

**Universität Stuttgart**

Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik

Prof. Dr. techn. G. Scheffknecht



**Investigations on the separation  
potential of different dust removal  
systems for automatically-fed  
biomass boilers -  
Untersuchungen zum  
Abscheidepotential verschiedener  
Staubabscheidesysteme an auto-  
matisch beschickten Biomassekesseln**

**vgbe Event Brennstoffe, Feuerungen  
und Abgasreinigungen**

**29.09.2022**

**Marc Oliver Schmid, Javier Carrillo,  
Ulrich Vogt**

# Agenda

- Motivation
- Verbundvorhaben: Gewebefilter – Stufe II
- Verbundvorhaben: HetKond
- Fazit und Ausblick

# Motivation

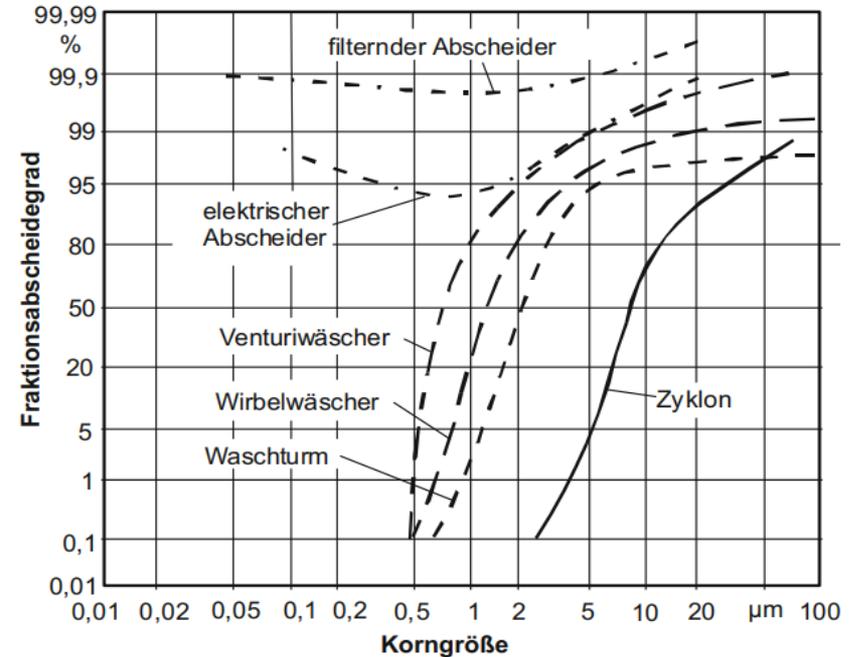
- CO<sub>2</sub>-Neutralität biogener Brennstoffe
  - ➔ Substitution von Erdgas in der Wärmebereitstellung
  - ➔ Emissionsproblematik an Feinstaub, NO<sub>x</sub>, VOC, etc.
- Einsatz biogener Rest- und Abfallstoffe kann es an kleineren und mittelgroßen Feuerungsanlagen zu deutlichen Emissionen an gasförmigen und partikelförmigen Luftschadstoffen kommen
  - ➔ **Zur Einhaltung der Grenzwerte  
Sekundärmaßnahmen erforderlich**



# Motivation

## Entstaubungstechniken

- Günstige Betriebsweise Elektrofilter und breites Abscheidespektrum
  - ➔ Begrenzte Feinstaubabscheidung
- Gute Feinstaubabscheidung in Gewebefilter
  - ➔ Hoher energetischer Aufwand
- Konventionelle Wäscher nur für Partikel  $> 0,5 \mu\text{m}$ 
  - ➔ Vergrößerung der Partikel durch Kondensationsvorgänge



