

# Staubmessung nach dem Referenzmessverfahren der VDI 4206-1

Hans Hartmann, Peter Turowski, Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

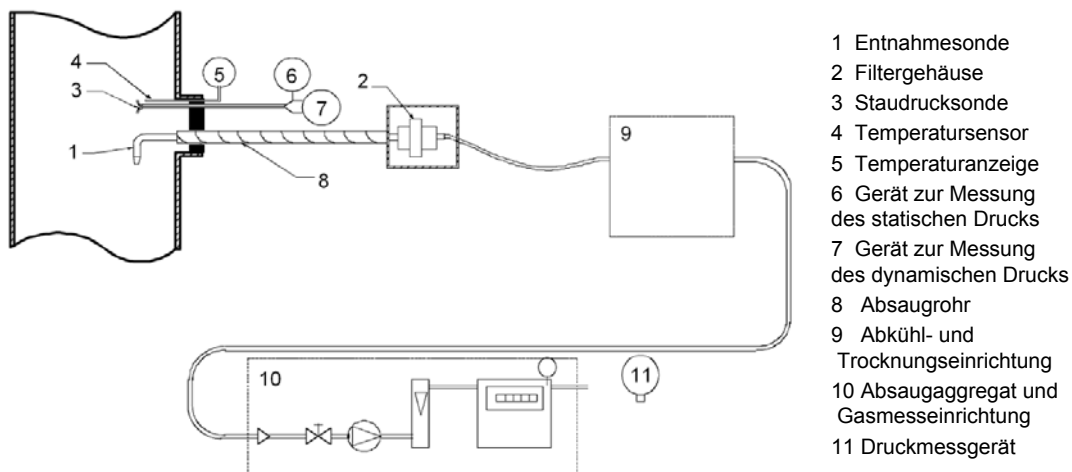
## Gliederung

---

- Beschreibung des Messverfahrens nach VDI 2066-1
- Unterschiede zum Kaminkehrerverfahren
- Messerfahrungen und Messunsicherheiten
- Fazit



## Prinzipdarstellung der Messung nach VDI 2066 – Blatt 1



Quelle: VDI 2066-1: Messen von Partikeln – Staubmessungen in strömenden Gasen – Gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung (November 2006)

Hartmann  
P 10 B Ha 013

Folie 3

Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe



## Beispiel für eine Prüfstandsausführung (TFZ Straubing)



Hartmann  
P 10 B Ha 013

Folie 4

Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe



## Staubmessung nach VDI 2066 im Vergleich zum Schornsteinfegerverfahren (1)

	VDI-Richtlinie 2066 Blatt 1	Kaminkehrer mit eignungsgeprüften Messgeräten
Anwendung	- Überprüfung von Grenzwerten bei überwachungsbedürftigen Anlagen - Kalibrierung von automatischen Staubemissionsmeseinrichtungen - Prüfstandsmessungen	- Messung an überwachungsbedürftigen Anlagen gemäß 1. BImSchV - Prüfstandsmessungen
Prinzip	Manuelles gravimetrisches Messverfahren mit Teilstromentnahme (isokinetisch)	Manuelles gravimetrisches Messverfahren mit Teilstromentnahme (konstante Absaugmenge)
Messort	In vorzugsweise horizontalen Abschnitten des Abgasrohres mit konstanter Form und Querschnitt Einlaufstrecke min. 5 hydr. Durchmesser, Auslaufstrecke min. 2 hydr. Durchmesser (Abstand bis zum Ende des Abgaskanals: mindestens 5 hydraulische Durchmesser).	Verbindungsstück zwischen Wärmeerzeuger und Schornstein. Messöffnung 2 * D hinter dem Abgasstutzen. Messung im Kern des Abgasstromes
notwendige Messwerte	- Abgastemperatur - Förderdruck - Abgasgeschwindigkeit - Abgaszusammensetzung - Luftdruck am Messort	- Abgastemperatur - Förderdruck - Sauerstoff (als 15-Minuten-Mittelwert)
Filtermedium	- Planfilter - mit Quarzwatte gestopfte Filterhülse mit oder ohne nachgeschalteten Planfilter - Extraktionsfilterhülse mit oder ohne nachgeschaltetem Planfilter	Extraktionsfilterhülse
Filtermaterial	Glasfaser- oder Quarzfaserfilter	Borosilikatglasfasern
Filteranordnung	Out-Stack (Kleinanlagen) oder In-Stack Bei der Out-Stack-Filtration müssen das Absaugrohr und der Filterhalter beheizt sein (in der Regel bei 160 °C)	Out-Stack Filterhalter auf 70 °C beheizt

Hartmann  
P 10 B\_Ha 013

Folie 5

Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe



## Staubmessung nach VDI 2066 im Vergleich zum Schornsteinfegerverfahren (2)

	VDI-Richtlinie 2066 Blatt 1	Kaminkehrer mit eignungsgeprüften Messgeräten
Filterbehandlung	1. Trocknung der Filter bei 180 °C für mindestens 1 Stunde und anschließender Äquilibrierung im Exsikkator für mindestens 8 Stunden 2. Erstwägung der Filter 3. Staubprobenahme 4. Trocknung der Filter bei 160 °C für mindestens 1 Stunde und anschließender Äquilibrierung im Exsikkator für mindestens 8 Stunden 5. Eindampfen der Spüllösungen zur Bestimmung der Staubablagerungen vor dem Filter (wenn gefordert) 6. Zweitwägung der Filter und eventuell der Ablagerungen vor dem Filter (Die Temperaturangaben sind Empfehlungen gemäß VDI 2066)	1. Trocknung der Hülsenfilter bei 160 °C für 4 Stunden, anschließend Abfüllen in Aluminiumdosen und Zwischenlagerung im Exsikkator 2. Trocknen der Hülsenfilter bei 110 °C für 4 Stunden und anschließender Äquilibrierung im Exsikkator für mindestens 12 Stunden 3. Erstwägung der Hülsenfilter in der geschlossenen Filterdose 4. Staubprobenahme 5. Trocknung der Hülsenfilter bei 110 °C für 4 Stunden und anschließender Äquilibrierung im Exsikkator für mindestens 12 Stunden 6. Zweitwägung der Hülsenfilter in der geschlossenen Filterdose
Anzahl der Messpunkte	Ein Messpunkt in der Mitte des Messquerschnittes (bis 350 mm Rohrinne Durchmesser)	Ein Messpunkt im Kernstrom
Isokinetik	Ja Isokinetische Probenahme innerhalb von -5 % bis +15 %	Nein Absauggeschwindigkeit am Sondeneingang von 4 m/sek bei einer Rauchgastemperatur von 325 °C und 1013 mbar
Sonde	Verschiedene Sondendurchmesser	Fester Innendurchmesser von 9,74 mm
Absaugmenge	Abhängig vom Staubgehalt Bei Staubgehalt bis 150 mg/m <sup>3</sup> : 1 bis 3 m <sup>3</sup> /h	135 Normliter
Absaugdauer	in der Regel 30 Minuten	15 Minuten
Berücksichtigung der Staubablagerungen vor dem Filter	Ja, außer wenn nachgewiesen werden kann, dass diese zu vernachlässigen sind	Nein

