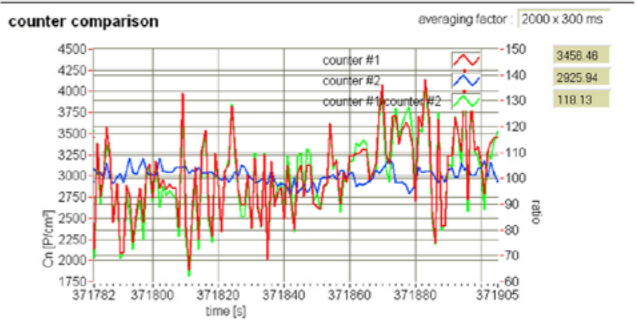
Betriebsmöglichkeiten U-SMPS 1



- Simultane Scans und Datenaufnahme mit zwei Countern (CPC/CPC oder FCE/CPC)
- Integrierte Vergleichsanzeige



counter comparison averaging factor: 2000 x 300 ms




counter #1	counter #2
3456.46	118.13


menu 0.0 s classifier 03.31.15.963 1261

PALASCOUNTS

Betriebsmöglichkeiten U-SMPS 1



Simultane Scans und Datenaufnahme mit zwei Countern (CPC/CPC oder FCE/CPC)




selection for scan #1	selection for scan #2	DAQ activated	UF-CPC#1	device connected	device not ready	IP	3515.15	P/µm³	0.89869	l/min
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Charme	device not connected			0	P/µm³	0	l/min
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	TSI CPC	device not connected		075.071 3025A 3010	0	P/µm³	0.9	l/min
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UF-CPC#2	device connected	device ready	IP: 192.168.0.133	2450.23	P/µm³	0.90154	l/min


menu 0.0 s classifier 03.31.15.963 1261

PALASCOUNTS

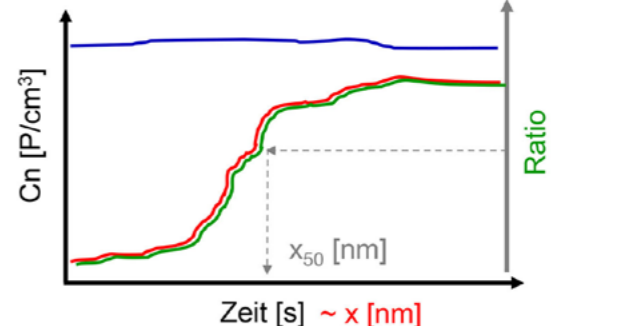
Betriebsmöglichkeiten U-SMPS 1



- Simultane Scans und Datenaufnahme mit zwei Countern (CPC/CPC oder FCE/CPC)
- Integrierte Vergleichsanzeige
- Einfache Bestimmung der Nachweisgrenze



Ratio

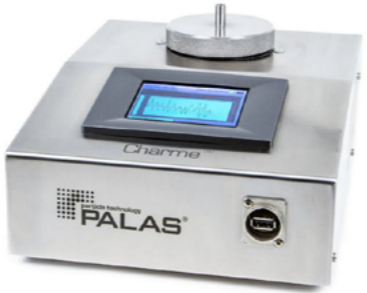


Zeit [s] ~ x [nm]

PALASCOUNTS

Charme® electrometer


- Standalone - Gerät mit integriertem Datalogger und Touchscreen-Bedienpanel
- Sehr geringes Signal-Rausch-Verhältnis (<0.3 fA)
- Minimierte Diffusionsverluste
- Austauschbarer Filter (47mm) für gravimetrische Referenzmessungen
- Schaltbar: interne Pumpe (bis 4 l/min) oder externe Pumpe



more technical specifications on www.palas.de

PALASCOUNTS

Betriebsmöglichkeit U-RANGE

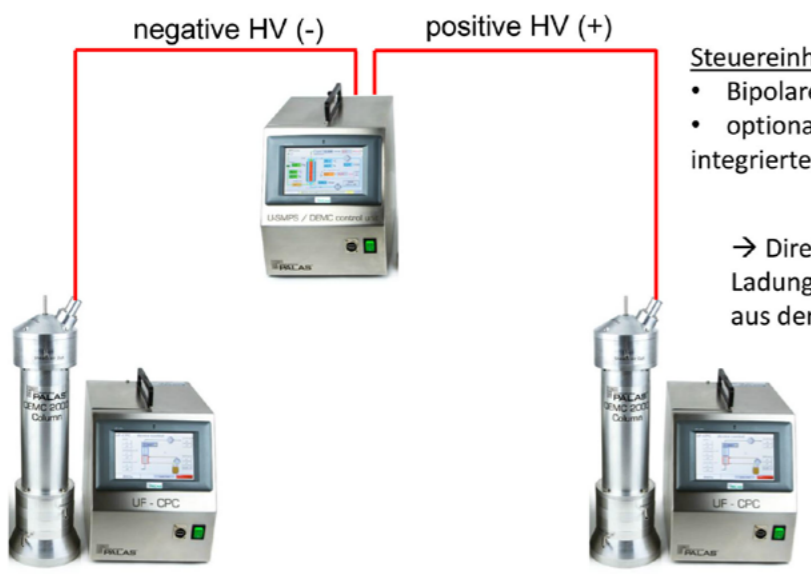


Kombination von U-SMPS und Fidas® (oder Promo®)

- Messbereich von 8nm bis 40µm mit 32- Klassen/Dekade
- Automatische Erfassung beider Verteilungen mit gleichem Zeitstempel
- Anpassungsmöglichkeiten im Überlappungsbereich

PALASCOUNTS

Betriebsmöglichkeiten U-SMPS 2



negative HV (-) positive HV (+)

Steuereinheit DEMC XB:

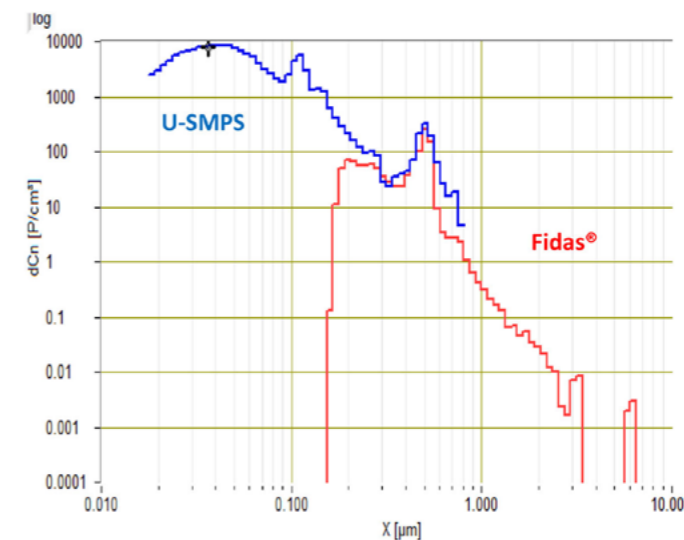
- Bipolare, simultane HV-Module
- optional: integrierter Röntgenneutralisator

→ Direkte Messung von Ladungsverteilungen z.B. aus der Verbrennung

PALASCOUNTS

U-RANGE

Messung von zerstäubter PSL-Lösung (105nm und 500nm)



