

# Impaktormessung im Rauchgasstrang einer Müll- und Kohlelinie des GKS-Schweinfurt

Fraunhofer UMSICHT | Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik



06. September 2017

**28. Deutscher Flammentag**  
Darmstadt

Jürgen Oischinger (UMSICHT)  
**Martin Meiller (UMSICHT)**  
Dr.-Ing. Robert Daschner (UMSICHT)

Dr.-Ing. Ragnar Warnecke (GKS)



---

# Agenda

---

- Motivation
- Methodik
  - Anlagenbeschreibung GKS
  - Messtechnik
  - Analytik
- Ergebnisse
  - Mülllinie
  - Kohlelinie
- Zusammenfassung

---

# Agenda

---

- **Motivation**
- **Methodik**
  - Anlagenbeschreibung GKS
  - Messtechnik
  - Analytik
- **Ergebnisse**
  - Mülllinie
  - Kohlelinie
- **Zusammenfassung**

# Motivation

- Wie verändert sich die **Partikelbeladung** entlang des Rauchgasweges?
- Wie verändert sich die **Partikelgrößenverteilung** entlang des Rauchgasweges?
- Wie verändert sich die **chemische Zusammensetzung und Morphologie der Partikel** entlang des Rauchgasweges?
- Welche Effekte zeigen sich bei **Direktentschwefelung** und **Rußblasen**?
- Können **CarboNanoTubes (CNT)** im Abgas nachgewiesen werden?

---

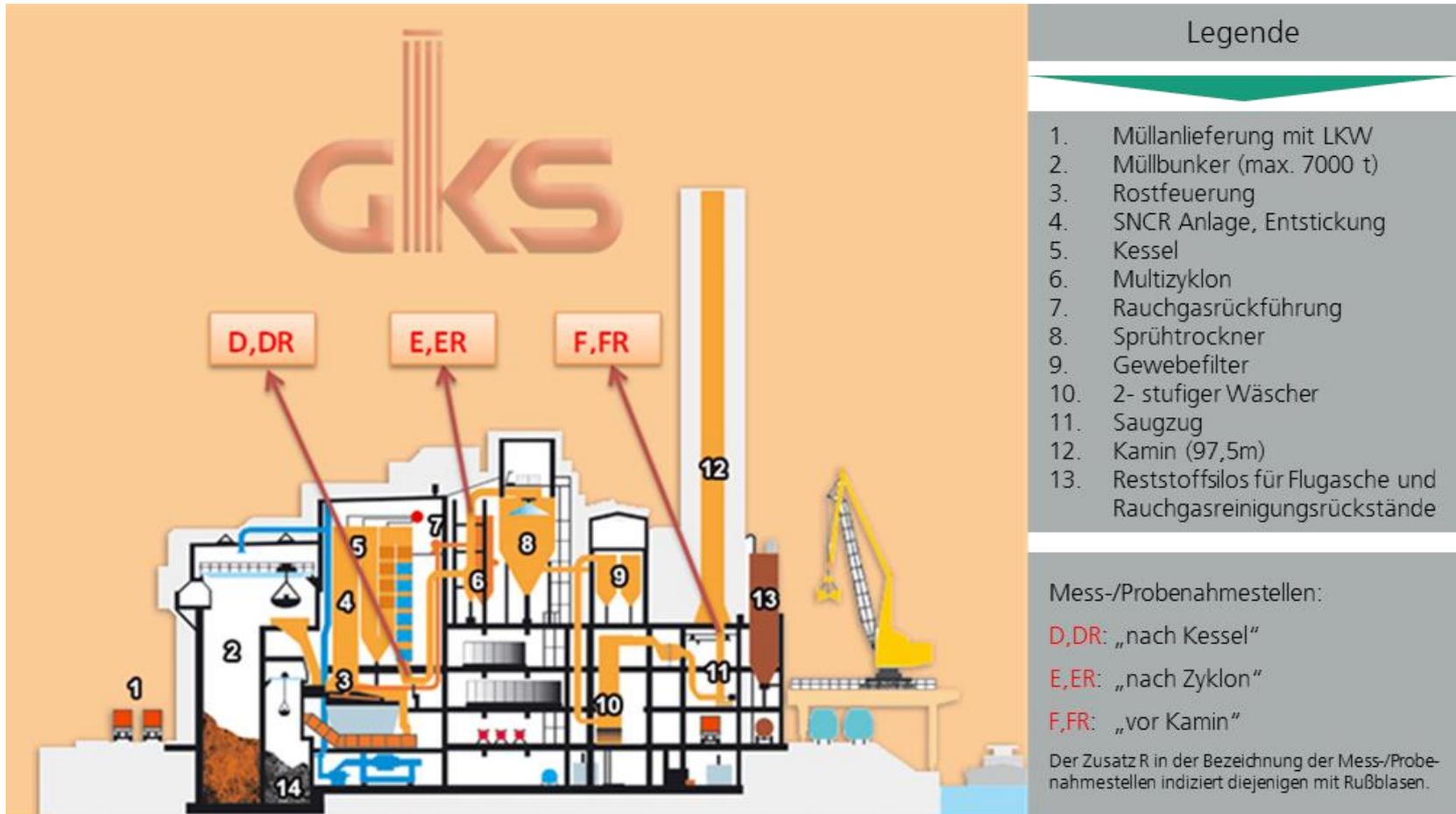
# Agenda

---

- Motivation
- **Methodik**
  - Anlagenbeschreibung GKS
  - Messtechnik
  - Analytik
- Ergebnisse
  - Mülllinie
  - Kohlelinie
- Zusammenfassung

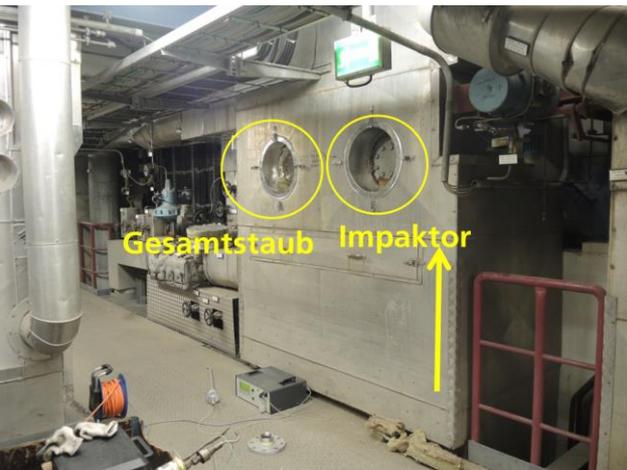
# Methodik

## Versuchsanlage – Mülllinie GKS Schweinfurt

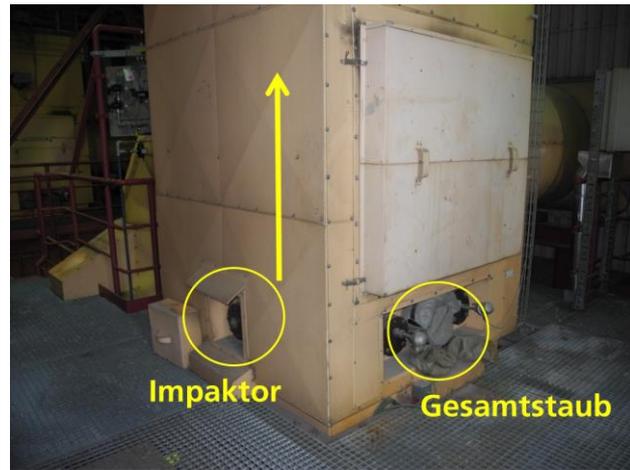


# Methodik

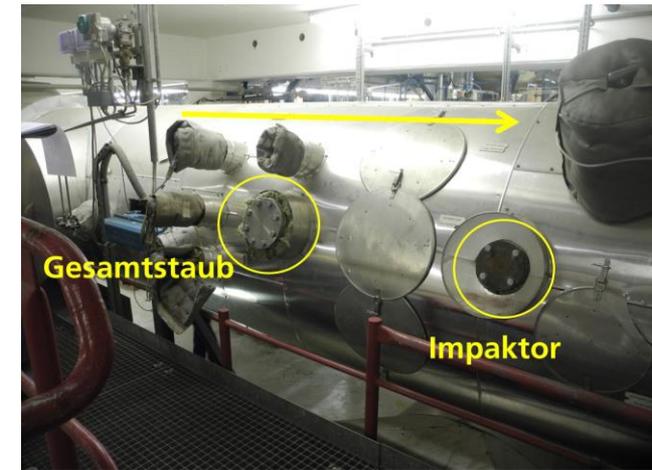
## Messstellen – Mülllinie GKS Schweinfurt