Hartmann  
P 10 B\_Ha 013

Folie 6

Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe



## Handhabung der Filter bei der Staubmessung gemäß VDI 2066 (1)

		
Abwiegen von ca. 2 g Quarzwatte	Verbinden der Filterhülse mit Vakuumsauger	Einsaugen der Quarzwatte in die Filterhülse
		
Stopfen der Quarzwatte mit Vakuumunterstützung	Trocknen der gestopften Filterhülsen in Trockenschrank	Abkühlung im Exsikkator

Hartmann  
P 10 B Ha 013

Folie 7

Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe



## Handhabung der Filter bei der Staubmessung gemäß VDI 2066 (2)

		
Erstwiegung der Filterhülse	Erstwiegung des Planfilters	Einlegen der Filtermedien in das Filtergehäuse
		
Zusammenbau des Filtergehäuses	Komplettes Filtergehäuse	Auseinanderbauen nach der Probenahme






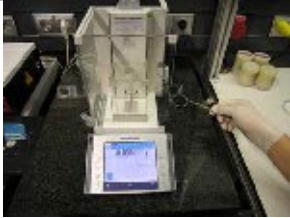
Hartmann  
P 10 B Ha 013

Folie 8

Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe



## Handhabung der Filter bei der Staubmessung gemäß VDI 2066 (3)

		
Beladene Filtermedien	Entnahme des Planfilters	Trocknung im Trockenschrank
		
Abkühlung im Exsikkator	Zweitwiegung der Filterhülse	Zweitwiegung des Planfilters

Hartmann  
P 10 B Ha 013

Folie 9

Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe



## Erfassung der Staubablagerungen im Sondentrakt



- 3 x Spülen:
- 2 x mit vollentsalztem Wasser
  - 1 x mit Aceton



Hartmann  
P 10 B Ha 013

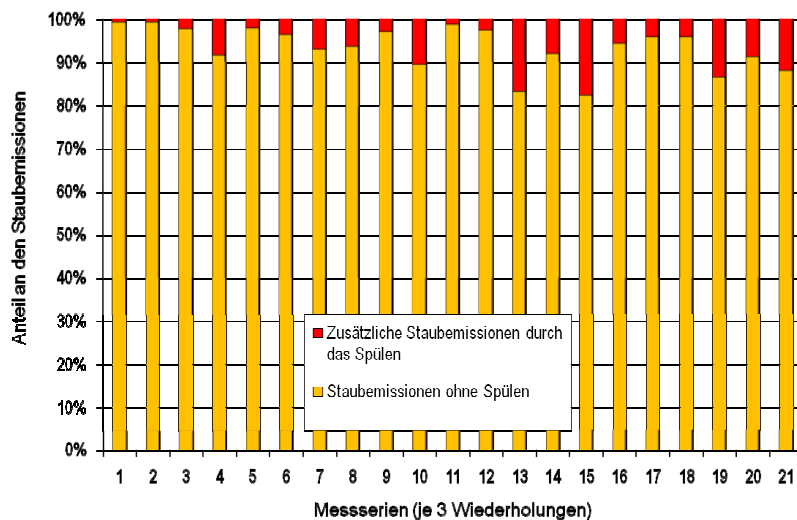
Folie 10

Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe



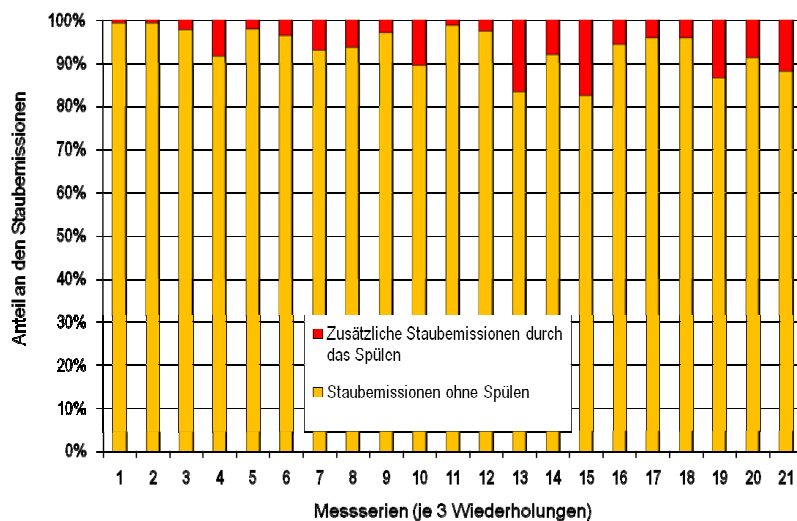
## Anteile der Ablagerungen (3 x Waschen des Sondentraktes)

– Ergebnisse aus Prüfstandsmessungen am TFZ  
(Messungen an Einzelfeuerstätten und Zentralheizungen für Holz und Stroh)