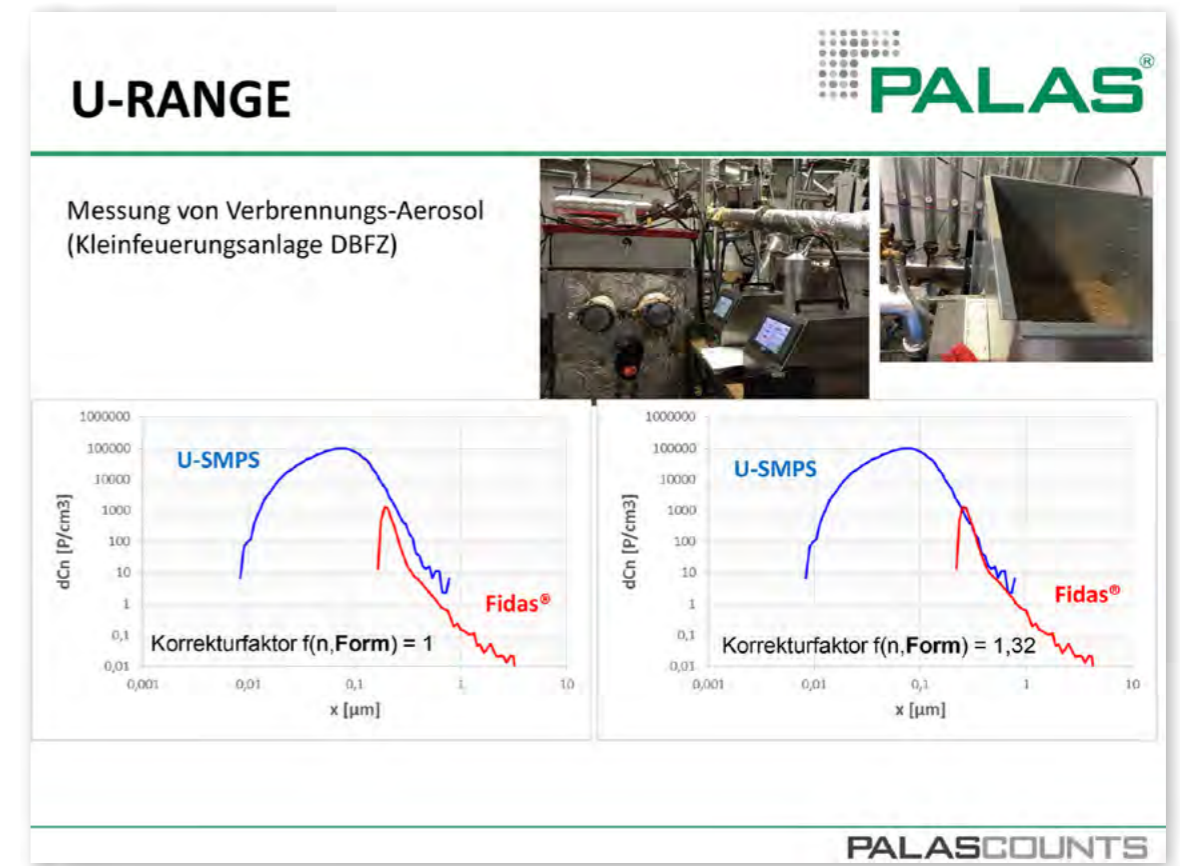
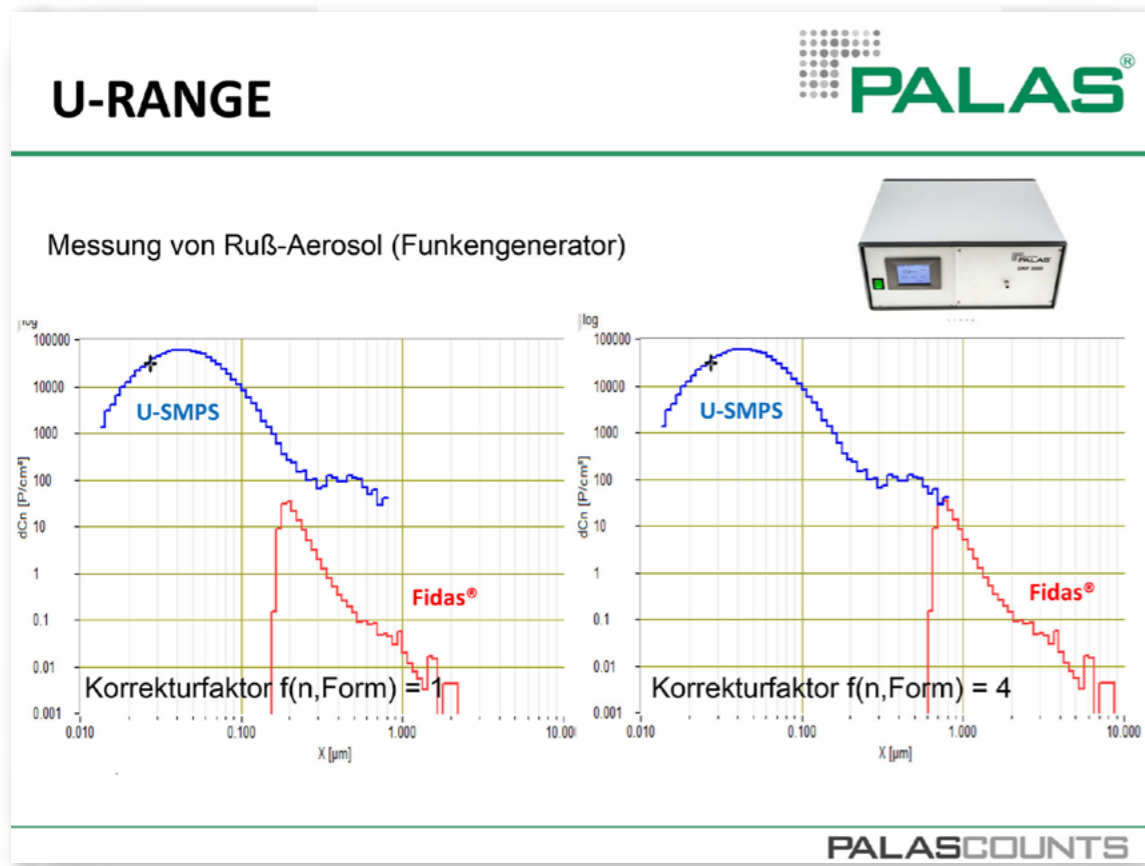
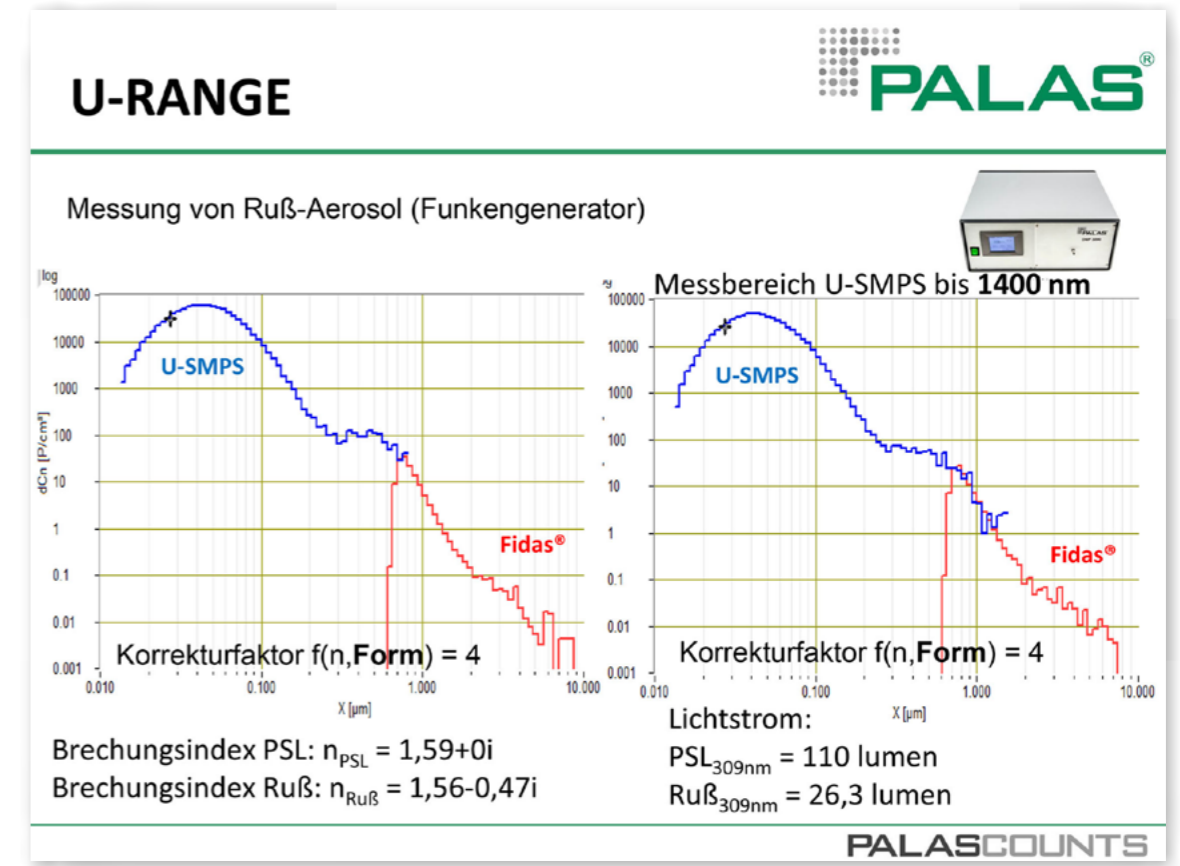
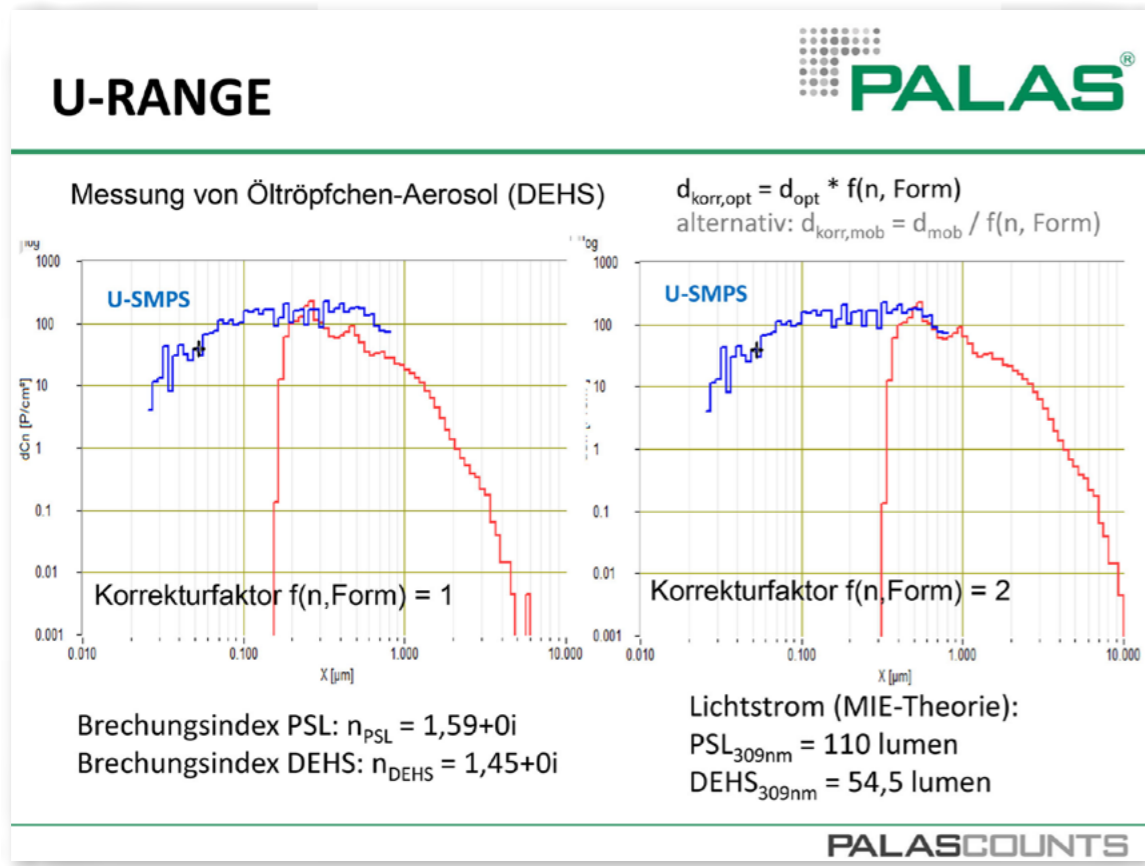
U-SMPS:
Sheath air: 5.0 l/min
Aerosol (UF-CPC): 0.5 l/min