D/DR: „nach Kessel“



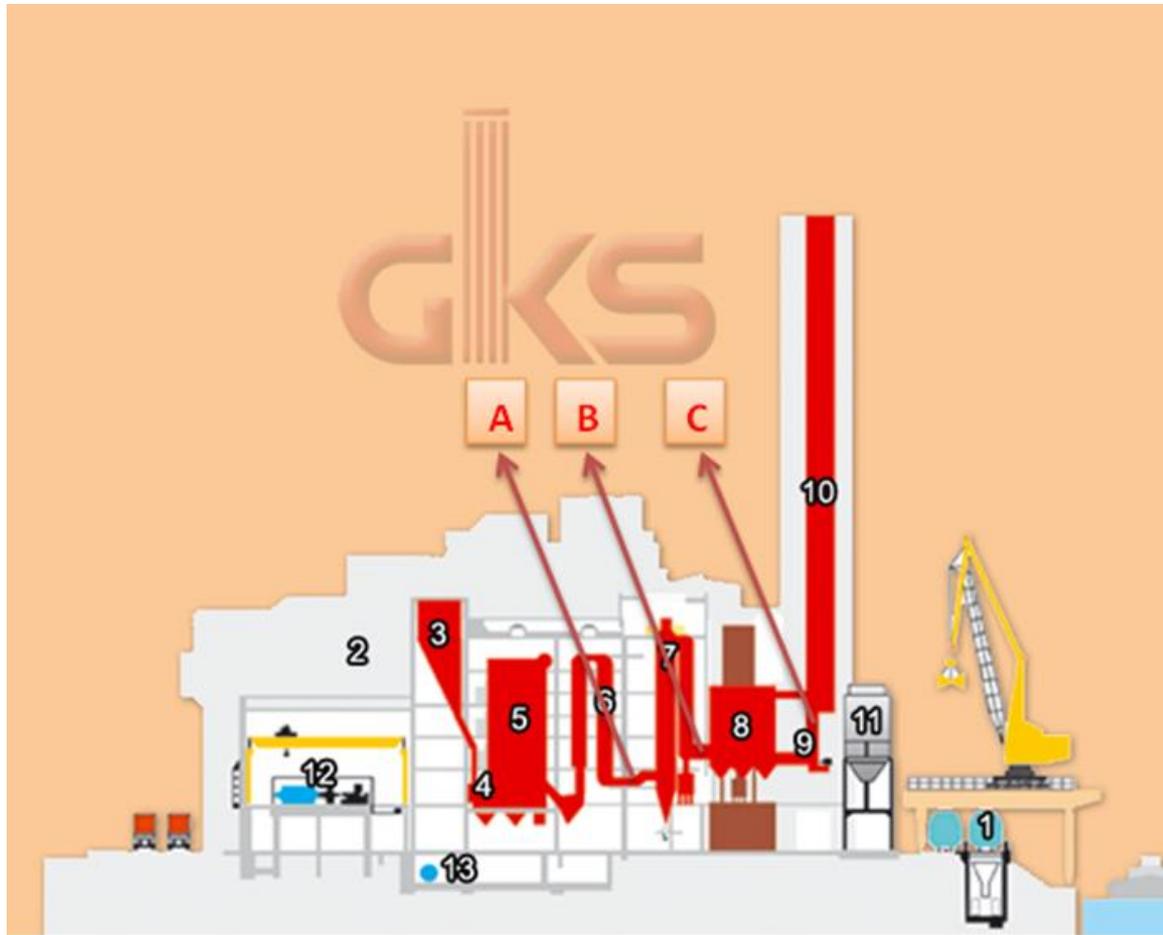
E/ER: „nach Multizyklon“



F/FR: „vor Kamin“

# Methodik

## Versuchsanlage – Kohlelinie GKS Schweinfurt



### Legende

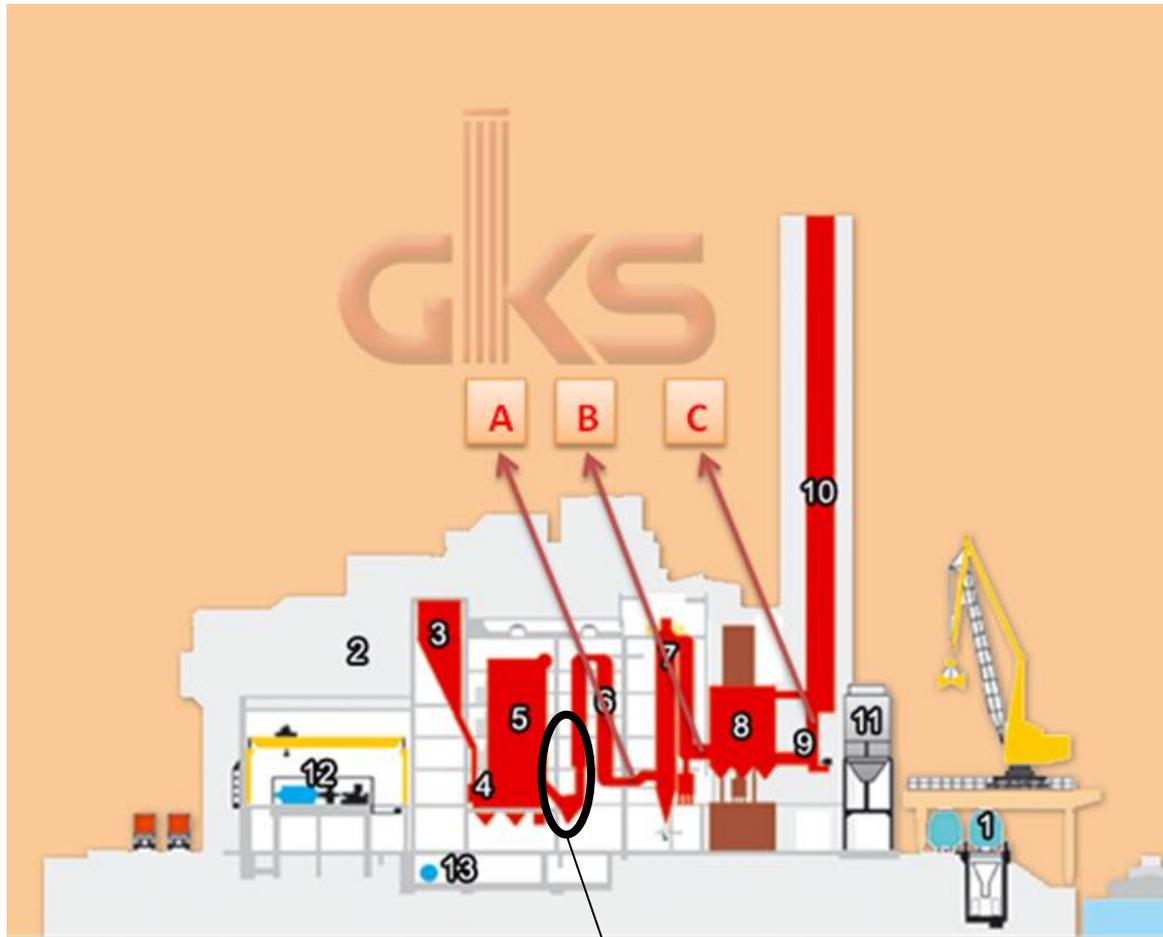
1. Kohleanlieferung
2. Kohlebunker (max. 6000 t)
3. Kohle Tagebunker
4. Feuerung
5. Kessel (Zug 1+2)
6. Kessel (Zug 3+4)
7. Rauchgasentschwefelung
8. Gewebefilter
9. Saugzug
10. Kamin
11. Reststoffsilos

### Mess-/Probenahmestellen:

- A: „nach Kessel“  
B: „nach Entschwefelung“  
C: „vor Kamin“

# Methodik

## Versuchsanlage – Kohlelinie GKS Schweinfurt



### Legende

1. Kohleanlieferung
2. Kohlebunker (max. 6000 t)
3. Kohle Tagebunker
4. Feuerung
5. Kessel (Zug 1+2)
6. Kessel (Zug 3+4)
7. Rauchgasentschwefelung
8. Gewebefilter
9. Saugzug
10. Kamin
11. Reststoffsilos

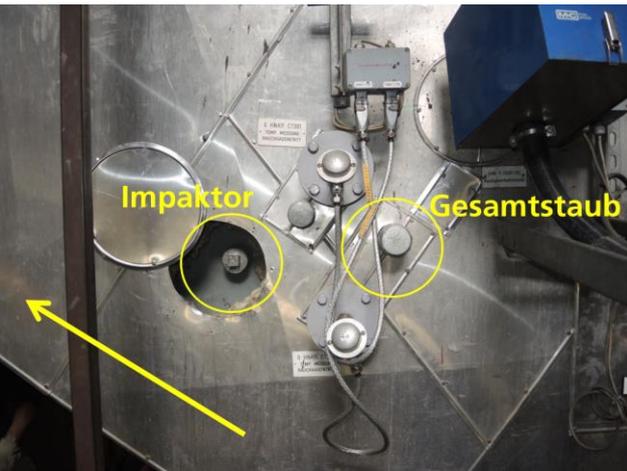
### Mess-/Probenahmestellen:

- A: „nach Kessel“  
B: „nach Entschwefelung“  
C: „vor Kamin“

Direktentschwefelung

# Methodik

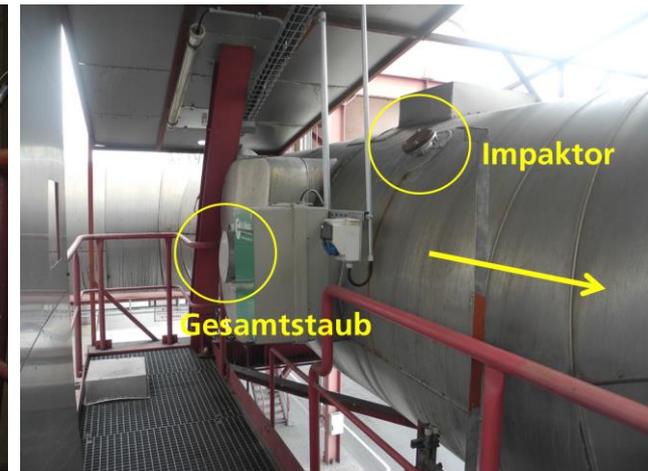
## Messstellen– Kohlelinie GKS Schweinfurt



A: „nach Kessel“



B: „nach Entschwefelung“



C: „vor Kamin“

# Methodik

## Überblick Messkonzept

	Kohlelinie	Mülllinie
<b>Messstellen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ A: Nach Kessel</li><li>▪ B: Nach Entschwefelung</li><li>▪ C: Vor Kamin</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ D: Nach Kessel</li><li>▪ E: Nach Zyklon</li><li>▪ F: Vor Kamin</li></ul>
<b>Betriebspunkte</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Regelbetrieb</li><li>▪ Mit Direktentschwefelung</li><li>▪ Mit Direktentschwefelung ohne Rezirkulat</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Regelbetrieb</li><li>▪ Rußblasen</li></ul>
<b>Analytik</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Gesamtstaub</b> (VDI 2066)</li><li>▪ <b>Partikelgrößenverteilung</b> (13.-stufigen Niederdruck-Kaskaden-Impaktor)</li><li>▪ <b>REM-Aufnahmen / Elementaranalyse (REM/EDX)</b></li></ul>	

# Methodik

## Messtechnik – Überblick



### Gesamtstaubmessungen

- 3-fach Bestimmung
- Je nach Messstelle: Quarzfaser-Rundfilter, Filterhülsen
- Messdauer je nach Messstelle: 20min – 60min



### Impaktormessungen

- 2-fach Bestimmung
- 13-stufen (30 nm bis 10  $\mu\text{m}$ ) , Zyklon, Absolutfilter
- Impaktierung erfolgt auf Aluminiumplättchen
- Messdauer je nach Messstelle: 20min – 240 min

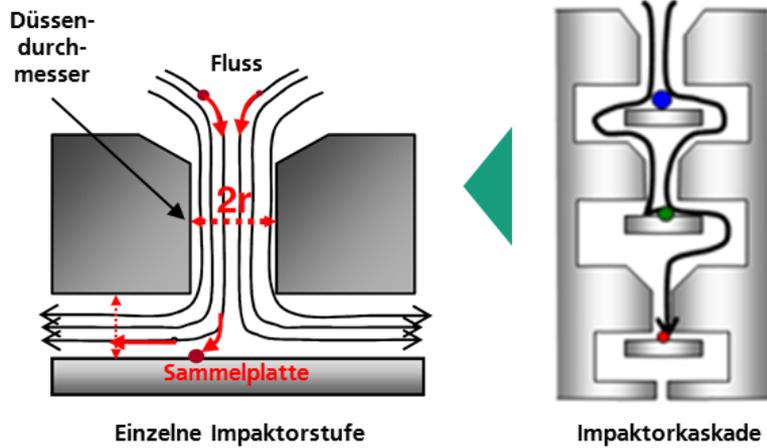


### LEO 1530 VP Gemini – FEG-REM

- Partikelträger Impaktor wird mit Fett beschichtet
- Insbesondere im Reingas:
  - Partikelträger Impaktor aus Al
  - Filter Gesamtstaubmessung siliziumhaltig