## Anteile der Ablagerungen (3 x Waschen des Sondentraktes)

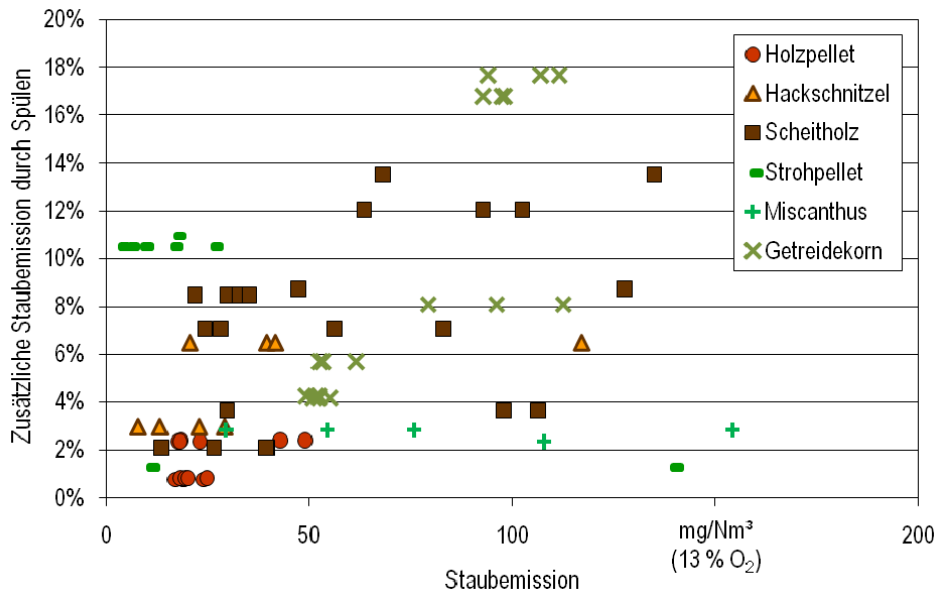
– Ergebnisse aus Prüfstandsmessungen am TFZ  
(Messungen an Einzelfeuerstätten und Zentralheizungen für Holz und Stroh)





### Anteile der Ablagerungen bei verschiedenen Staubemissionen und Brennstoffen (3 x Waschen des Sondentraktes)

– Ergebnisse aus Prüfstandsmessungen am TFZ



Hartmann  
P 10 B Ha 013

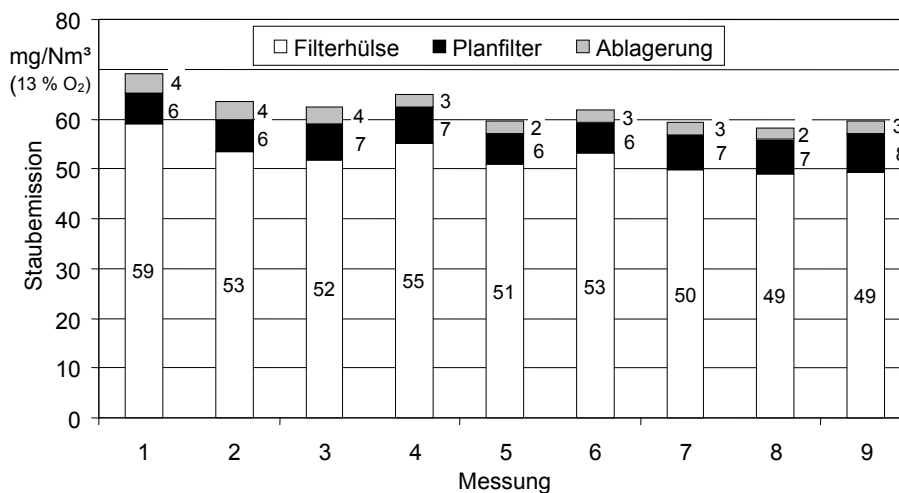
Folie 13

Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachhaltige Rohstoffe



### Verteilung der Partikelmasse im Probennahmesystem (hier: Messungen mit Halmgut- und Getreidebrennstoffen)

mit 3-maligem Auswaschen des Sondentraktes



Quelle:  
TFZ Straubing (unveröffentlicht)

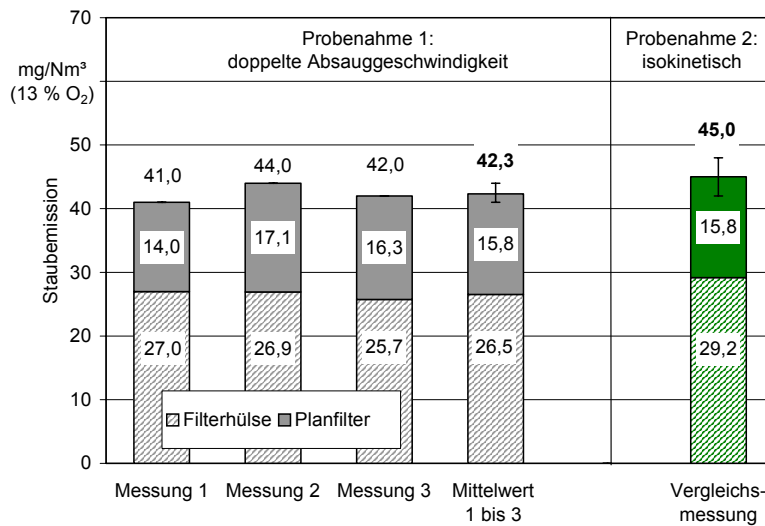
Hartmann  
P 10 B Ha 013

Folie 14

Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachhaltige Rohstoffe



## Einfluss der Isokinetik (hier: Messungen mit Halmgut- und Getreidebrennstoffen)



Quelle:  
TFZ Straubing (unveröffentlicht)