Fidas®:
Measurement range:
0.18 – 18 µm

Korrekturfaktor (n, Form) = 1

Brechungsindex PSL: $n_{PSL} = 1.59 + 0i$

PALASCOUNTS





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

„Zähl', was zählbar ist, miss, was messbar ist, Und was nicht messbar ist, mach messbar!“

(Galileo Galilei)
15.02.1564 – 08.01.1642

Palas®: More than 30 years of expertise in aerosols!

PALASCOUNTS

Dr. Markus Pesch, GRIMM Aerosol Technik GmbH & Co. KG, Ainring
Messungen der Partikelzahlen in der Emission

*Dr. Markus Pesch
 GRIMM Aerosol Technik GmbH & Co. KG
 Dorfstrasse 9, 83404 Ainring
 Tel.: +49 (0)8654-578-0
 Fax: +49 (0)8654-578-35
 E-Mail: mp@grimm-aerosol.com
 Web: www.grimm-aerosol.com*

Einführung

Genauere Messungen von Partikelanzahl und Partikelgrößen in heißen Abgasen erfordert eine sorgfältige Verdünnung, da der Verdünnungsprozess die Anzahl und Größenverteilung der Partikel signifikant verändern kann und Partikel durch Kondensation gasförmiger Bestandteile des Abgases gebildet werden können. Die Fa. Grimm Aerosol Technik GmbH hat speziell für die Partikelbestimmung in der Emission ein Verdünnungssystem entwickelt (Emission Sampling System, kurz ESS).

Aufbau des Verdünnungssystems

Das ESS ist ein universelles Heißgas-Verdünnungs-System, das mit verschiedenen Analysegeräten (z.B. einem Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS) kombiniert werden kann. Zwei Verdünnungsstufen sind möglich und beide Verdünnungsstufen sind als geschlossene Kreisläufe konzipiert, so dass keine zusätzliche Zufuhr von Verdünnungsluft erforderlich ist (Abbildung 1). Kritische Düsen dienen als Volumenstromkontrolle und ermöglichen ein sehr genaues und stabiles Verdünnungsverhältnis. Die Verdünnungsverhältnisse hängen von dem Volumenstrom des Analysators ab, beträgt dieses 1 l/min ergibt sich ein Verhältnis von 1/10 oder 1/100. Das System kommt (abgesehen von der Vakuumpumpe) ohne bewegliche Teile aus, daher gibt es keine Druckschwankungen.

Kombination ESS und SMPS

Mit der Kombination des ESS und einem GRIMM-SMPS-System (verschiedene DMA und Detektoroptionen sind möglich) können Partikelgrößen und Partikelzahlen von ca. 3 nm bis ca. 1000 nm mit einer zeitlichen Auflösung von wenigen Minuten bestimmt werden (Abbildung 3).