Quelle: Fritz und Kern 1990

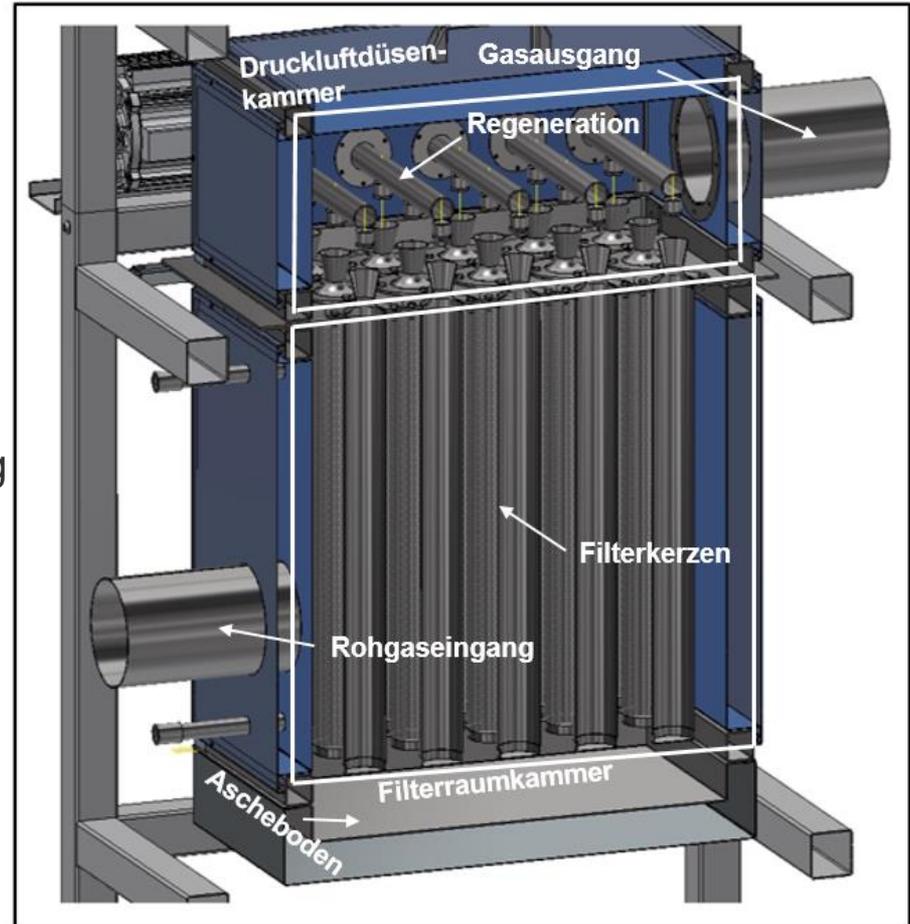
## Verbundvorhaben: Gewebefilter – Stufe II

- **Verbundvorhaben: Entwicklung eines kompakten und kostengünstigen Gewebefilters für Biomassekessel – Stufe II (FKZ: 22026516)**
- Entwicklung und Untersuchung von Gewebefiltern aus Edelstahl zur Staubabscheidung an Kleinfeuerungsanlagen
- Abscheidewirksamkeit und Regenerierbarkeit mittels Druckluft- und wasserbasierter Abreinigung untersucht



# Design Gewebefilter

- Wärmeisoliertes 2-Kammer-System
  - ➔ Verhindert Kondensatbildung
- 15 Filterkerzen aus Edelstahl (Werkstoff 1.4301) mit einer Gesamtfläche von 1,2 m<sup>2</sup>
  - ➔ Korrosions- und Temperaturbeständig
- Auslegung hinsichtlich Filterflächenbelastung < 60 m h<sup>-1</sup>
- Jet-Pulse Abreinigung
  - ➔ Differenzdruckgesteuert