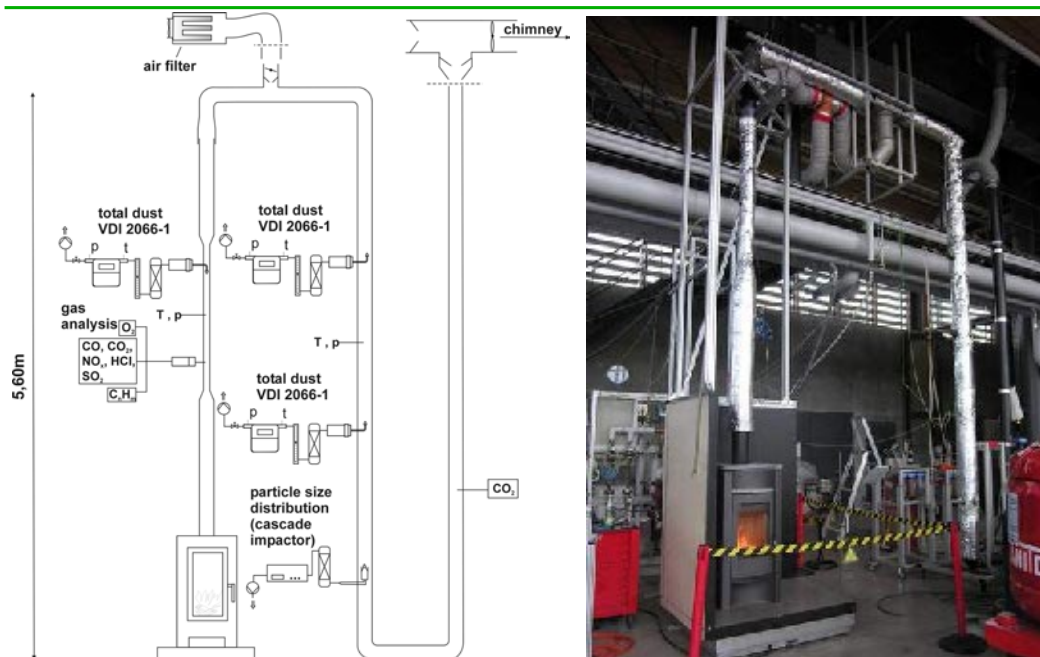
Hartmann  
P 10 B Ha 013

Folie 15

Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachhaltige Rohstoffe



## Versuchsaufbau – Wirkung eines Verdünnungstunnels



Hartmann  
P 10 B Ha 013

Folie 16

Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachhaltige Rohstoffe





## Anstieg der gemessenen absoluten Staubemission im verdünnten Abgas gegenüber dem unverdünnten Abgas

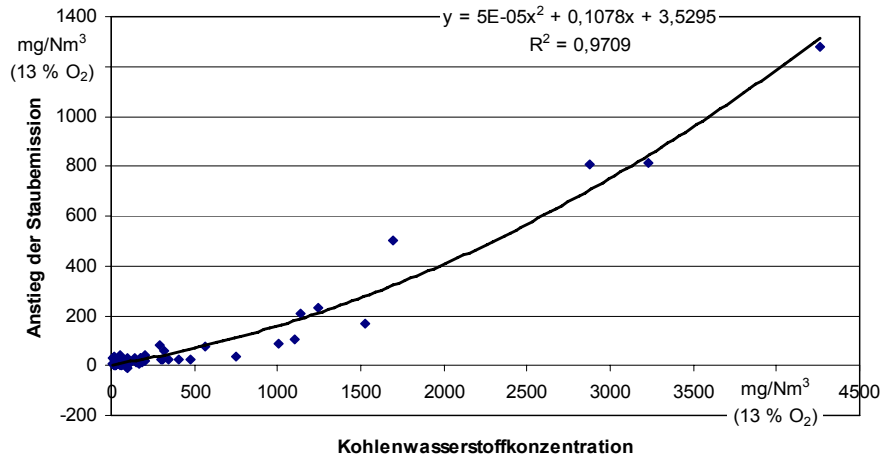
- Abhängigkeit von der Kohlenwasserstoffkonzentration -

Auswertung von 95 Parallelmessungen an einem Kaminofen und einem Kachelofen:

mittleres Verdünnungsverhältnis: 5,7

mittlere Abgastemperatur unverdünnt: 262 °C

mittlere Abgastemperatur verdünnt: 56 °C



Quelle:  
Partikelemissionen aus Kleinfeuerungen für Holz und Ansätze für Minderungsmaßnahmen.  
TFZ Bericht Nr. 22.  
Download: [www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de)

Hartmann  
P 10 B Ha 013

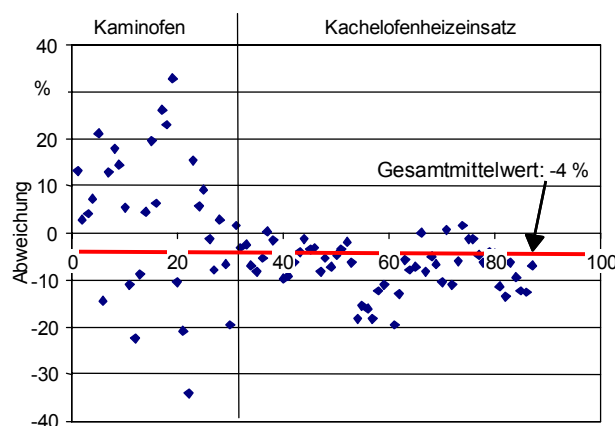
Folie 17

Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe



## Vergleich zweier Gesamtstaubmessungen bei hintereinander angeordneten Probenahmestellen im verdünnten Abgas

parallele halbstündige Messungen mit Planfilter gemäß VDI Richtlinie 2066-1



	Kaminofen	Kachelofenheizeinsatz
mittl. Abweichung:	11 %	7 %
mittl. CO-Emission:	4400 mg/Nm <sup>3</sup>	2050 mg/Nm <sup>3</sup>
mittl. C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> -Emission:	603 mg/Nm <sup>3</sup>	158 mg/Nm <sup>3</sup>

Quelle: Partikelemissionen aus Kleinfeuerungen für Holz und Ansätze für Minderungsmaßnahmen.  
TFZ Bericht Nr. 22, Download: [www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de)

Hartmann  
P 10 B Ha 013

Folie 18

Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe



## Fazit

---

- Die Abweichungen der Staubmessung sind besonders hoch, wenn Abgase aus instationären Prozessen gemessen werden.
- Die Verwendung von gestopften Quarzwattefiltern ist ohne nachgeschalteten Planfilter bei manchen Brennstoffen problematisch.
- Bei Abgasen mit hoher Kohlenwasserstoffbelastung sind die im heißen Abgas gemessenen Partikelemissionen nicht mit den Emissionsbedingungen an der Schornsteinmündung vergleichbar.
- Einfluss der Isokinetik kann bei der Gesamtstaubbestimmung im stationären Betriebszustand vernachlässigt werden.
- Messungen nach VDI 2066 stimmen prinzipiell gut mit dem Kaminkehrerverfahren überein.