# Methodik

## Messtechnik – Kaskadenimpaktor



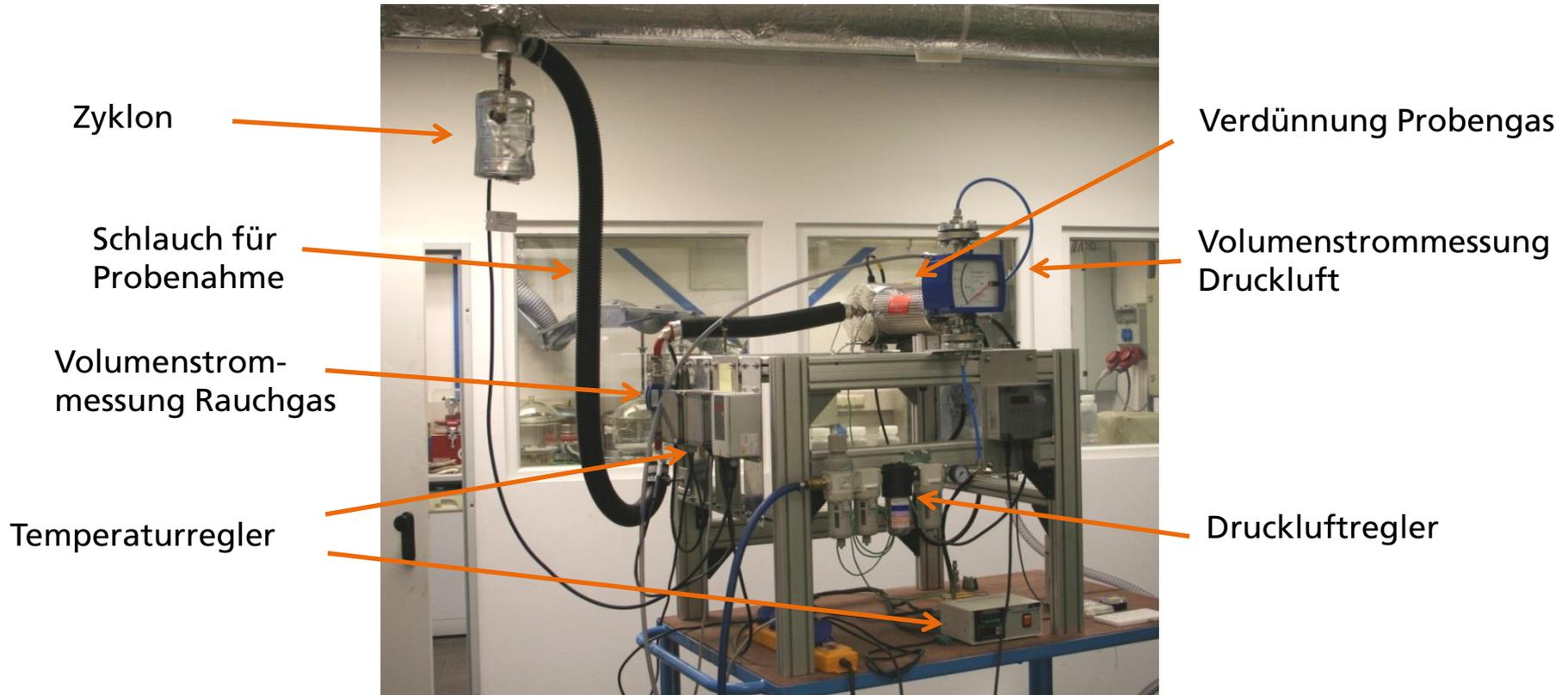
Impaktorprinzip in einer Kaskade



Beladene Impaktorstufen

# Methodik

## Messtechnik – Kaskadenimpaktor



---

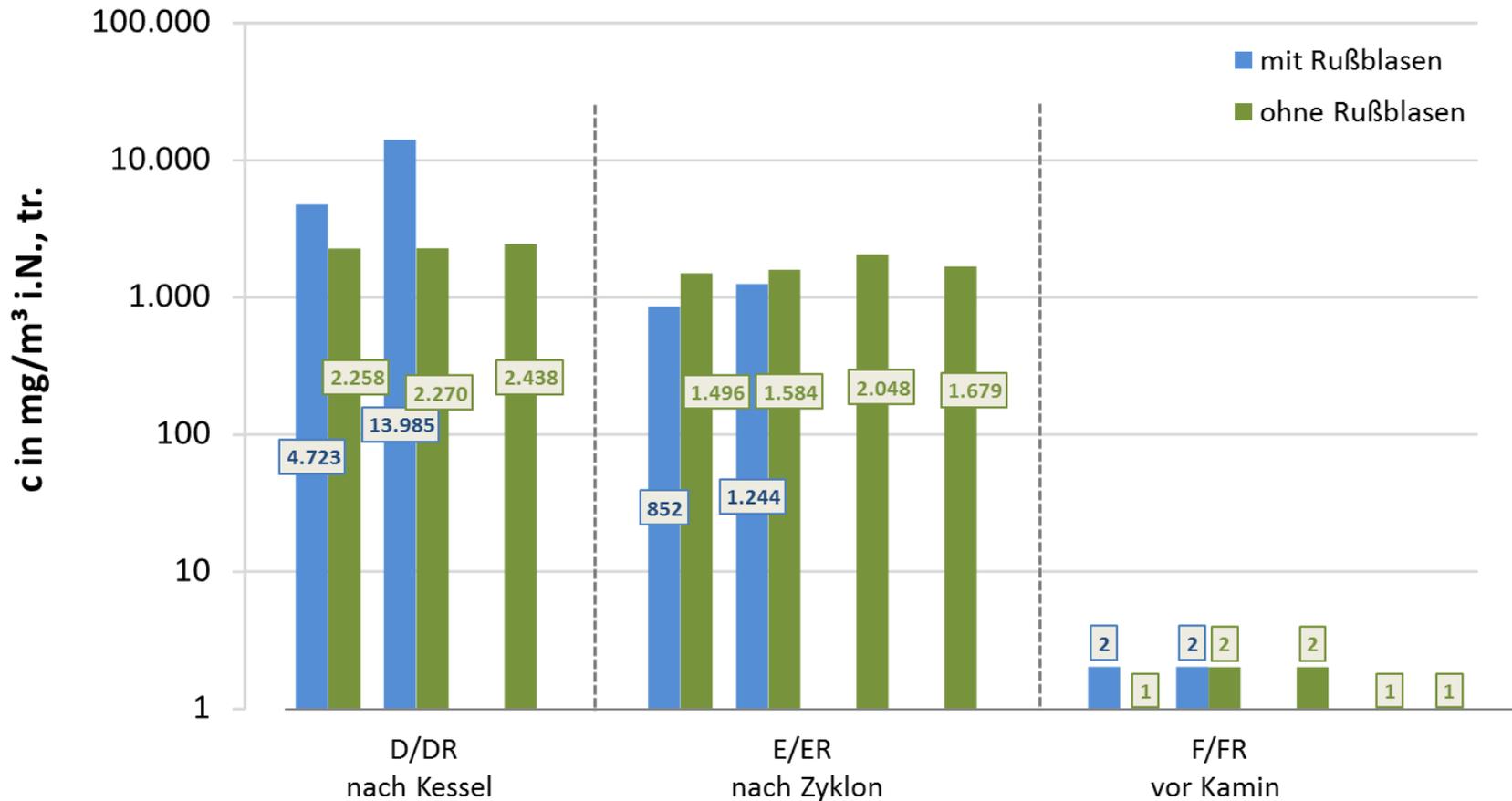
# Agenda

---

- Methodik
  - Messtechnik
  - Analytik
  - Anlagenbeschreibung GKS
- **Ergebnisse**
  - Mülllinie
  - Kohlelinie
- Zusammenfassung