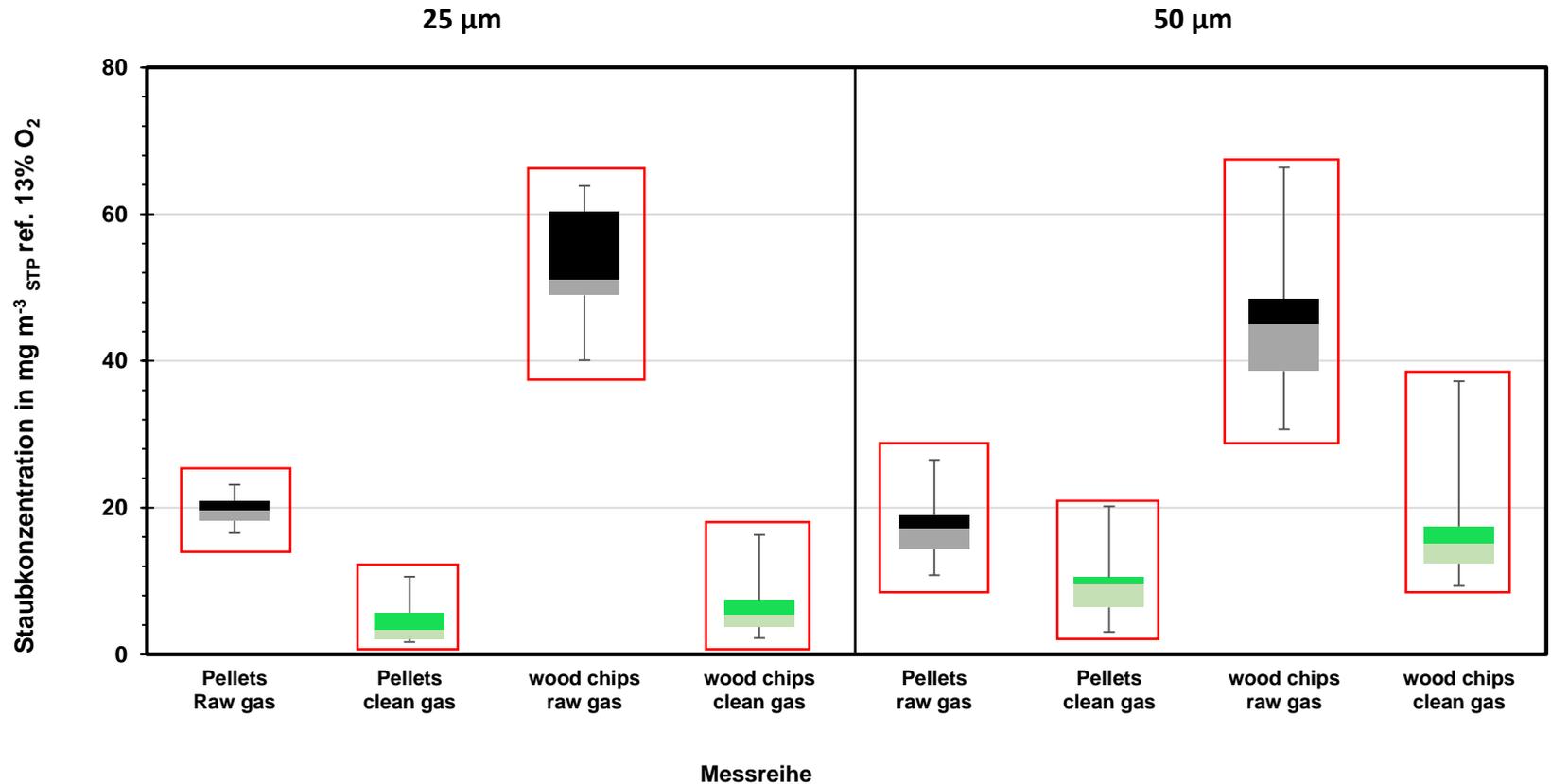
# Filterkuchenbildung und Regeneration

## Filterkerzen und Filterkuchenbildung



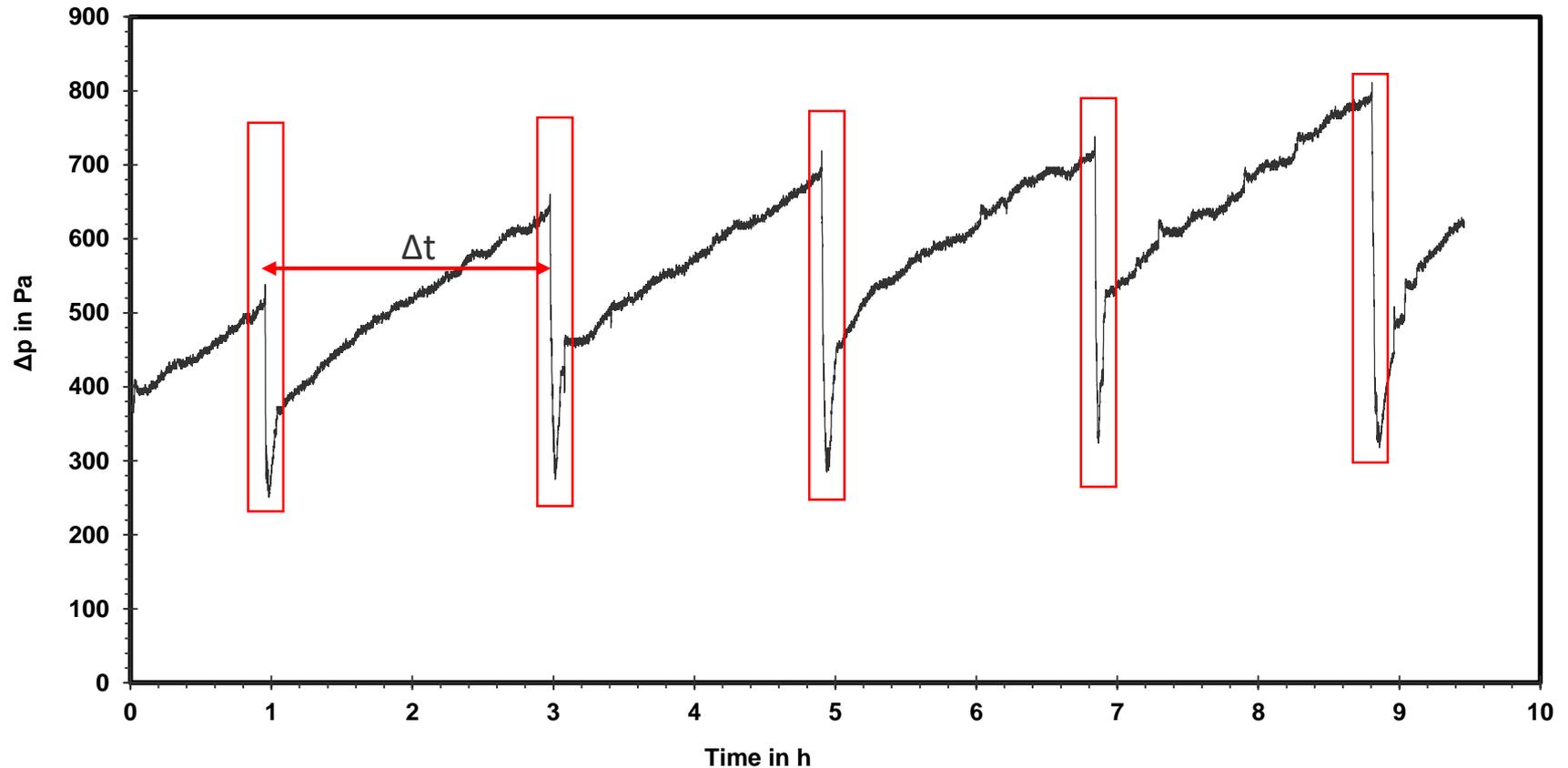
# Ergebnisse aus dem Vorhaben Gewebefilter II