# Weiterentwicklung der Gerätetechnik für Staubmessungen bei Festbrennstoff-Kleinfeuerungen

## Gravimetrisches Online-Verfahren zur Staubmessung

Stephan Ester, Wöhler MGKG GmbH, Bad Wünnenberg  
Michael Struschka, ifk, Universität Stuttgart (ehemals IVD)  
Christian Schäfer, ifk, Universität Stuttgart

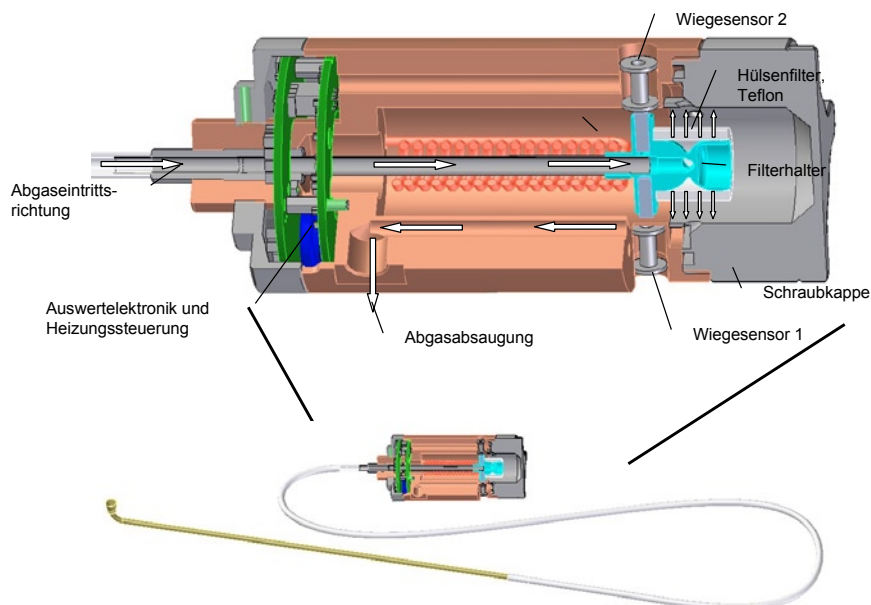
### Einleitung

- Novellierung der 1. BImSchV: Reduzierung des Grenzwertes der Staubemissionen bei kleinen und mittleren Biomassefeuerungen von derzeit 150 mg/Nm<sup>3</sup> auf 20 mg/Nm<sup>3</sup>, greift ab 2015.
- Absenkung erfordert sowohl ein messtechnisch angepasstes als auch ein wirtschaftlich optimiertes Überwachungsverfahren.
- Neues Verfahren muss Online-Ergebnis liefern.
- Vollständige Umsetzung der 1.BImSchV erfolgt erst 6 Monate nach Bekanntgabe eines geeigneten Verfahrens.
- Es besteht daher auch ein erhebliches öffentliches Interesse.

## Aufgabenstellung

- Das Sensorprinzip soll auf einem reinen masseabhängigen Messeffekt basieren.
- Die Messanordnung soll für einen mobilen kostengünstigen Einsatz geeignet sein und ein Sofortergebnis liefern.
- Die Funktion des Messsystems muss unter den gegebenen Betriebsparametern (Temperatur, Abgaszusammensetzung nach VDI 4206-2) robust und stabil sein.
- Kosten müssen im Bereich einer Messung an Öl- und Gasfeuerstätten liegen, damit biogene Festbrennstoffe nicht benachteiligt werden!

## Sensoraufbau



## Vergleichsmessungen am Hessischen Landesamt für Umweltschutz und Geologie, HLUG gefördert durch: UBA Dessau



Umweltforschungsplan  
des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Luftreinhaltung

Förderkennzeichen 3708 44 200

Validierung von Messverfahren für die Überwachung der geforderten  
Staubgrenzwerte nach der Novelle der 1.BImSchV für  
Kleinf Feuerungsanlagen

von  
Dr.-Ing. Stephan Ester

Firma Wöhler MGKG GmbH in Bad Wünnenberg

IM AUFLAG  
DES UMWELTBUNDESAMTES

April 2009

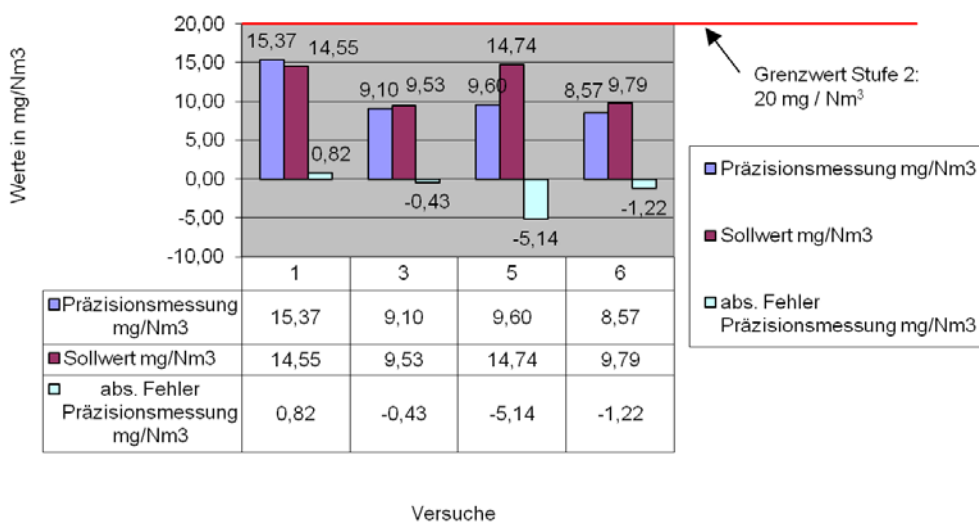
Wöhler MGKG GmbH • Abschlussbericht UBA-Vorhaben 3708 44 200 • Validierung von Messverfahren