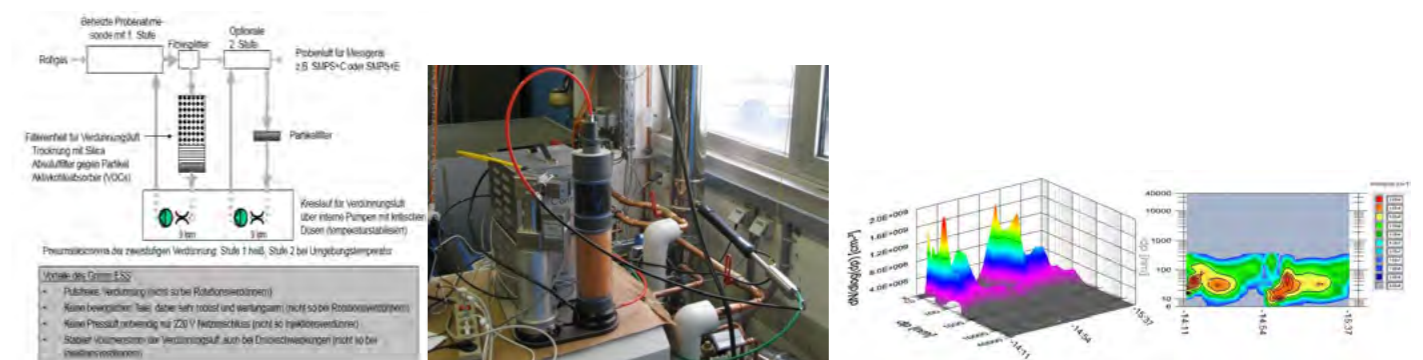


Abbildung 1 (links): Schema des GRIMM Emission Sampling System (ESS)


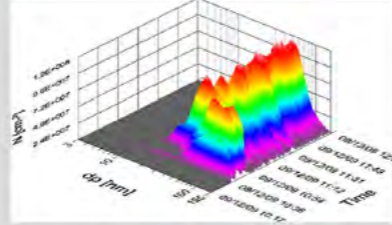
Abbildung 2 (mitte): GRIMM ESS in Kombination mit SMPS


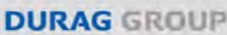
Abbildung 3 (rechts): Messergebnisse eines GRIMM ESS in Kombination mit einem SMPS

GRIMM Emission-Sampling-System (ESS)

Partikelzählungen in der Emission

Markus Pesch und Frank Tettich





Messung der Partikelgrößenverteilung (EMI)


- Partikelanzahl und Partikelgrößenverteilung zeigt Einfluss der Betriebsbedingungen auf Partikelemission
- Optimierung des Verbrennungsprozesses
- Größenverteilung liefert wichtige Daten für die Entwicklung und den Test von Filtern
- Partikelanzahl und Größenverteilung ermöglicht Abschätzung von Gesundheitsrisiken
- ...

All das ist mit rein gravimetrischen Messungen nicht zu leisten



GRIMM 2016 Partikelmessungen in der Emission

3



Seit Oktober 2015: Grimm Aerosol Technik gehört zur DURAG Group

DURAG GROUP

smart solutions for combustion and environment















GRIMM 2016 Partikelmessungen in der Emission

2



Das Grimm Emission Sampling System (EES)




Zur Messung von Partikeln im heißen Abgas

Bestandteile

- 1 Beheizte Probenahmesonde mit Verdünnungsstufe
- 2 Optionale zweite Verdünnungsstufe
- 3 Kontrolleinheit für Volumenströme und Temperatur
- 4 Filter, Trockner und Aktivkohlefilter für Verdünnungsluft


Technische Spezifikationen

Verdünnungsverhältnis:	Abhängig vom Volumenstrom: z.B. 1:10 oder 1:100 bei 1 Liter/min
Max. Temperatur des Abgases :	500°C
Max. Temperatur der Sonde:	250°C
Druck im Abgas:	Umgebungsdruck +-100 mbar
Volumenstromregelung:	Kritische Düsen, Temperatur stabilisiert



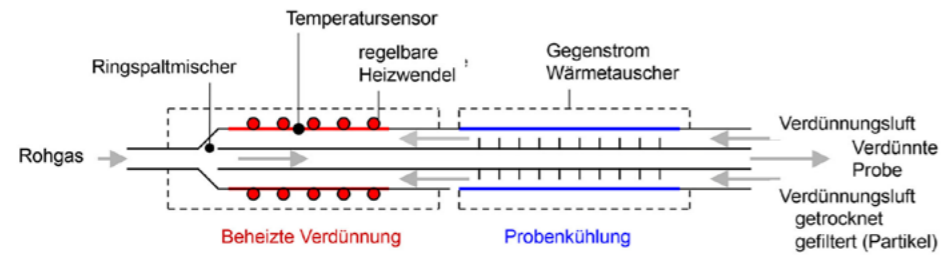
GRIMM 2016 Partikelmessungen in der Emission

4



Funktionsprinzip ESS: beheizte Probenahmesonde

Schema der beheizten ESS-Probenahmesonde



Partikelmessung mit SMPS+E DMA und FCE (Faraday Cup Electrometer)



10 lpm; M-DMA

- Größenbereich: 3 – 155 nm
- Anzahl Größenkanäle: 45
- Zeitbedarf pro Scan: 48s

6 lpm; L-DMA

- 7 – 603 nm
- 89 45 23 12
- 255s 145s 83s 55s

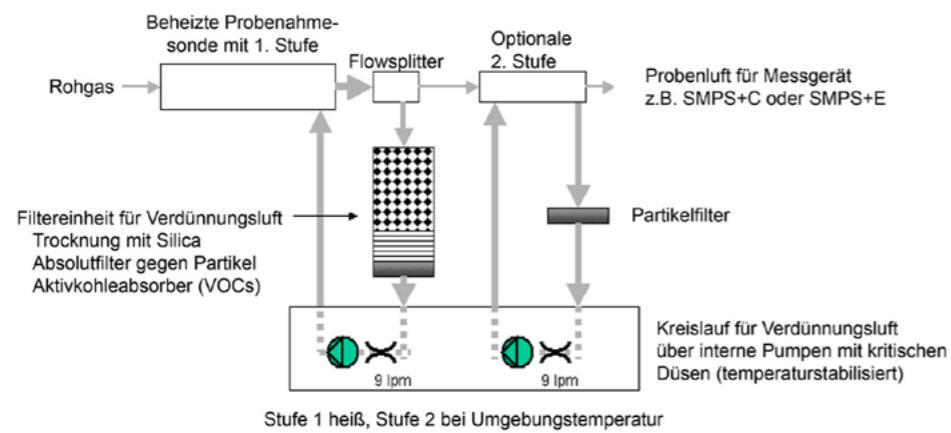
75 lpm; S-DMA

- 1 – 49 nm
- 89 45 23 12
- 77s 44s 33s 28s

Einstellungen für sehr schnelle Einkanalmessung

z.B. Partikelgröße: 47 nm, Zeitauflösung: 4 Hz

Funktionsprinzip ESS: Verdünnungsstufen



Grimm ESS

- Pulsfreie Verdünnung
- Keine beweglichen Teile, daher robust und wartungsarm
- Keine Pressluft notwendig, nur 223 V Netzanschluss
- Stabiler Volumenstrom der Verdünnungsluft auch bei Druckschwankungen

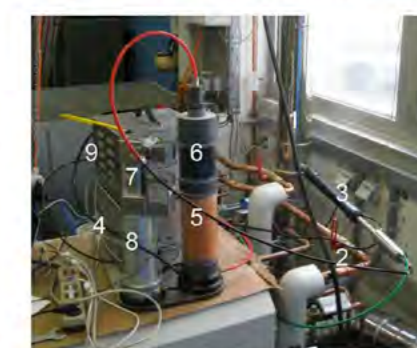
ESS einem Versuchs-Pelletbrenner (TU-Ulm)

Der Versuchs-brenner steht an der Technischen Universität Ulm, Institut für Antriebssysteme und Energietechnik.

Ziel der Emissionsmessung war die Optimierung des Verbrennungsprozesses (Partikelemission).



Pellet burner with pellet storage and automated feeding system. 1: Storage for wood pellets, 2: Electrical feeding system, 3: Pellet burner with control unit and housing, 4: Burner, adapted for experimental use, originally a simple wood burner.



Complete sampling setup. 1: Stack with exhaust gas, 2: Hydraulic connection and sensors, 3: Sampling probe, 4: Control unit, 5: Dryer, 6: Charcoal absorber and filter for dilution air, 7: Differential mobility analyzer (DMA), 8: Faraday cup electrometer (FCE), 9: DMA Controller

Emissionen aus Pellets: Partikelanzahlverteilungen

Partikelanzahlverteilung eines 15 kW Pelletbrenners

Mittlerer Partikeldurchmesser bei Anbrennphase ca. 80 nm, bei Konstantbetrieb ca. 48 nm

GRIMM 2016 Partikelmessungen in der Emission 9 DURAG GROUP

Einzelkanalmessung mit sehr hoher Zeitauflösung

Partikelanzahl bei 47 nm mit hoher Zeitauflösung (4 Hz).