## Untersuchungen zum Einfluss der Maschenweite



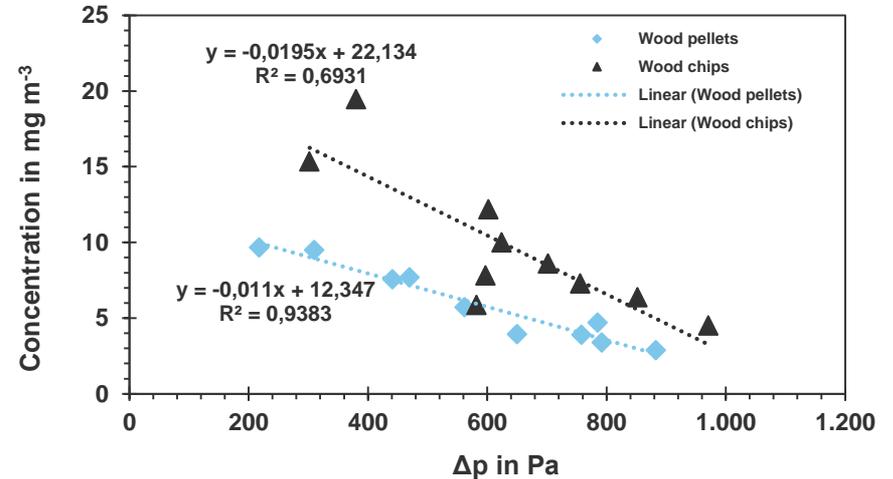
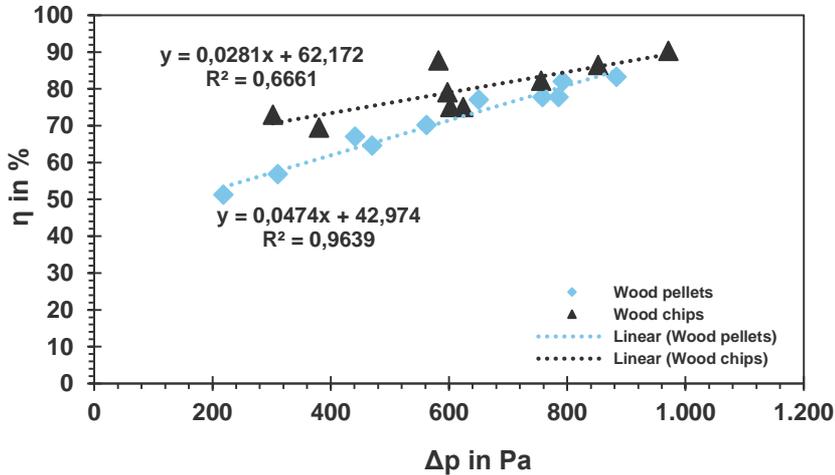
# Ergebnisse aus dem Vorhaben Gewebefilter II

## Filterkuchenbildung und Jet-Pulse-Abreinigung



# Ergebnisse aus dem Vorhaben Gewebefilter II

## Zusammenhang Abscheidegrad und Druckverlust



- Lineare Abhängigkeit des Abscheidegrades sowie der Reingaskonzentration von  $\Delta p$
- Frequenz der Abreinigung hat Einfluss auf Filterkuchenbildung und Tiefenfiltration
- Grenzwert eingehalten → Konzentration soll weiter gesenkt werden

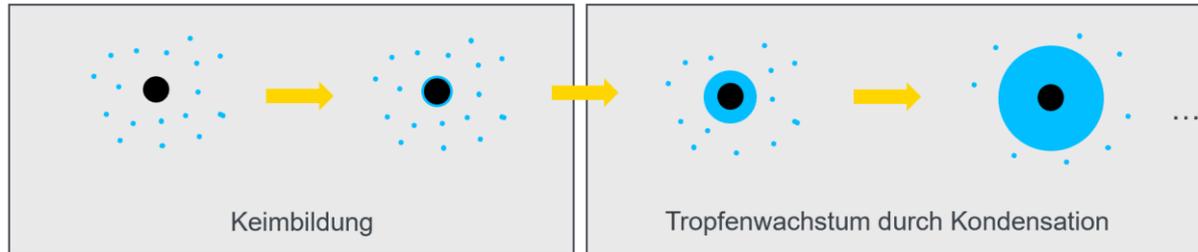
# Ergebnisse aus dem Vorhaben Gewebefilter II