**WÖHLER** Messgeräte Kehrgeräte GmbH

S. Ester **5**

## Ergebnisse der Vergleichsmessungen am Hessischen Landesamt für Umweltschutz und Geologie, HLUG

Vergleichsmessung Wöhler SM 500 mit HLUG nur Filtertyp A



**WÖHLER** Messgeräte Kehrgeräte GmbH

S. Ester **6**



Universität Stuttgart



### Ergebnisse aus den FuE-Projekten:

Durchführung von Realgasmessungen mit dem neuen Online-Staubmessgerät SM 500 der Firma Wöhler

und

Weiterentwicklung eines Online-Staubmessverfahrens für Kleinfeuerungsanlagen

### Projektförderung durch



Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg



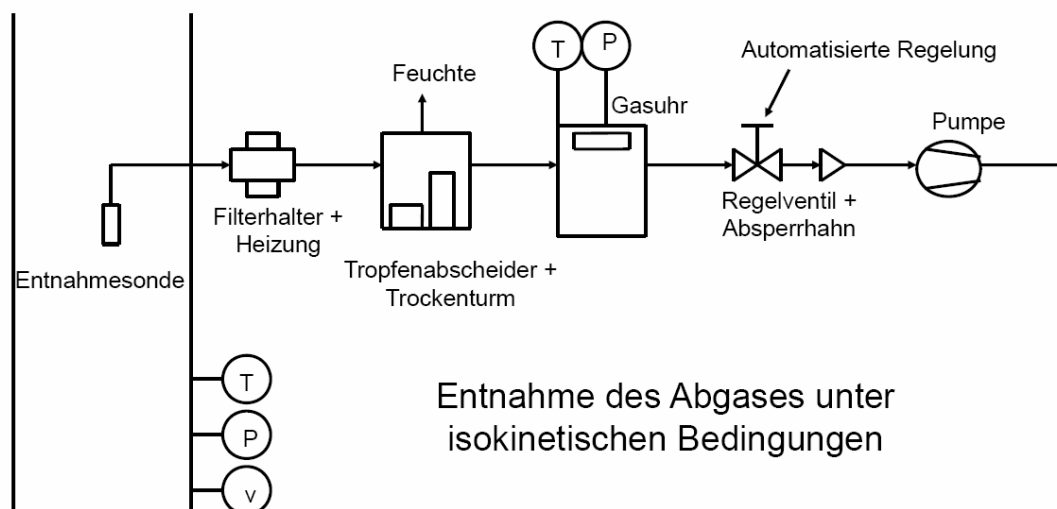
Messgeräte Kehrgeräte GmbH

S. Ester 7

## 1. Einführung - Referenzverfahren



### Gravimetrische Staubbelastung nach VDI 2066



Messgeräte Kehrgeräte GmbH

S. Ester 8

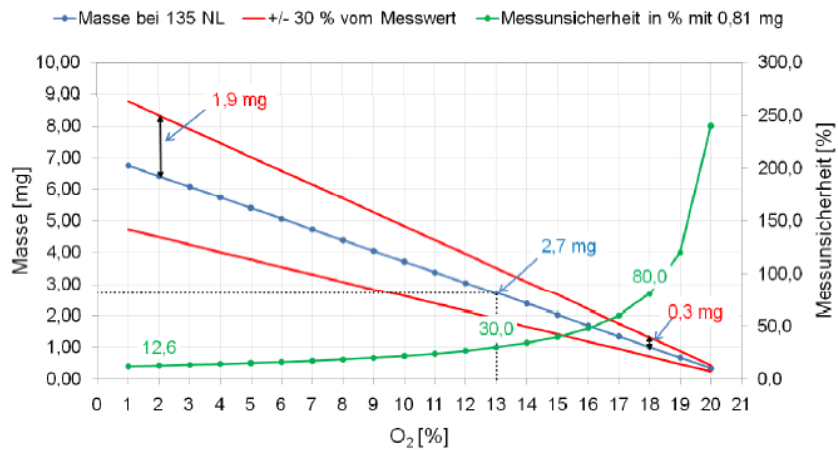


# 1. Einführung – Grenzwert / Messunsicherheit



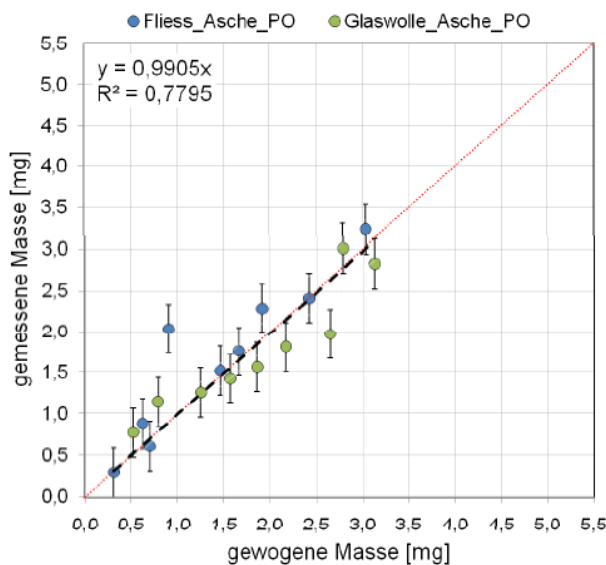
**Grenzwert (bei 13 Vol% O<sub>2</sub>)**  
 Stufe 2: 20 mg/m<sup>3</sup>  
 Zulässige Messunsicherheit: 30 %  
 geforderte Empfindlichkeit: 6 mg/m<sup>3</sup>