Pelletladung von 12 Sekunden erzeugt direkten signifikanten Emissionsanstieg. Anschließende Glutruhe von 15 Sekunden führt wieder zum Absinken der Emissionen

➤ Wichtige Kenntnisse für Verbrennungsoptimierung

GRIMM 2016 Partikelmessungen in der Emission 11 DURAG GROUP

Einzelkanalmessung bei 47nm mit 4Hz

Rohdaten Partikelanzahl

Abschätzung der Staubmasse (Kugelförmige Partikel mit Dichte 1,6 g/cm³)

Gesamtanzahl während Warm-up Phase: ca. $0,5 \cdot 10^8$ P/ccm³
 Anstieg auf über 10^9 P/ccm³ während konstantem Betrieb
 Staubmasse bei Warm up Phase: ca. 800 mg/m³, absinken auf ca. 200 mg/m³ während konstantem Betrieb

GRIMM 2016 Partikelmessungen in der Emission 10 DURAG GROUP

ESS (mit CPC) an einem Scheitholzbrenner

Einstellung für Messung
 Sheath air; DMA: 10 lpm; M-DMA

- Größenbereich: 6 – 350 nm
- Anzahl der Kanäle: 45
- Zeit pro Scan: 210 s

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart Prüfstelle Feuerstätten und Abgasanlagen
 Dr.-Ing. Andreas Kalisch

GRIMM 2016 Partikelmessungen in der Emission 12 DURAG GROUP

Scheitholz: Emissionsmuster von Einzelscheiten

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, Prüfstelle Feuerstätten und Abgasanlagen, Dr.-Ing. Andreas Kalisch.

Scheitholzverbrennung

- Mittlerer Partikeldurchmesser wandert von anfangs ca. 10 nm bei Anbrennphase (Vergasung) auf ca. 40 nm (Brandphase)
- Absinken der Konzentration während der Brandphase
- Emissionsmuster dient zur Entwicklung von Keramikfiltern zur Minderung der Emission und zu deren Effizienzüberprüfung (Adler and Kalisch 2009)

GRIMM 2016 Partikelmessungen in der Emission 13 DURAG GROUP

Übersicht über die Messpunkte

GRIMM 2016 Partikelmessungen in der Emission 15 DURAG GROUP

Messungen am DBFZ (19.08.2015)