## Fazit und Ausblick - I

- Gewebefilter mit Jet-Pulse Abreinigung gewährleistet eine effiziente Staubabscheidung
  - ➔ Weiterführende Optimierung
- Einfluss von Filtergewebefinheit als auch Abreinigungsfrequenz untersucht
  - ➔ Differenzdruckgesteuerte Abreinigung
- Folgestudie zur Weiterentwicklung des Gewebefilters in Kombination mit katalytisch aktivem Additiv als Pre-Coating
  - ➔ Verbesserte Feinstaubabscheidung
  - ➔ Simultane NO<sub>x</sub>-Minderung durch Niedertemperatur-SCR

# Verbundvorhaben: HetKond

- **Verbundvorhaben: Energieeffiziente Aerosolabscheidung mittels heterogener Kondensation (HetKond, FKZ 35093/01)**
- Konditionierung der Rauchgase zur vereinfachten Feinstaub-Abscheidung
- Untersuchungen zur Abscheidewirksamkeit in einem Sprühwäscher



# Verbundvorhaben: HetKond

## Ziele

- Identifikation der Sättigungspunkte verschiedener Stoffe und deren Übertragung
- Bestimmung der Abscheideeffizienz eines Sprühwäschers
- Untersuchung verschiedener Einflussgrößen auf die Abscheideeffizienz
  - Tray
  - Düsengeometrie
  - Dampfzugabe
- Vergleichende Betrachtung - Referenzabscheider

# Verbundvorhaben: HetKond

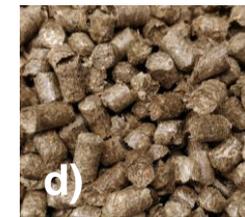
## Feuerung

- 20 kW Vorschubrostfeuerung
- Geeignet für diverse holz- und halmgutartige Brennstoffe sowie alternative Brennstoffe