**Messverfahren – Probenahme 135 NI**  
 Staubmasse Grenzwert: 2,7 mg  
 Staubmasse Messunsicherheit: 0,81 mg



S. Ester 9

# 3. Voruntersuchung - Kalibrierung



Staubabscheidung im Filter bei nachfolgenden Driftmessungen 0,5 mg

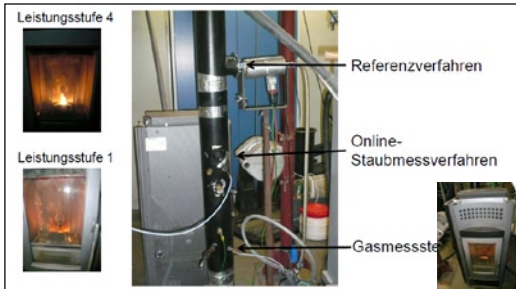


S. Ester 10

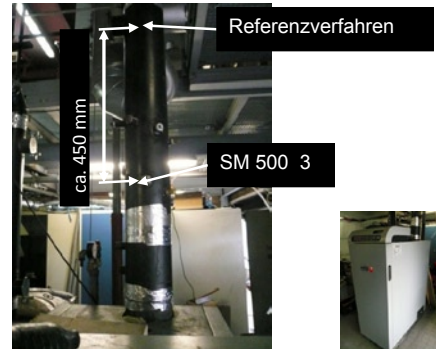
# Vergleichsmessungen

gefördert durch: UBA Dessau und Umweltministerium / LUBW Baden-Württemberg

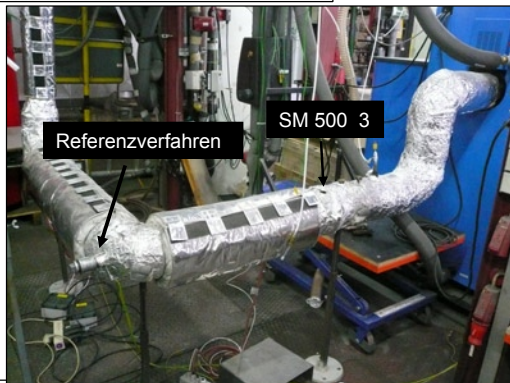
## Pelletofen:



## Stückholzkessel (Fröhring):



## Pelletkessel (Buderus):



**WÖHLER**

Messgeräte Kehrgeräte GmbH

S. Ester 11

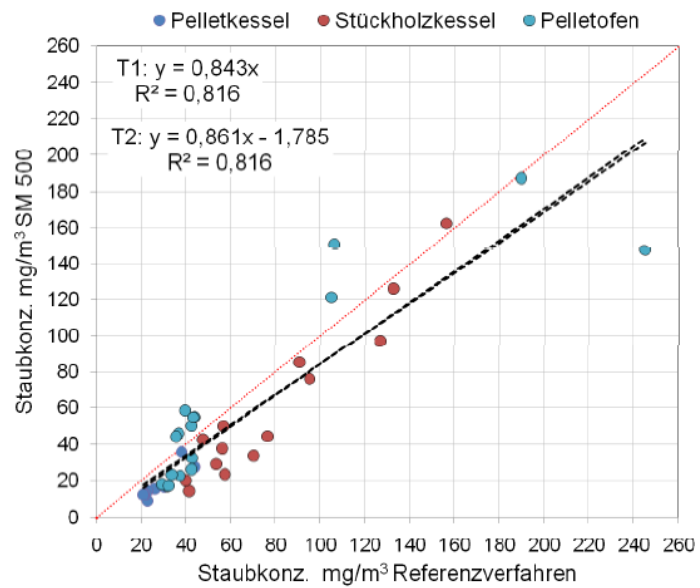
## 4. Praxisuntersuchungen - Zusammenfassung



Insgesamt sind 40 Messpunkte aufgeführt. Hierbei wurden

- Filterhülsen
- Brennstoff
- Sockeltemperatur

variiert.



**WÖHLER**

Messgeräte Kehrgeräte GmbH

S. Ester 12

## Aufbau eines praxistauglichen Systems

**Bisher ist gezeigt:**

gefördert durch: DBU

### Funktionsprinzip:

filterbasierte Sensoranordnung zur direkten Massebestimmung

### Nachweisgrenze und Messbereich:

geeignet für Grenzwerte von 20 mg/m<sup>3</sup> bis zu 200 mg/m<sup>3</sup> mit Realgasmessungen gezeigt.

### Gravimetrie, d. h. unabhängig von indirekten Eigenschaften:

unabhängig von „guter“ und „schlechter“ Verbrennung bei Pelletofen, Stückholzkessel und Pelletkessel

**Zur Zeit in Bearbeitung:**

### Störgrößenempfindlichkeit (Temperatur)

- Präzisionsmessung der Sensortemperaturen (Sensoranordnung)
- Vereinfachung des Störgrößenmodells zur Driftreduktion

### Kondensationseffekte vor dem Filter

- Feuchte Hackschnitzel bei geringem Restsauerstoff führen zu höchstem Taupunkt -> Beheizung der Anordnung auf über 63°C

### Wirtschaftlichkeit, Marktfähigkeit

- Kurze Betriebsbereitschaftzeiten, günstige Herstellungskosten, Mehrfachnutzung des Filters, einfache Reinigung.
- Vorbereitung zur TÜV-Eignungsprüfung nach VDI 4206 Teil 2