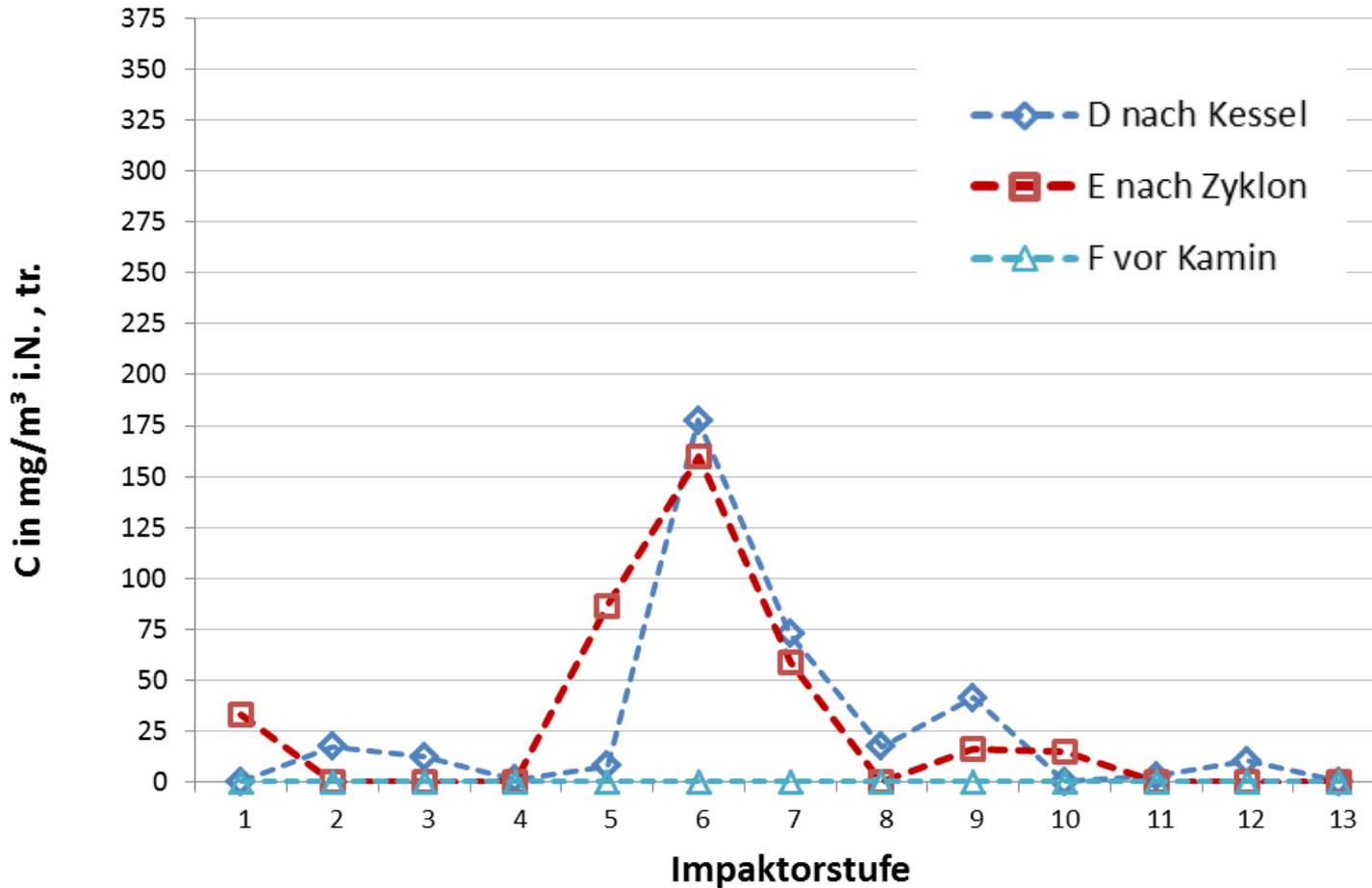
# Ergebnisse Mülllinie

## Gesamtstaubmessungen



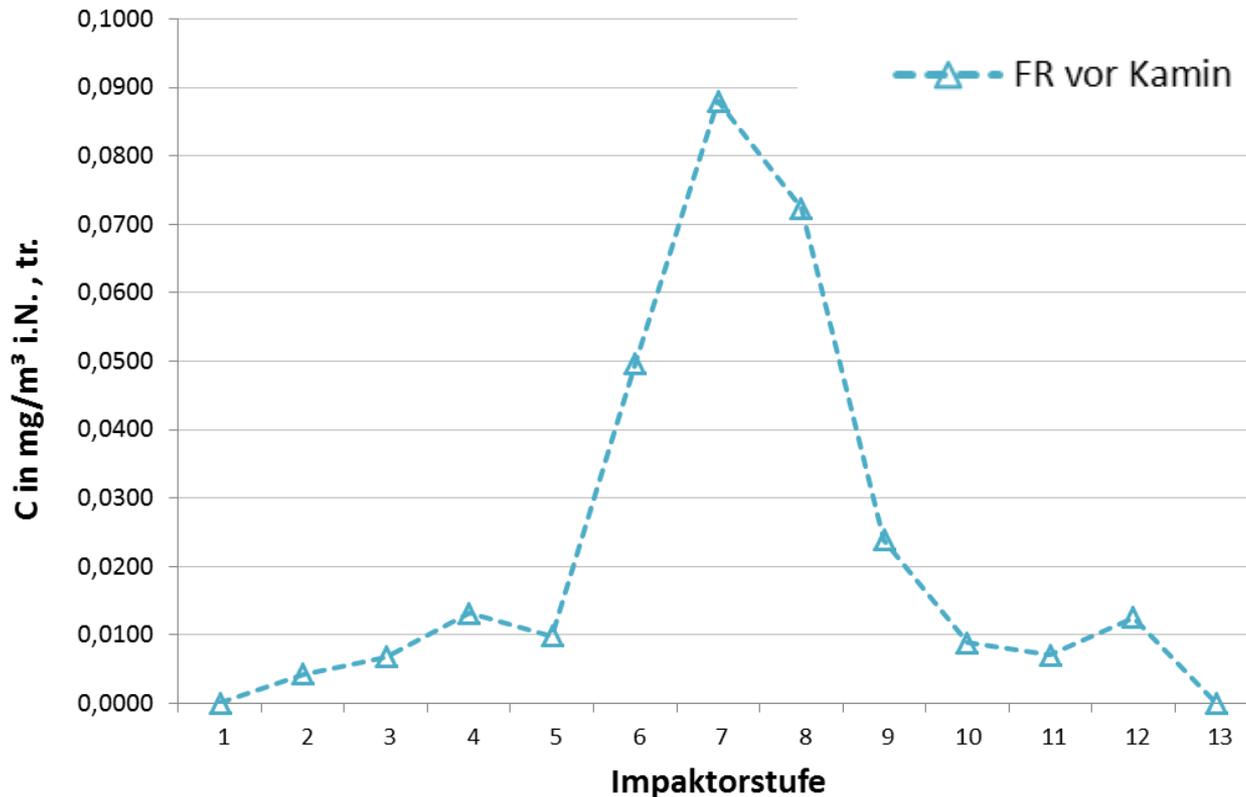
# Ergebnisse Mülllinie

## Impaktormessungen (ohne Rußblasen)



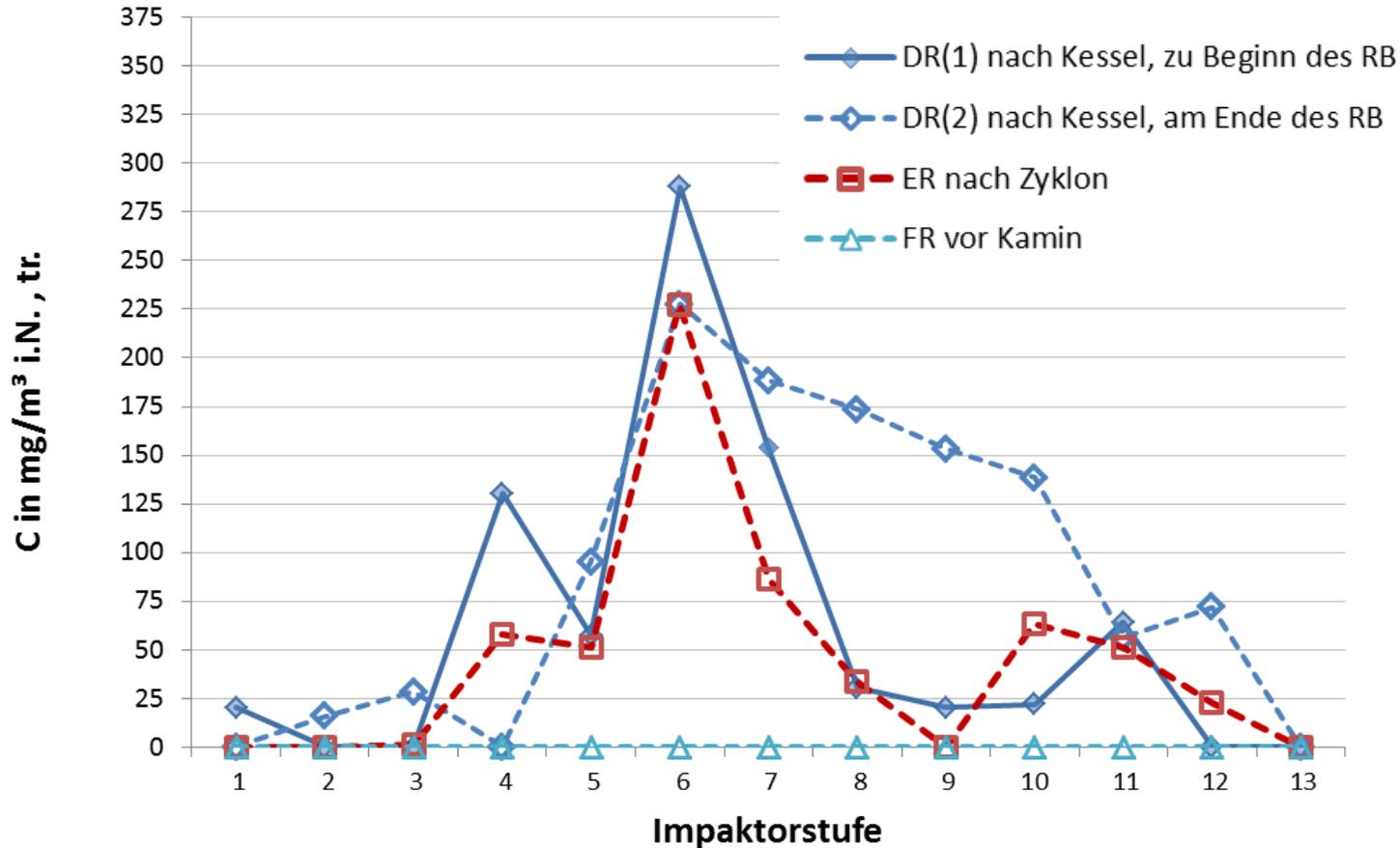
# Ergebnisse Mülllinie

## Impaktormessung – vor Kamin



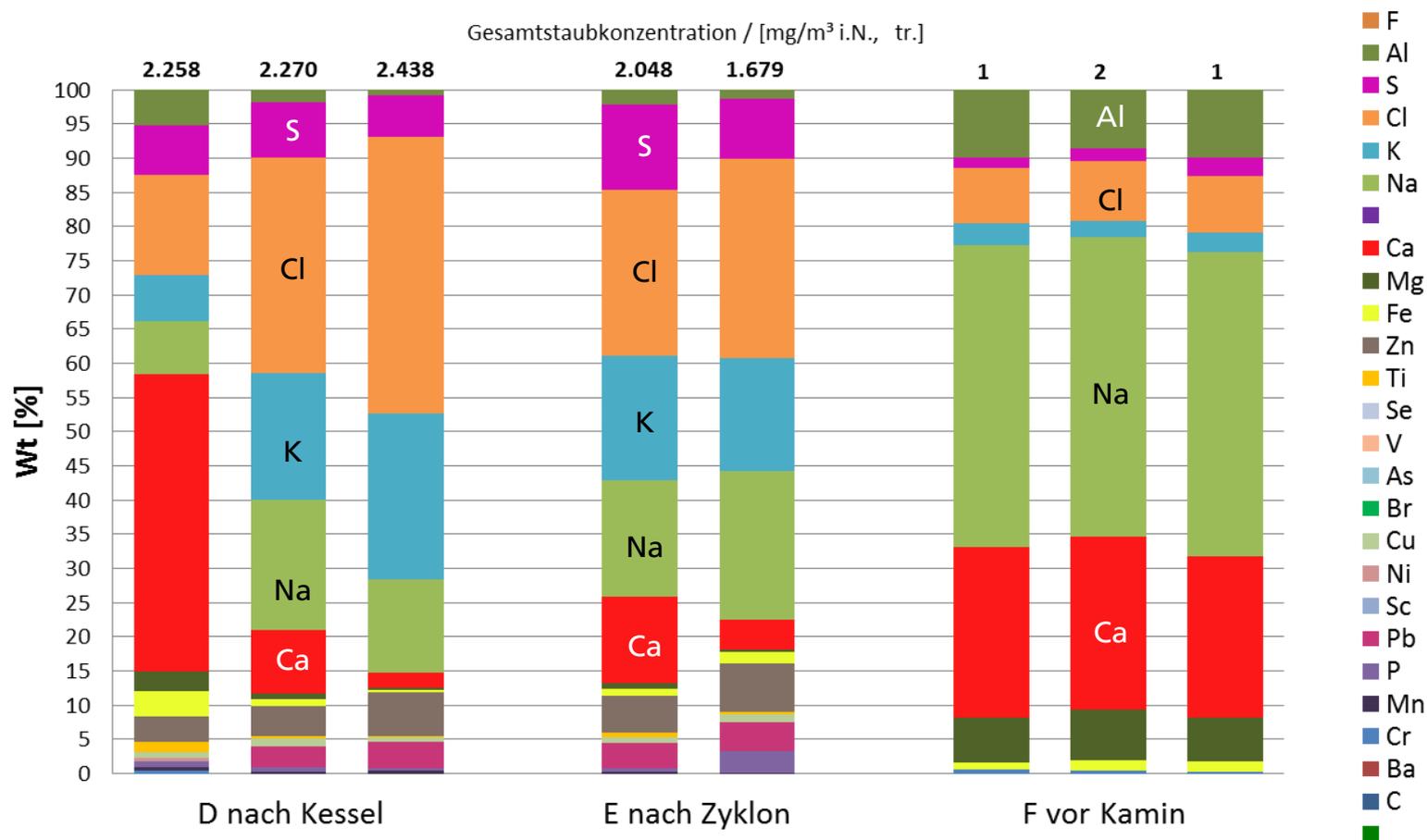
# Ergebnisse Mülllinie

## Impaktormessungen (mit Rußblasen)



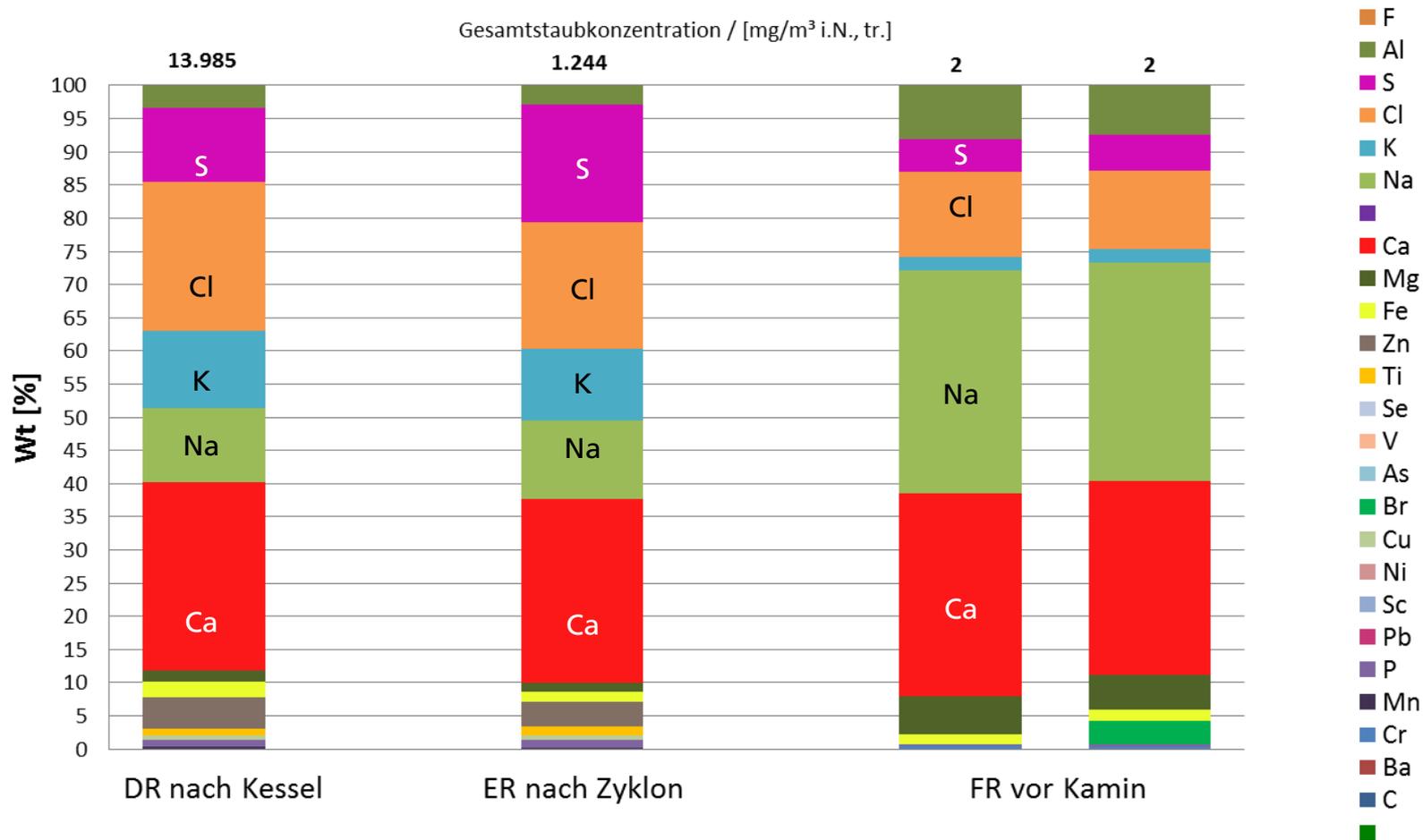