# Brennstoffanalyse

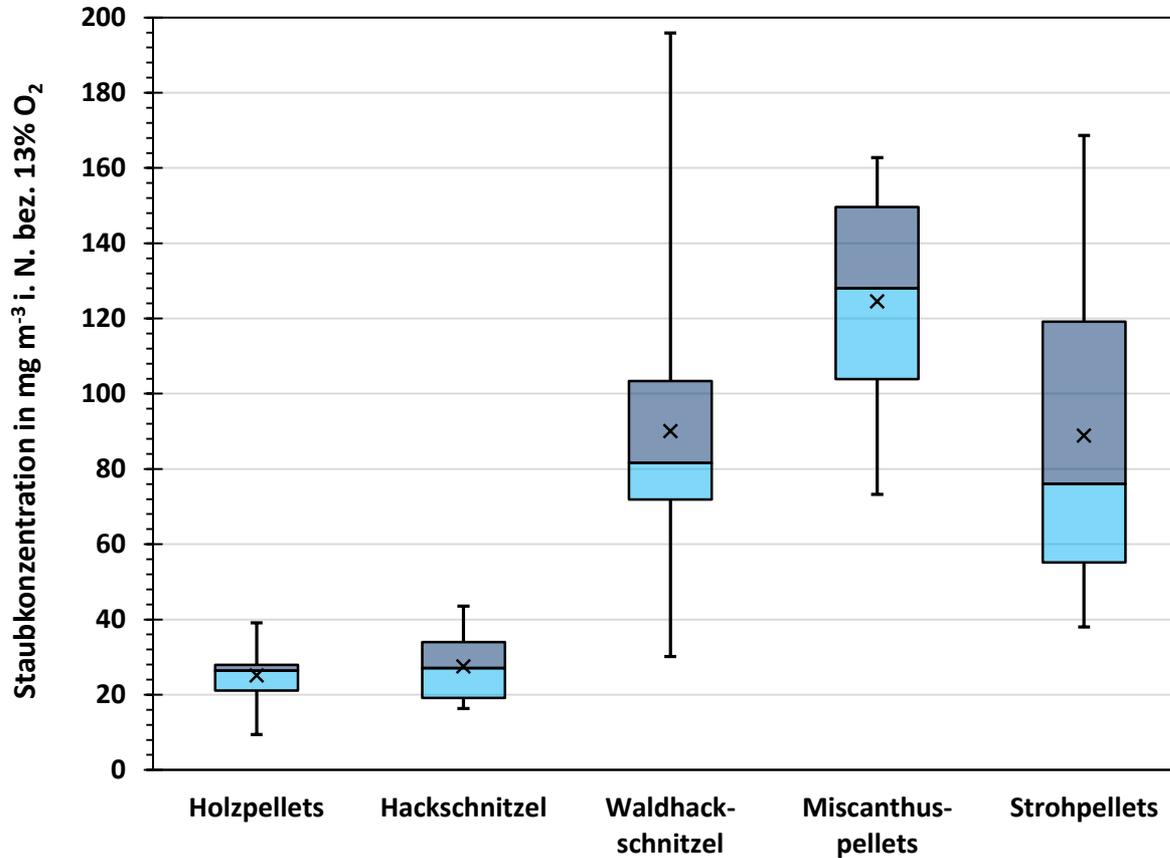
| Komponente              |    | Einheit | Holz-<br>pellets | Holzhack-<br>schnittel | Waldhack-<br>schnittel | Stroh-<br>pellets | Miscan-<br>pellets |
|-------------------------|----|---------|------------------|------------------------|------------------------|-------------------|--------------------|
| Wassergehalt            |    | m.%     | 6,3              | 6,5                    | 34,5                   | 11,7              | 7,0                |
| Aschegehalt             | wf | m.%     | 0,4              | 1,0                    | 6,0                    | 5,4               | 3,7                |
| Heizwert                | wf | J/g     | 20.159           | 19.932                 | 19.320                 | 18.454            | 18.969             |
| <b>Elementaranalyse</b> |    |         |                  |                        |                        |                   |                    |
| C                       | wf | m.%     | 50,2             | 50,1                   | 48,4                   | 46,7              | 47,7               |
| H                       | wf | m.%     | 6,1              | 6,0                    | 5,7                    | 5,7               | 5,8                |
| N                       | wf | m.%     | 0,098            | 0,292                  | 0,489                  | 0,744             | 0,426              |
| O                       | wf | m.%     | 43,1             | 40,7                   | 37,6                   | 40,0              | 41,0               |
| S                       | wf | mg/kg   | 203              | 393                    | 518                    | 788               | 426                |
| Cl                      | wf | mg/kg   | 260              | 380                    | 180                    | 840               | 880                |
| <b>Hauptelemente</b>    |    |         |                  |                        |                        |                   |                    |
| Al                      | wf | mg/kg   | 56,4             | 94,3                   | 1.693,0                | 968,0             | 350,0              |
| Ca                      | wf | mg/kg   | 1.060            | 2.192                  | 11.517                 | 3.347             | 2.621              |
| Fe                      | wf | mg/kg   | 75,7             | 194                    | 1.181                  | 734               | 430                |
| K                       | wf | mg/kg   | 532              | 625                    | 2.650                  | 6.954             | 4.531              |
| Mg                      | wf | mg/kg   | 167              | 218                    | 1.265                  | 1.115             | 306                |
| Mn                      | wf | mg/kg   | 85,7             | 159                    | 197                    | 32,6              | 30,3               |
| Na                      | wf | mg/kg   | 28,9             | 27,0                   | 233,0                  | 135,0             | 48,6               |
| P                       | wf | mg/kg   | 84               | 60                     | 367                    | 676               | 763                |
| Si                      | wf | mg/kg   | 450              | 1.844                  | 9.603                  | 13.118            | 9.297              |
| <b>Spurenelemente</b>   |    |         |                  |                        |                        |                   |                    |
| As                      | wf | mg/kg   | 0,87             | <0,25                  | 0,44                   | <0,25             | <0,25              |
| Cd                      | wf | mg/kg   | <0,13            | 0,19                   | 0,39                   | 0,24              | 0,29               |
| Cu                      | wf | mg/kg   | 1,07             | 1,37                   | 5,47                   | 2,68              | 2,45               |
| Ni                      | wf | mg/kg   | 2,15             | 7,78                   | 24,30                  | 10,80             | 7,14               |
| Pb                      | wf | mg/kg   | 0,63             | <0,50                  | 1,15                   | 1,17              | <0,50              |
| Zn                      | wf | mg/kg   | 9,00             | 12,40                  | 20,10                  | 10,30             | 16,30              |



a) Holzpellets b) Holzhackschnittel  
c) Waldhackschnittel d) Strohpellets  
e) Miscanthuspellets

# Verbundvorhaben: HetKond

## Rohgasemissionen



# Verbundvorhaben: HetKond

## Modifizierung des Wäschers

- 4 Messkampagnen zur Untersuchung des Einflusses diverser Betriebsparameter auf die Staubabscheidung

| MK Nr. | Brennstoff | L/G      | Anzahl Trays | Düsentyp | Dampfzugabe | Abscheidegrad in % |
|--------|------------|----------|--------------|----------|-------------|--------------------|
| 1      | HHS        | 15/30/45 | 0            | VKD      | ---         | 29,7               |
| 1      | SP         | 15/30/45 | 0            | VKD      | ---         | 27,6               |
| 2      | SP         | 17/47/77 | 1            | VKD      | ---         | 41,7               |
| 2      | WHS        | 17/47/77 | 1            | VKD      | ---         | 43,6               |
| 2      | MP         | 17/47/77 | 1            | VKD      | ---         | 44,9               |
| 3      | WHS        | 17/47/77 | 1            | HKD      | ---         | 65,7               |
| 4      | WHS        | 17/47/77 | 2            | HKD      | x           | 67,2               |

HHS – Holzhackschnitzel  
SP – Strohpellets  
WHS – Waldhackschnitzel  
VKD – Vollkegeldüse  
HKD – Hohlkegeldüse