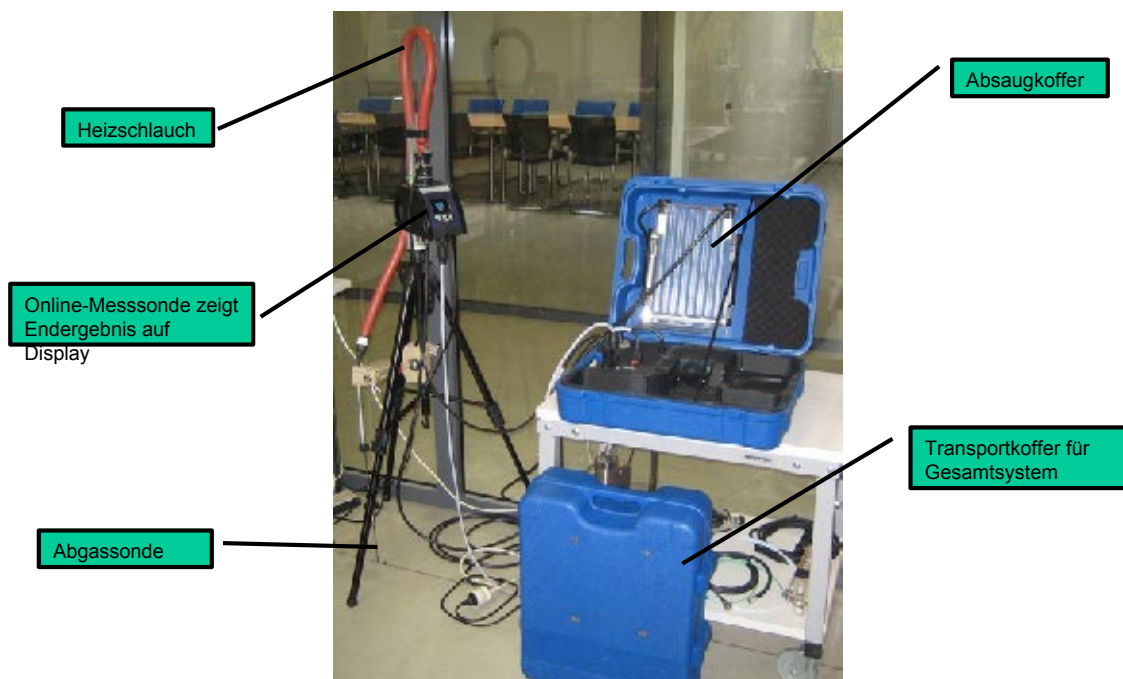
**WÖHLER**

Messgeräte Kehrgeräte GmbH

S. Ester 13

## Prototyp eines praxistauglichen Messsystems

gefördert durch: DBU



**WÖHLER**

Messgeräte Kehrgeräte GmbH

S. Ester 14

# Sensor-System-Lösungen

## Klima – Strömung – Feuchte – Feinstaub

Detlef Rengshausen, Vereta GmbH



Unternehmen

Historie

- 2002 Ausgründung  
Gründer: Bodo Rengshausen-Fischbach (GF),  
Detlef Rengshausen (F&E), Manfred Lemke
- 2003 Beteiligungen: tbg, MBG
- 2004 Hermes Award
- 2005 Ofenregelung  
Raumluftanalysegerät  
Neue Gesellschafter: KfW, M. Heraeus
- 2006 HT-Taupunktsensorik auf der HMI 2006  
Göttinger Innovationspreis
- 2007 Rauchsaugerregelung
- 2008 Klimamaus
- 2009 Feinstaubmessgerät
- 2010 Feinstaubkoffer  
Neuer Gesellschafter Silicon Sensor International AG

Auszeichnung

TOP 5 Nominierung zum  
„Technologiescar“





Innovation

Patente

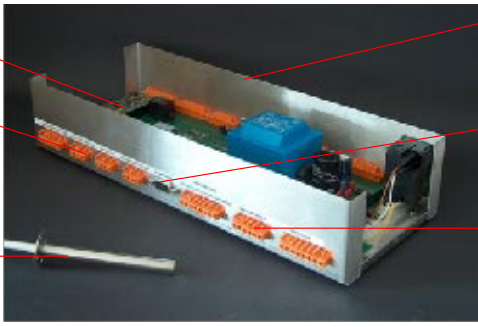
- 1992: Vorrichtung zum Nachweis eines flüssigen oder gasförmigen Mediums (DE, EU)
- 1996: Vorrichtung zum Erfassen eines flüssigen oder gasförmigen Mediums (DE, EU, US, JP)
- 2000: Verfahren zur Messung der Gefühlten Temperatur (DE, EU, US)
- 2004: Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung der Feuchte eines Gases (DE, PCT, angemeldet, nieders. Patentförderung)
- 2005: Verfahren zur Herstellung einer Thermosäule (DE, PCT, angemeldet mit Heraeus)
- 2005: Vorrichtung zur Messung der Kondensationstemperatur eines Gases (DE, PCT, angemeldet, nieders. Patentförderung)
- 2006: Hochtemperaturfeuchte / Heatpipe (PCT/ EP)
- 2009: Feinstaubmessgerät



**vereta**

Innovationsbereich  
 Strömung


Luftstromregelung für  
 Kamin-und Kachelöfen



CPU-Regelung mit lernfähiger Software

Anschlüsse für Dunstabzug, Raumlüftung, Fensterkontakte

Rauchgas-Massenstromsensor bis 700 °C



Unterputzmodul

Ofentypspezifische Programmierung

Anschlüsse für Zu- u. Abluftklappen, Rauchsauger etc.

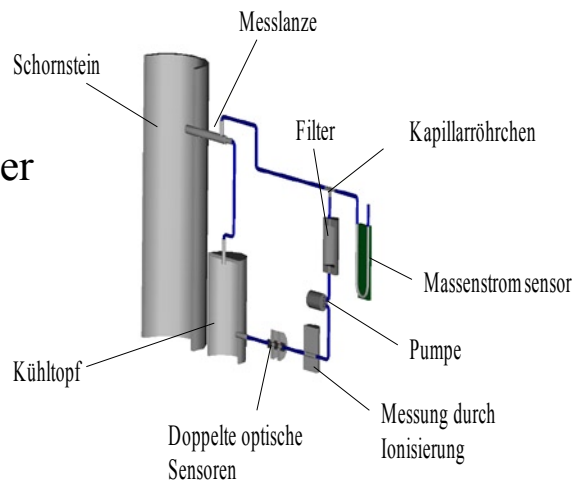
**vereta**

Zusammenarbeit beim AiF-Projekt Feinstaubkoffer

TU-Clausthal-Zellerfeld  
 Aerosolphotoemission  
 Messlabor

Fraunhofer Institut Hannover  
 Aerosolstreulichtphotometrie  
 Gaskonditionierung

Vereta GmbH  
 Housing  
 Messwerterfassung  
 Massenstromregelung



Schornstein

Messlanze

Filter

Kapillarröhrchen

Massenstrom sensor


Pumpe

Messung durch Ionisierung

Doppelte optische Sensoren

Kühltopf






Messtechnik

**Aerosolphotoemission**  
Partikel bis in den Nanobereich werden detektiert

**Aerosolstreulichtphotometrie** große Partikel können sicher erfasst und vermessen werden

**Messwerterfassung**  
zur Messung der Massenkonzentration werden die unterschiedlichen Abhängigkeiten der Signale von der Partikelgröße ausgenutzt und im Prozessor verarbeitet

Damit kann auf eindeutige Weise eine für Holzverbrennungsprozesse allgemein gültige Zuordnung des Rechenwertes aus den elektrischen Signalen zur Aerosolmassenkonzentration getroffen werden.



AiF Projekt  
Feinstaub

Feinstaubmessgerät als Prototyp für Abgasleitungen

CPU-Regelung mit lernfähiger Software

Anschlüsse für Datenübertragung

Probenentnahme mit Messlanze

Online Anzeige des Feinstaubanteils