# Ergebnisse Mülllinie

## EDX-Analysen Gesamtstaubmessungen (ohne Rußblasen)



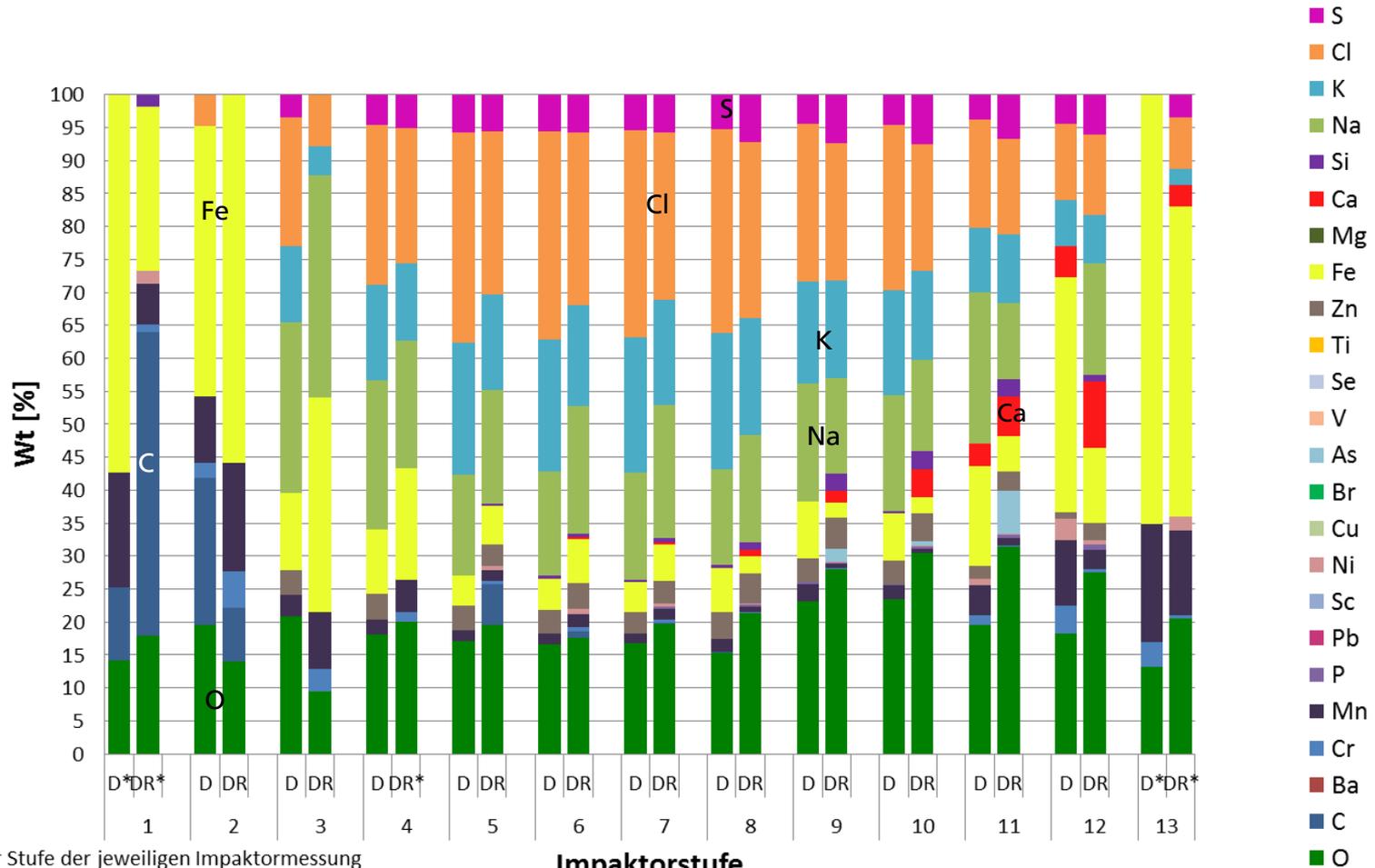
# Ergebnisse Mülllinie

## EDX-Analysen Gesamtstaubmessungen mit Rußblasen



# Ergebnisse Mülllinie

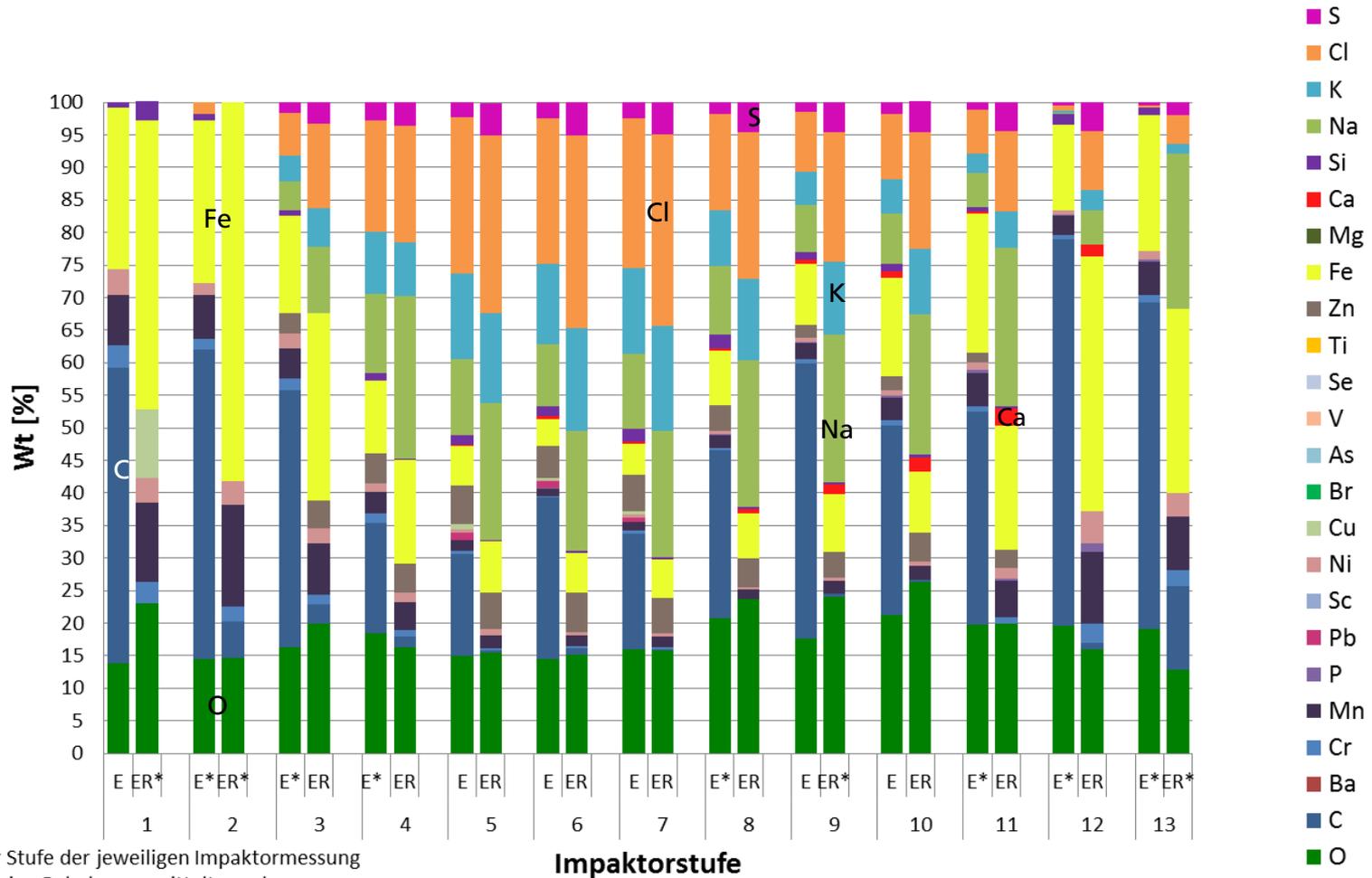
## Vergleich mit und ohne Rußblasen (nach Kessel)



\* Auf der Stufe der jeweiligen Impaktormessung konnte keine Beladung ermittelt werden.