# Verbundvorhaben: HetKond

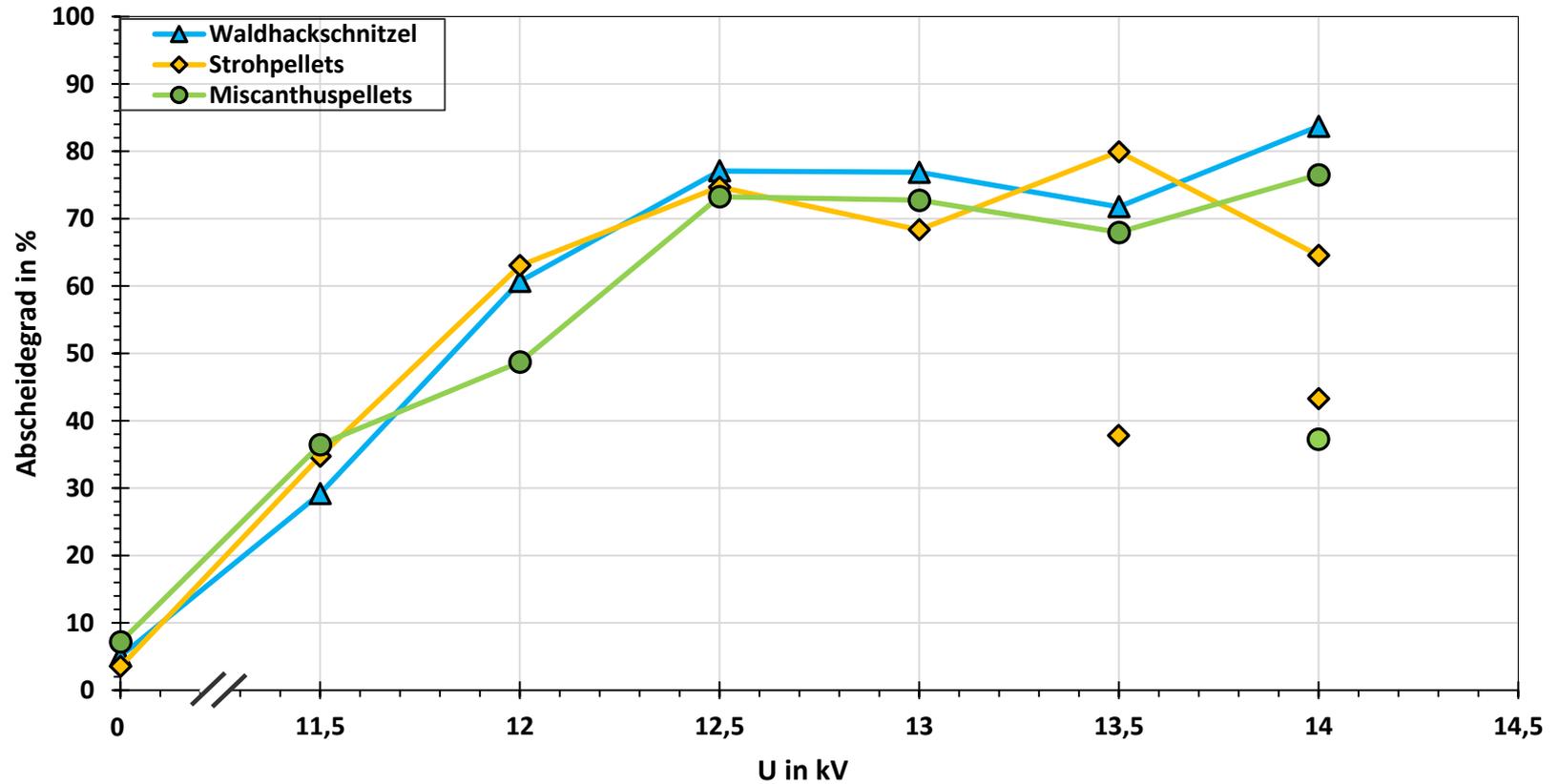
## Waschwasseranalytik

|                               |                     | Waschwasser   | Trinkwasser* |
|-------------------------------|---------------------|---------------|--------------|
| Al <sup>3+</sup>              | mg·l <sup>-1</sup>  | 0,174         | < 0,01       |
| Ca <sup>2+</sup>              | mg·l <sup>-1</sup>  | 123           | 50           |
| Cd <sup>2+</sup>              | µg·l <sup>-1</sup>  | 0,948         | < 0,05       |
| Cl <sup>-</sup>               | mg·l <sup>-1</sup>  | 249           | 7,7          |
| K <sup>+</sup>                | mg·l <sup>-1</sup>  | 48,2          | 1,4          |
| Na <sup>+</sup>               | mg·l <sup>-1</sup>  | 5,25          | 5,6          |
| Si                            | mg·l <sup>-1</sup>  | 6,46          | 1,7          |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | mg·l <sup>-1</sup>  | 506           | 34           |
| Pb <sup>2+</sup>              | µg·l <sup>-1</sup>  | 26,5          | < 0,5        |
| Zn <sup>2+</sup>              | mg·l <sup>-1</sup>  | 1,11          | -            |
| pH-Wert                       | -                   | 6,83 (20 °C)  | 8,01 (8 °C)  |
| Leitfähigkeit                 | µS·cm <sup>-1</sup> | 2.710 (20 °C) | 336          |