Pelletofen mit Elektroabscheider

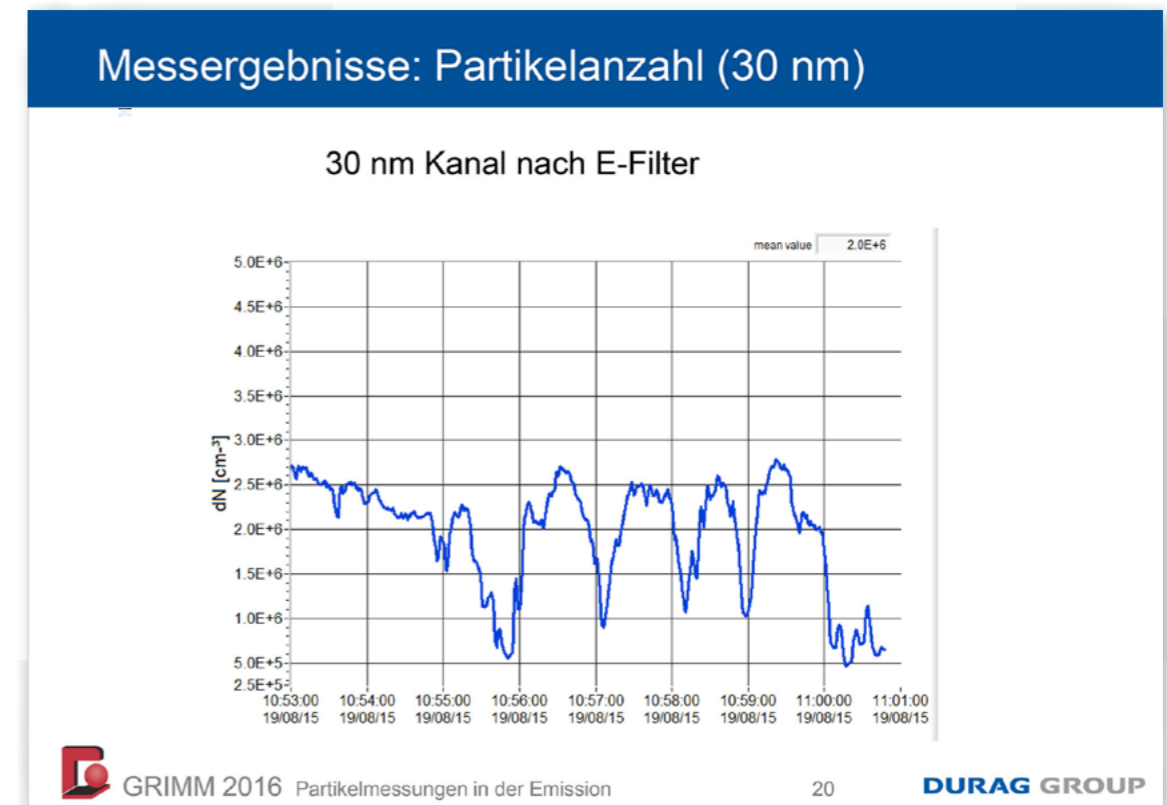
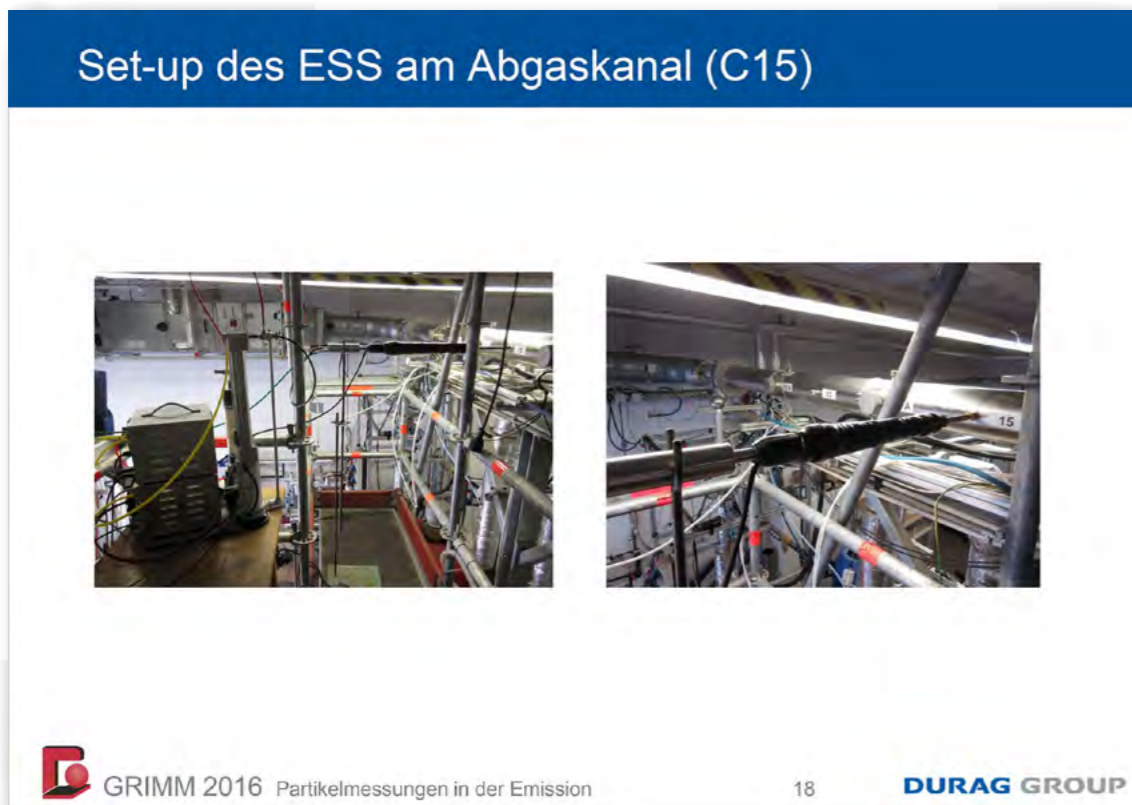
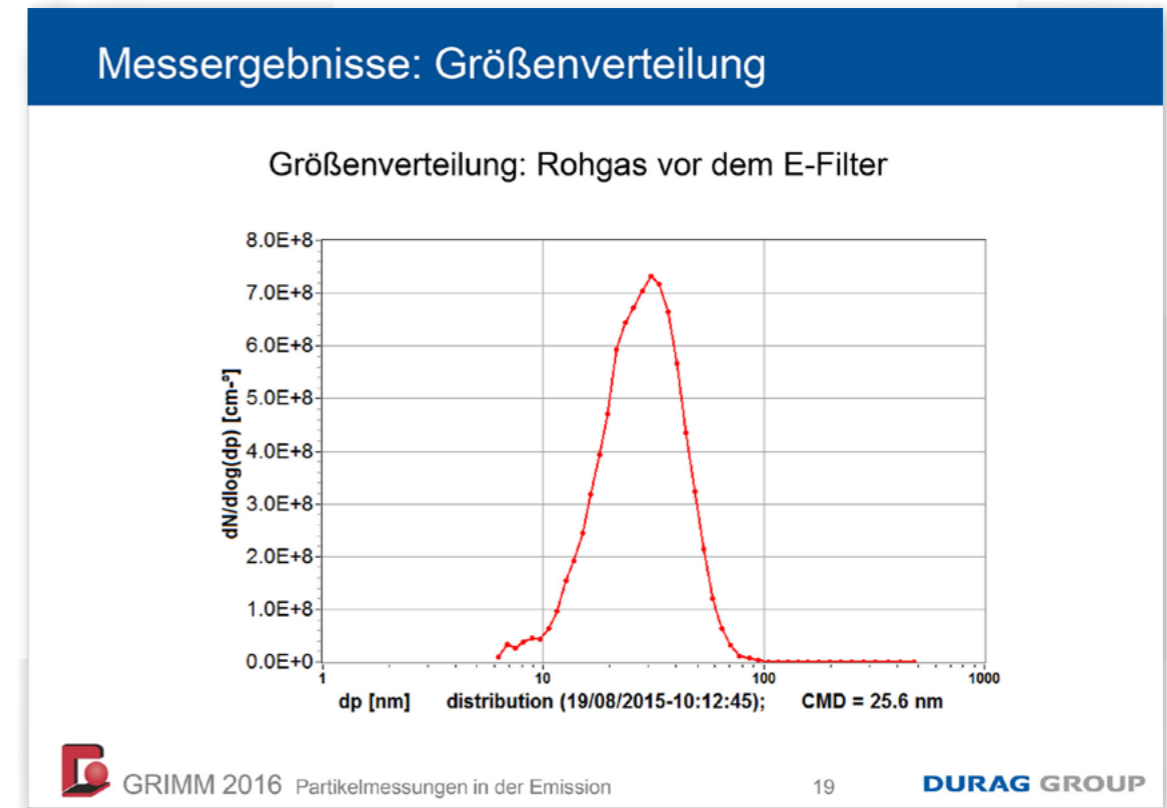
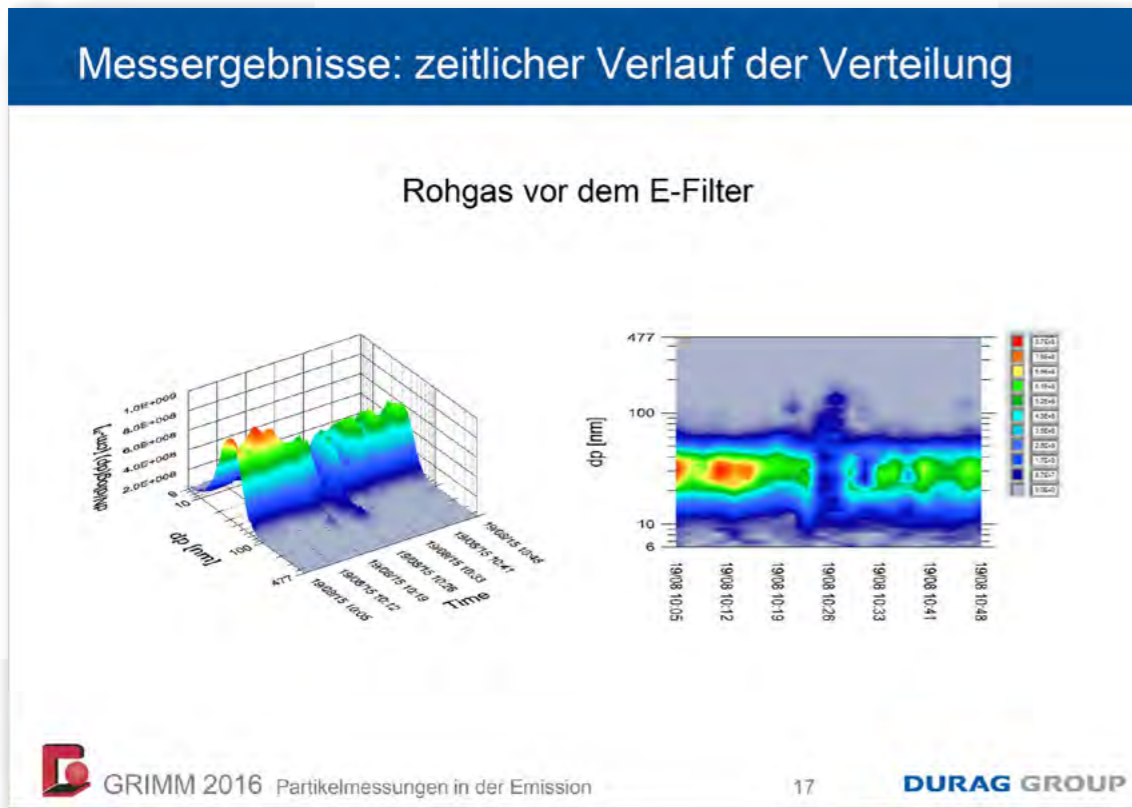
GRIMM 2016 Partikelmessungen in der Emission 14 DURAG GROUP