# Ergebnisse Mülllinie

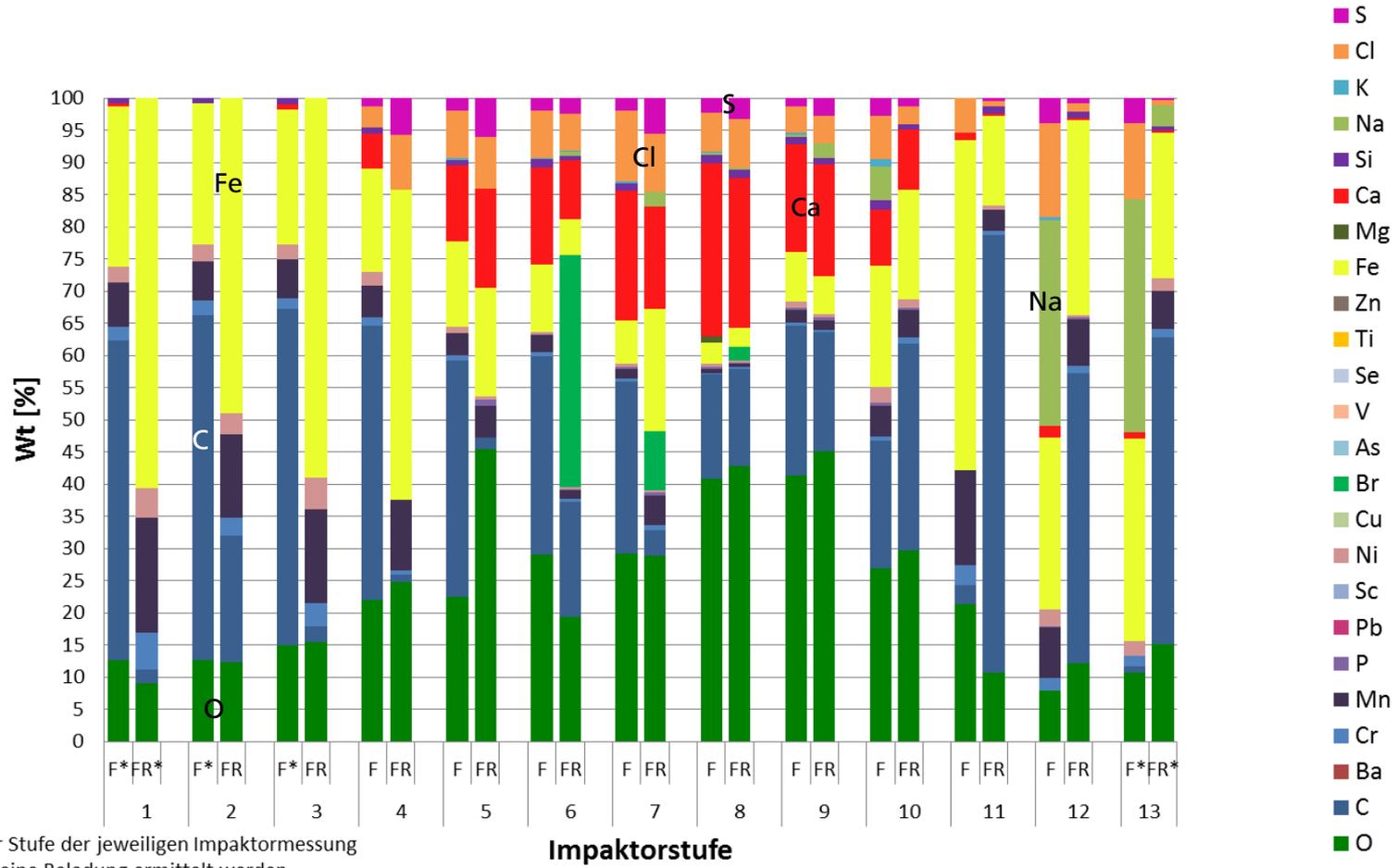
## Vergleich mit und ohne Rußblasen (nach Zyklon)



\* Auf der Stufe der jeweiligen Impaktormessung konnte keine Beladung ermittelt werden.

# Ergebnisse Mülllinie

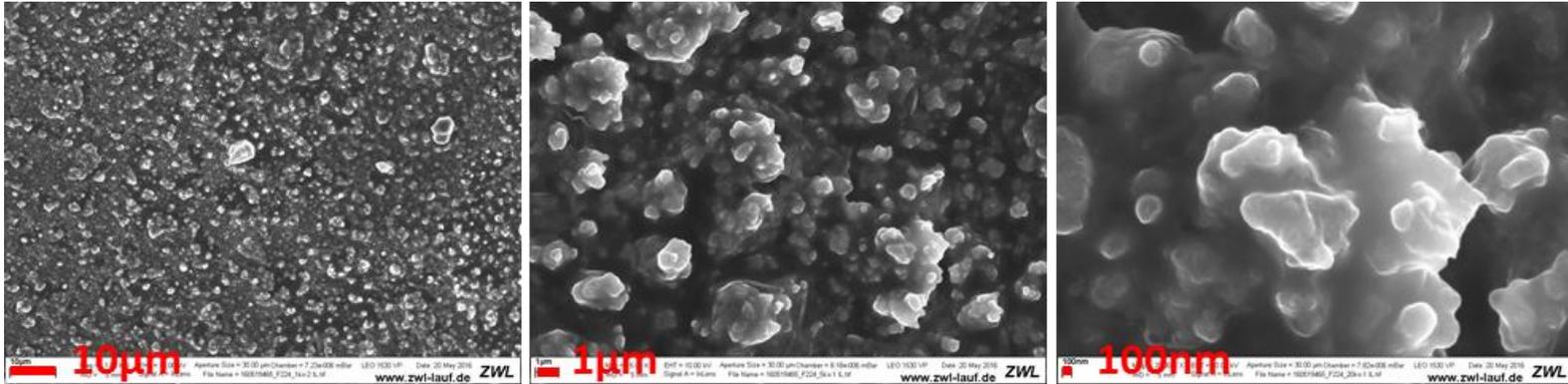
## Vergleich mit und ohne Rußblasen (vor Kamin)



\* Auf der Stufe der jeweiligen Impaktormessung konnte keine Beladung ermittelt werden.

# Ergebnisse Mülllinie

## Morphologische Betrachtung



REM-Aufnahmen der 4. Stufe (F224) der Impaktormessung Messstelle F vor Kamin

- Größenbereich der Partikel auf den Impaktorstufen belegen die Klassierung im Impaktionsverfahren
- Partikel insbesondere in den niedrigen Stufen weisen weiche, runde Strukturen auf
- Keine faserartigen Strukturen in Nanometerbereich

---

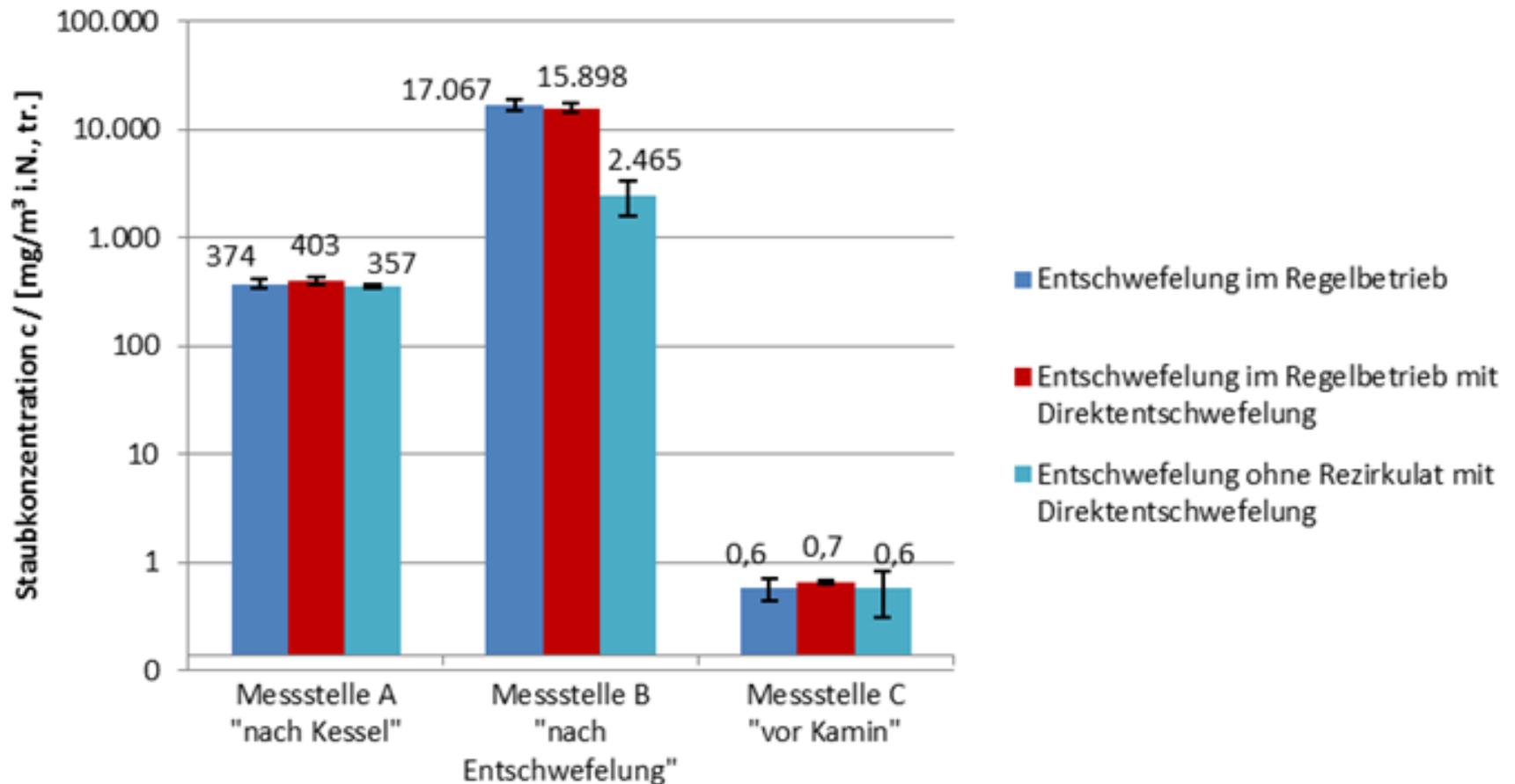
# Agenda

---

- Methodik
  - Anlagenbeschreibung GKS
  - Messtechnik
  - Analytik
- Ergebnisse
  - Mülllinie
  - Kohlelinie
- Zusammenfassung