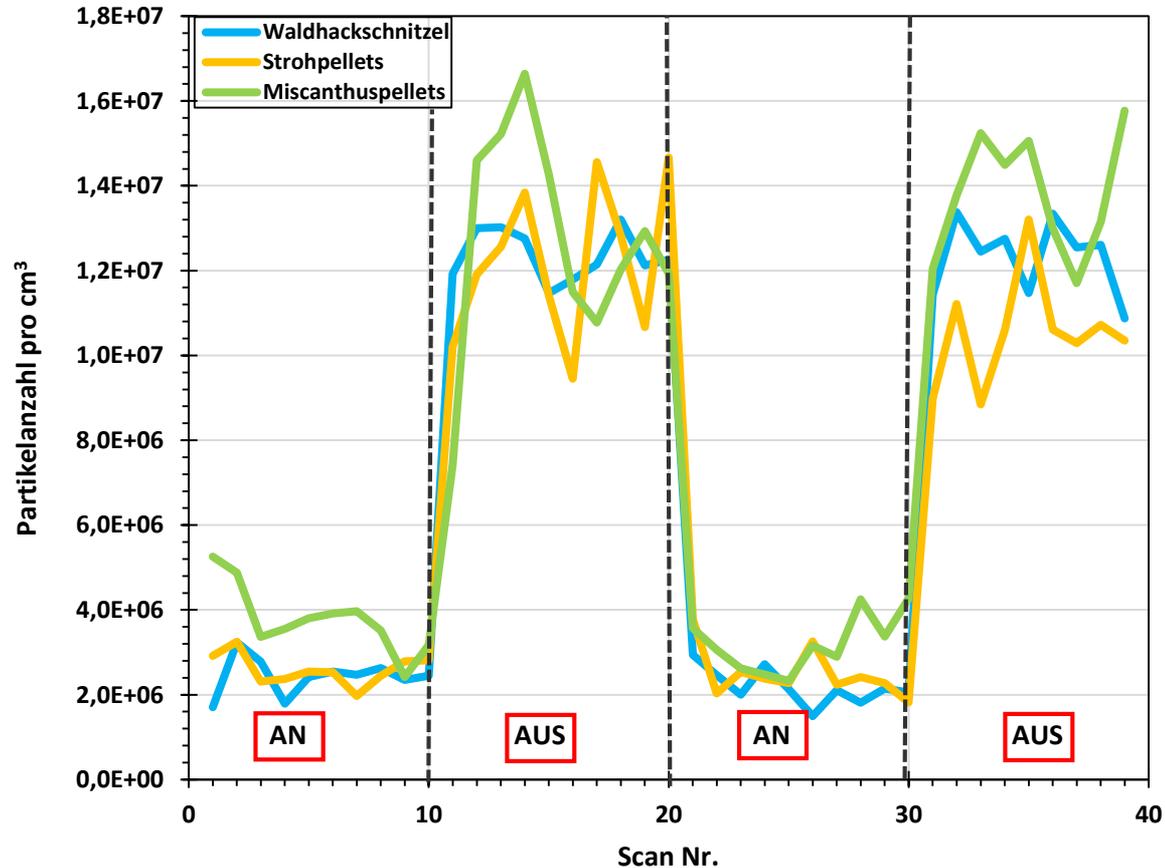


\*Quelle: Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung (2020). Trinkwasser-Analyse 2020. Qualitätsdaten des Trinkwassers aus dem Bodensee – Jahresmittelwerte 2020

# Abscheidung am elektrostatischen Abscheider



# Abscheidung am elektrostatischen Abscheider



## Fazit und Ausblick - I

- Abscheidegrade am Sprühwäscher durch diverse Modifikation auf bis zu 67 % gesteigert
- Performance in Konkurrenz zum elektrostatischen Referenzabscheider
- Nach aussagekräftiger Betriebsdauer deutliche Akkumulation wasserlöslicher Rauchgasbestandteile im Wäscher zu erkennen
- In weiterer Studie Simulation zur erreichbaren Übersättigung und weitere Optimierung des Wäschers angestrebt



Universität Stuttgart



**Vielen Dank!**

**Marc Oliver Schmid**

E-Mail [marc-oliver.schmid@ifk.uni-stuttgart.de](mailto:marc-oliver.schmid@ifk.uni-stuttgart.de)

Telefon +49 (0) 711 685-63567

Fax +49 (0) 711 685-63491

Universität Stuttgart

Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik

Pfaffenwaldring 23 • 70569 Stuttgart



# Literatur

- Fritz, W.; Kern, H.: Reinigung von Abgasen. Vogel Buchverlag, Würzburg 1990
- Schwabl, M.; Scheibler, M.; Schmidl, C. Endbericht GoKRT. Experimentelle Entwicklung eines Metallgewebefilters. Projektnummer 821920, 2012