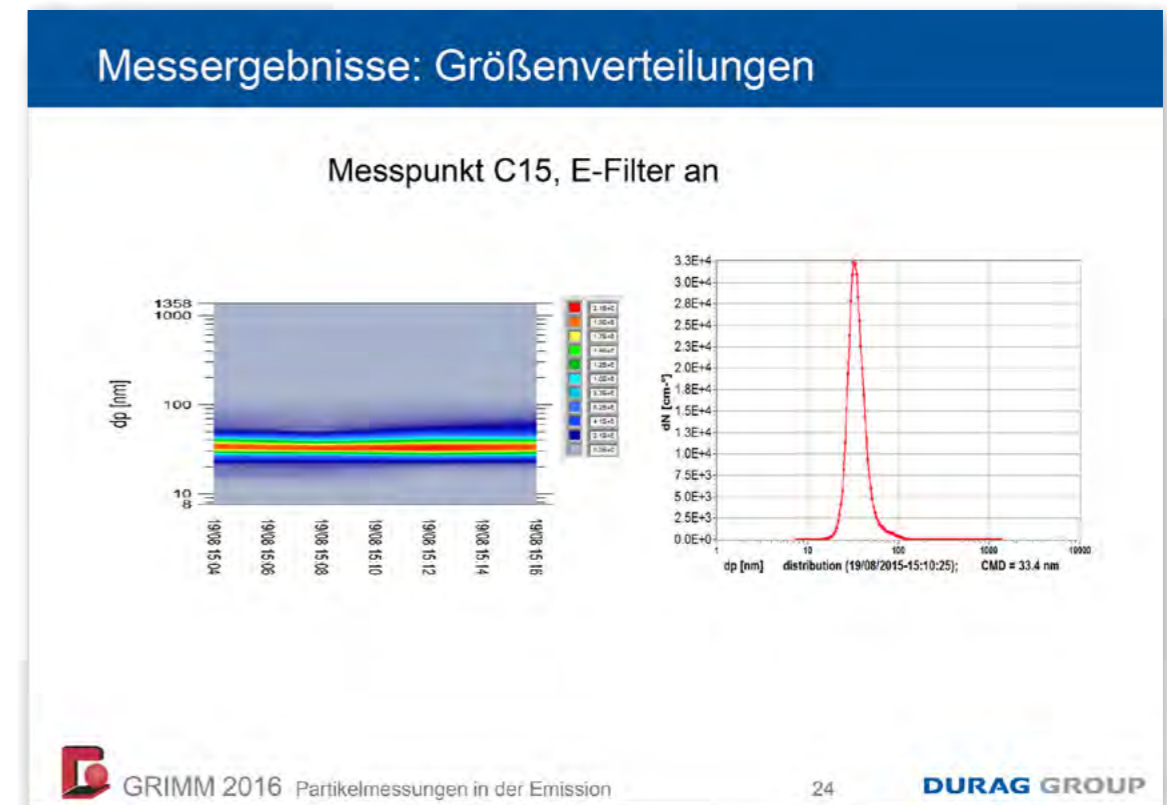
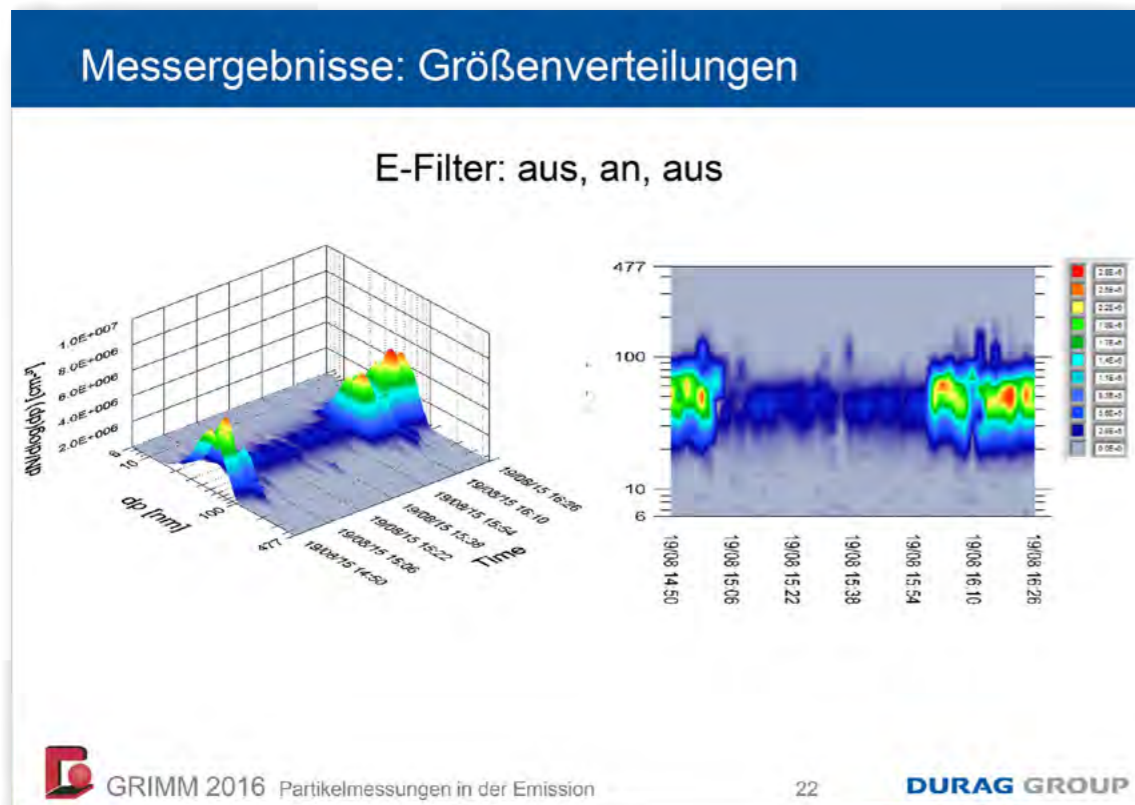
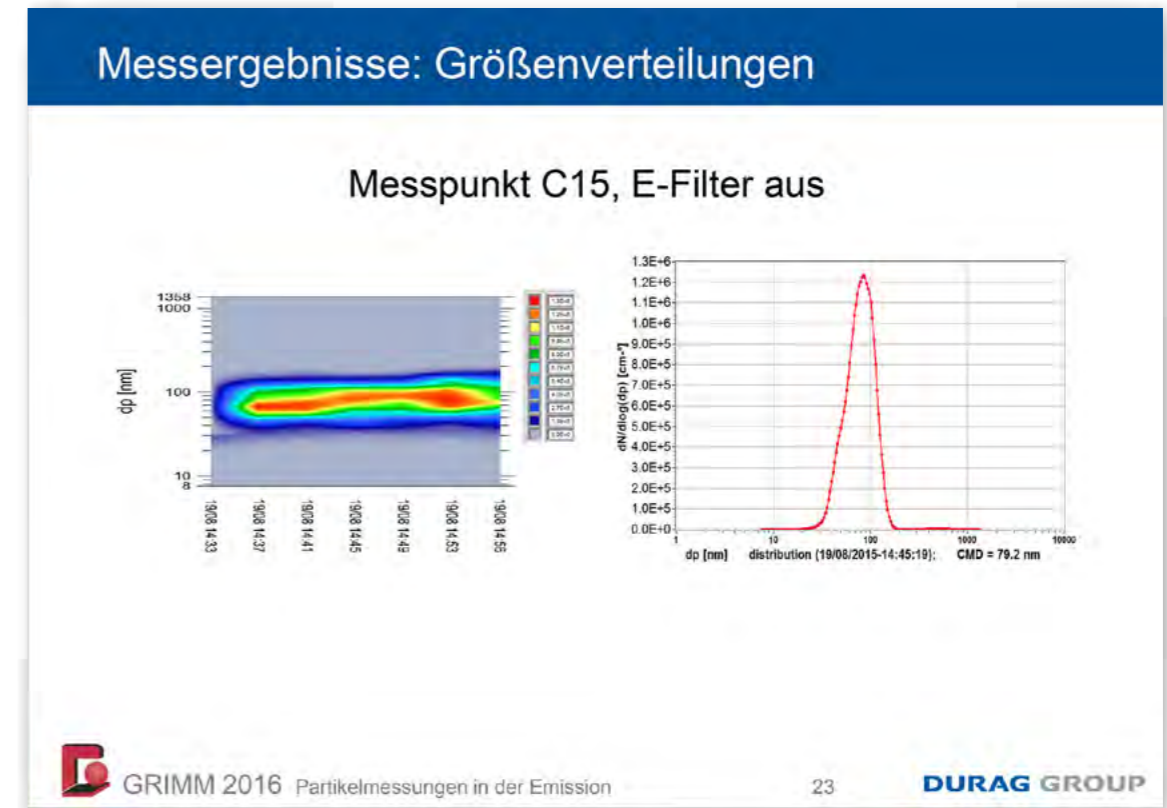
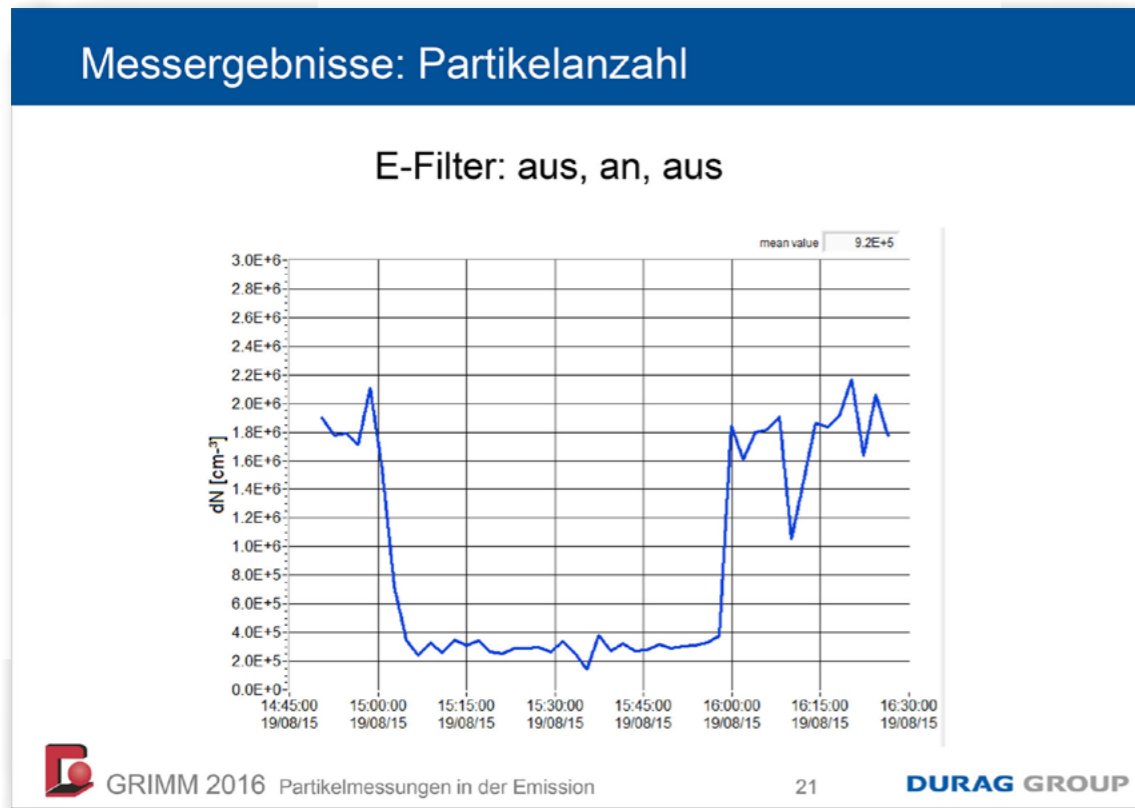
Set-up des ESS

C1 vor dem E-Filter

C2 nach dem E-Filter

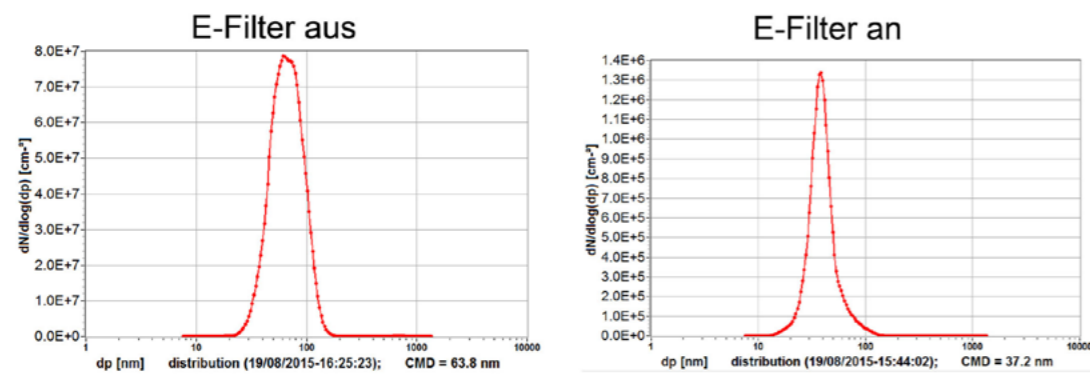
GRIMM 2016 Partikelmessungen in der Emission 16 DURAG GROUP





Messergebnisse: Größenverteilungen

Messpunkt C33



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Zusammenfassung

- ✓ Das ESS liefert Partikelanzahlen und Partikelgrößenverteilungen in der Emission
- ✓ Die Kombinationen des ESS sind:
 - SMPS+FCE (Rohgas-Konzentrationen: ca. $1E4$ bis $1E10$ P/ cm^3)
 - SMPS+CPC (Rohgas-Konzentrationen: ca. $1E2$ bis $1E7$ P/ cm^3)
- ✓ Schnelles Set-up, ca. 30 min
- ✓ Flexibler Einsatz durch modularen Aufbau
- ✓ Relativ einfache Handhabung

ANHANG

Veranstalter

Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)



Das TFZ ist eine Einrichtung des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Unsere Aufgabe ist es, vor allem für den ländlichen Raum, die Bereitstellung und Nutzung von Energieträgern und Rohstoffen aus Erntegütern und Reststoffen aus der Land- und Forstwirtschaft voran zu bringen. Angewandte wissenschaftliche Forschung, ethische Bewertung, staatliche Förderung, sowie Technologie- und Wissenstransfer bilden dabei die Basis unserer Arbeit. Wir forschen für Länder- und Bundesministerien, für die EU sowie für verschiedenste Organisationen, Verbände und Unternehmen.

Dabei kooperieren wir mit zahlreichen Hochschulinstitutionen, Forschungsanstalten und Unternehmen im In- und Ausland. Unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind in Gremien auf nationaler und internationaler Ebene an Entscheidungsprozessen beteiligt. Durch einen zielgerichteten Wissenstransfer mit Beratungsunterlagen, Internetinformationen, Seminaren, Ausstellungen und Messeauftritten profitieren land- und forstwirtschaftliche Praxis, ländlicher Raum, Handwerk, Industrie und Politik gleichermaßen von unserer Forschungsarbeit. In Straubing, der Region der Nachwachsenden Rohstoffe, arbeiten wir mit zahlreichen Partnern zusammen.

Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)

Schulgasse 18
 93415 Straubing
 Telefon: +49 (0)9421 300-210
 Fax: +49 (0)9421 300-211
 poststelle@tfz.bayern.de
 www.tfz.bayern.de

Veranstalter

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH.



Das DBFZ wurde 2008 durch das ehemalige Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) mit dem Ziel gegründet, eine zentrale Forschungseinrichtung für alle relevanten Forschungsfelder der Bioenergie einzurichten und die Ergebnisse der sehr vielschichtigen deutschen Forschungslandschaft in diesem Sektor zu vernetzen. Der wissenschaftliche Auftrag des DBFZ ist es, die effiziente Integration von Biomasse als eine wertvolle Ressource für eine nachhaltige Energiebereitstellung wissenschaftlich im Rahmen angewandter Forschung umfassend zu unterstützen. Dieser Auftrag umfasst technische, ökologische, ökonomische, soziale sowie energiewirtschaftliche Aspekte entlang der gesamten Prozesskette (von der Produktion über die Bereitstellung bis zur Nutzung). Die Entwicklung neuer Prozesse, Verfahren und Konzepte wird durch das DBFZ in enger Zusammenarbeit mit industriellen Partnern begleitet und unterstützt. Gleichzeitig erfolgt eine enge Vernetzung mit der öffentlichen deutschen Forschung im Agrar-, Forst- und Umweltbereich wie auch mit den europäischen und internationalen Institutionen. Gestützt auf diesen breiten Forschungshintergrund soll das DBFZ darüber hinaus wissenschaftlich fundierte Entscheidungshilfen für die Politik erarbeiten.

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Tel. +49 (0)341 2434-112
Fax: +49 (0)341 2434-133
info@dbfz.de

Veranstalter:

**DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH**
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Telefon: +49 (0)341 2434-112
Telefax: +49 (0)341 2434-133
E-Mail: info@dbfz.de
www.dbfz.de

Technologie- und Förderzentrum (TFZ)
Dr. Hans Hartmann,
Sachgebietsleiter Biogene Festbrennstoffe
Schulgasse 18
D-94315 Straubing
Tel. 09421-300-110
E-Mail: hans.hartmann@tfz.bayern.de
www.tfz.bayern.de

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

In Kooperation mit:

Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe