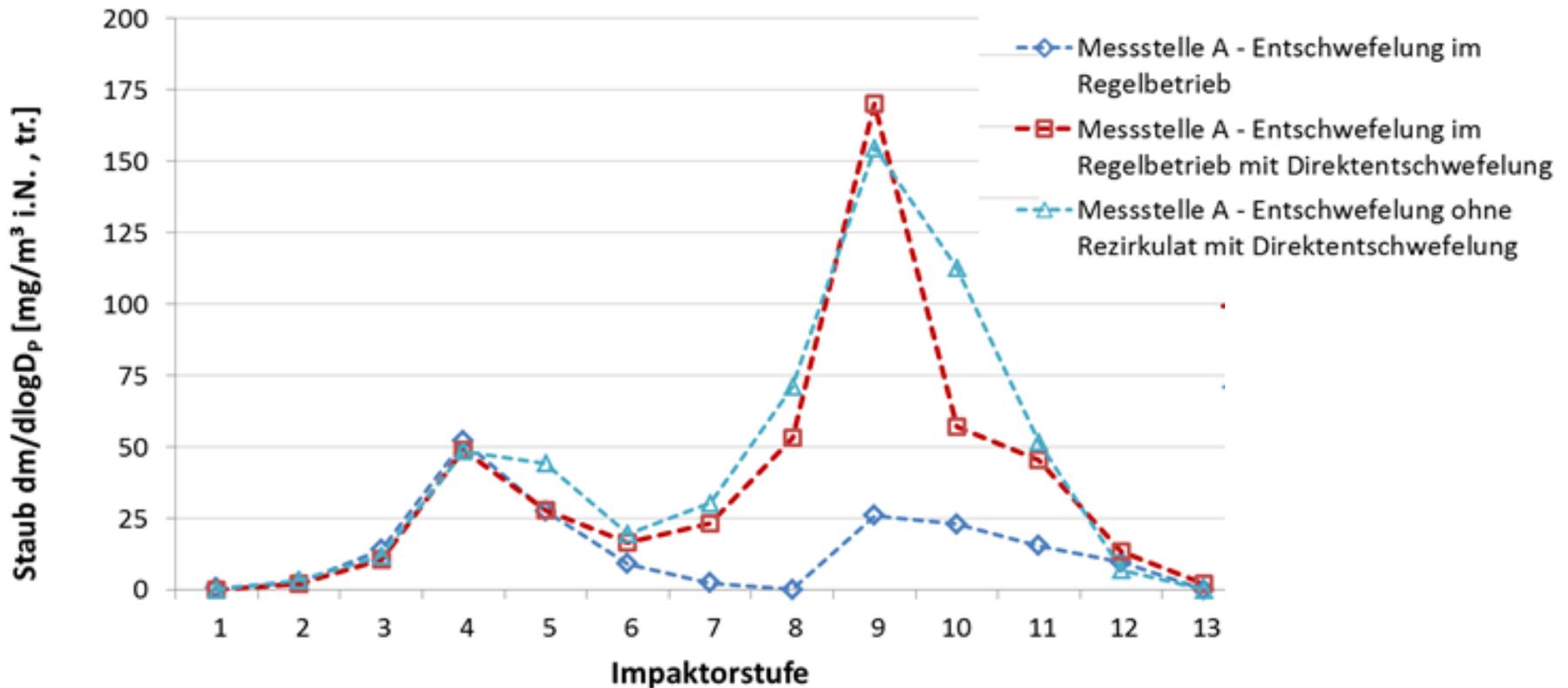
# Ergebnisse Kohlelinie

## Gesamtstaubmessungen



# Ergebnisse Kohlelinie

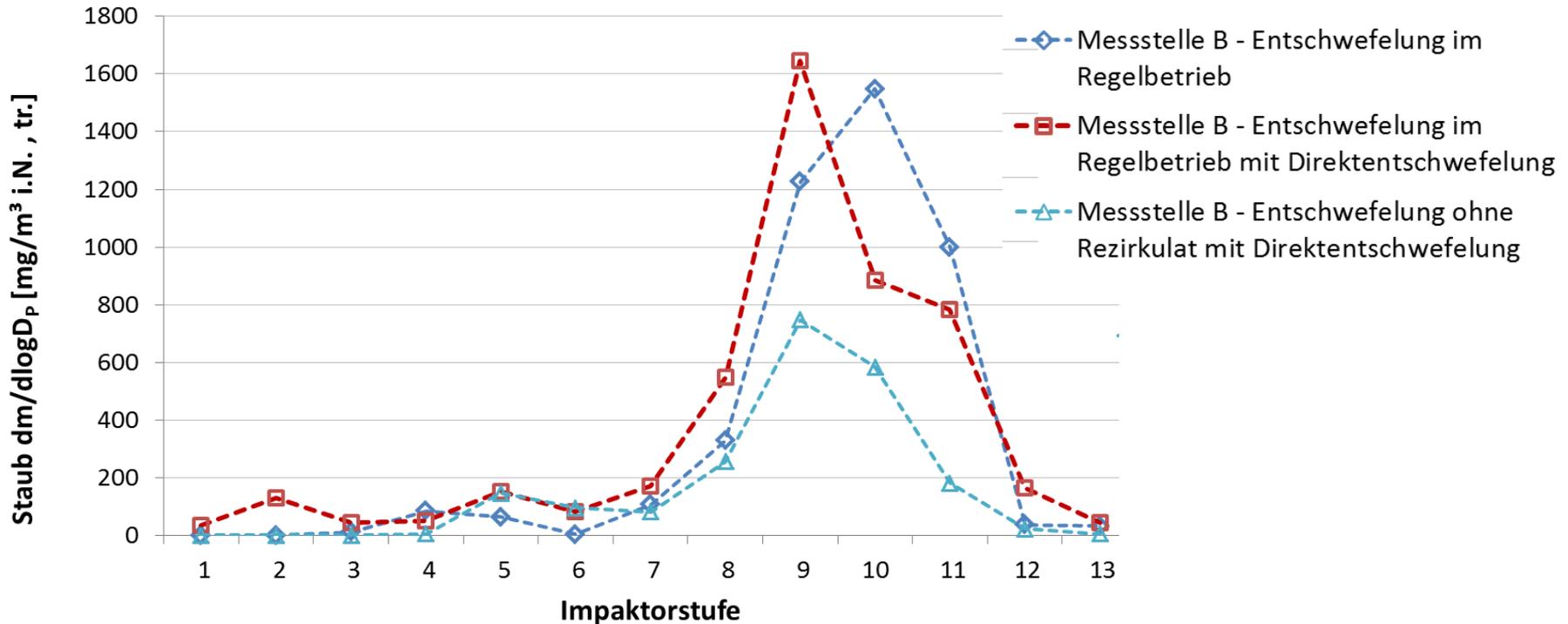
## Impaktormessungen (nach Kessel)



Vergleich der Staubkonzentrationen an der Messstelle A für die verschiedenen Betriebsweisen der Entschwefelung

# Ergebnisse Kohlelinie

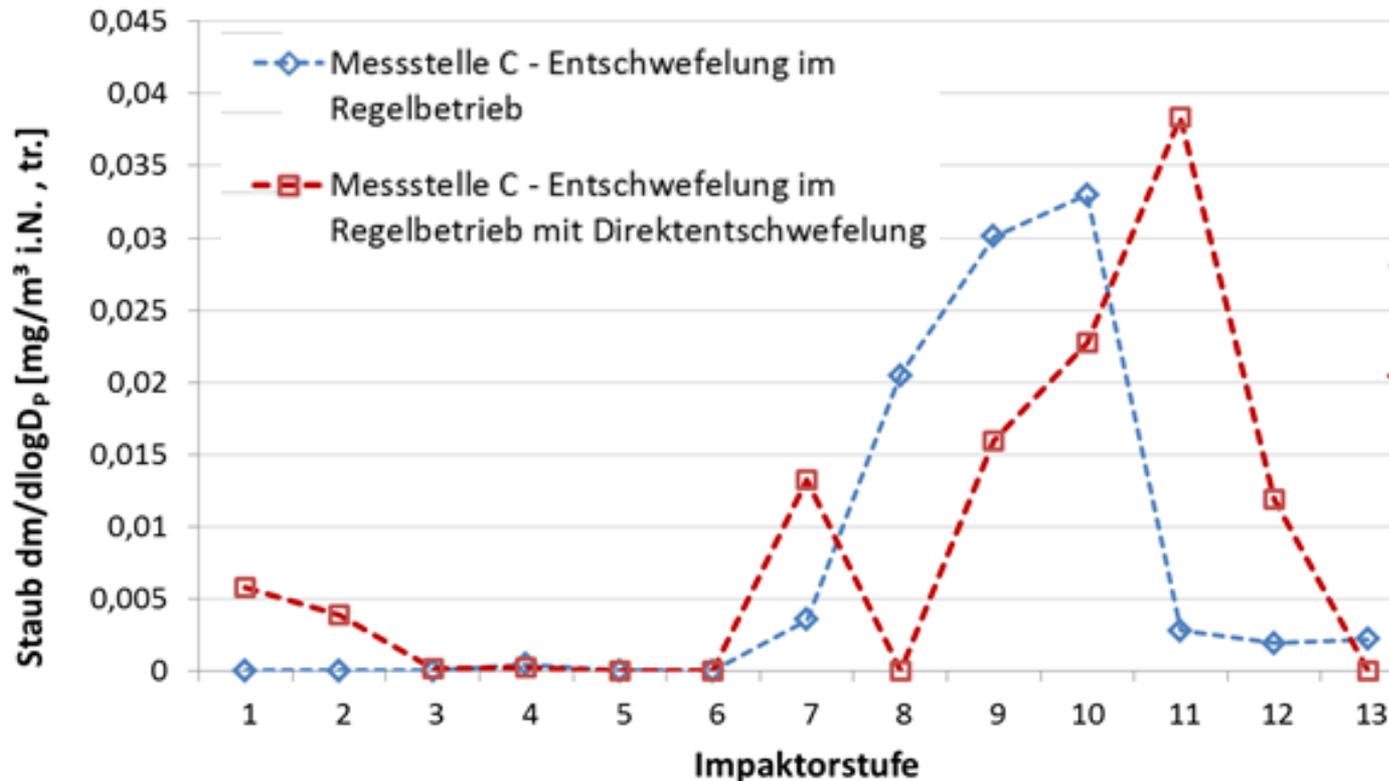
## Impaktormessungen (nach Entschwefelung)



Vergleich der Staubkonzentrationen an der Messstelle B für die verschiedenen Betriebsweisen der Entschwefelung

# Ergebnisse Kohlelinie

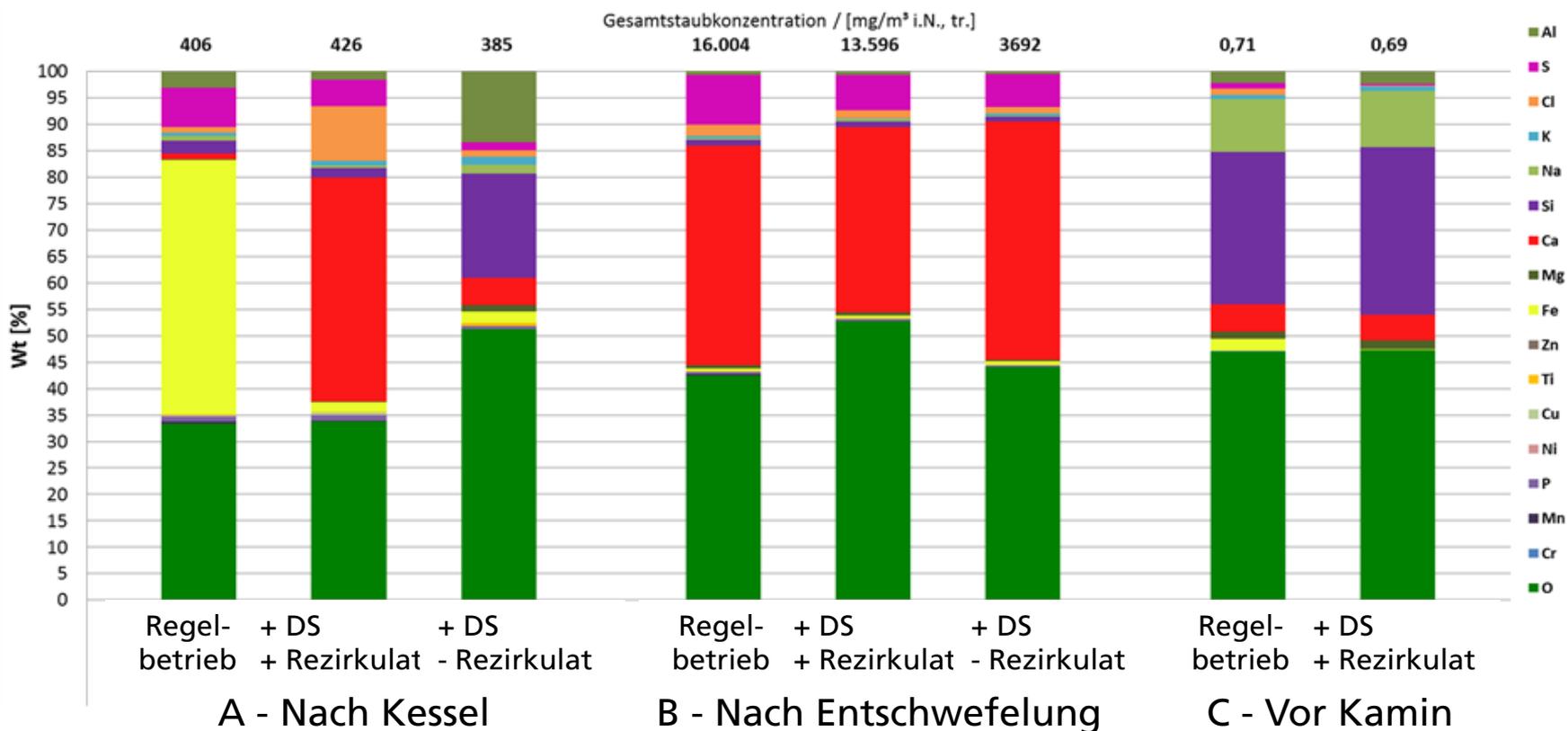
## Impaktormessungen (vor Kamin)



Vergleich der Staubkonzentrationen an der Messstelle C für die verschiedenen Betriebsweisen der Entschwefelung

# Ergebnisse Kohlelinie

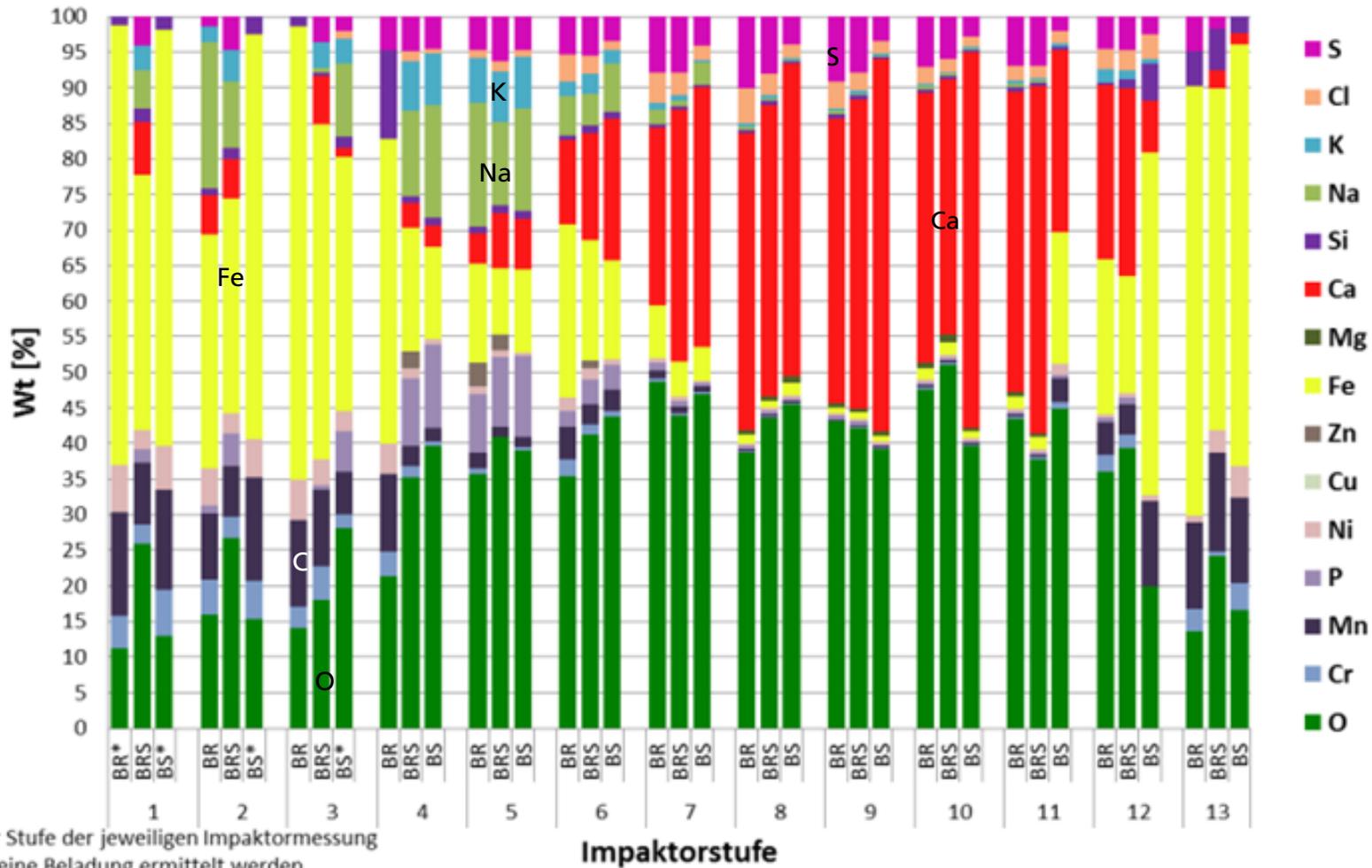
## EDX-Analysen der Gesamtstaubmessungen





# Ergebnisse Kohlelinie

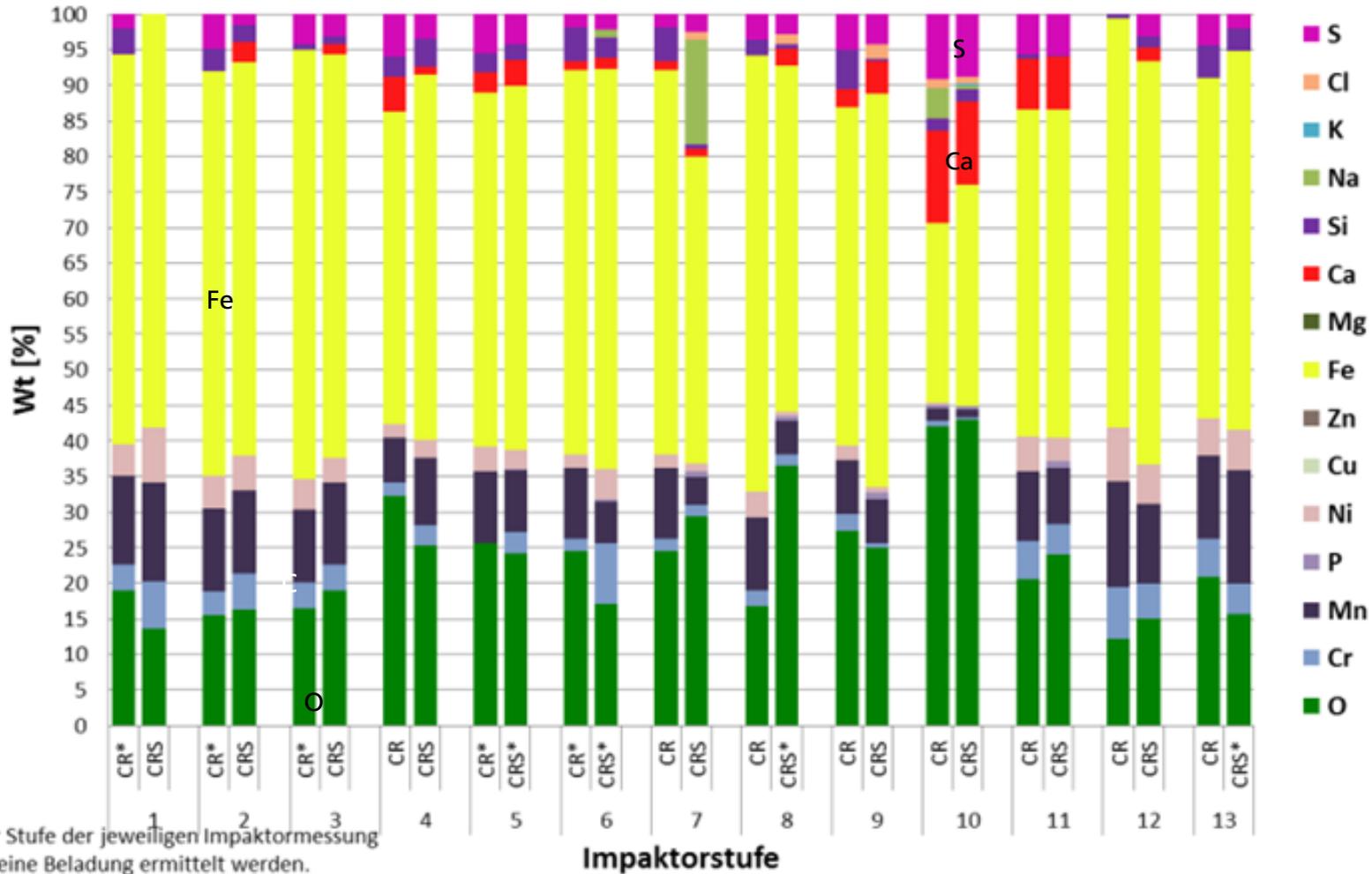
## Vergleichende EDX-Analysen der Impaktormessungen



\* Auf der Stufe der jeweiligen Impaktormessung konnte keine Beladung ermittelt werden.

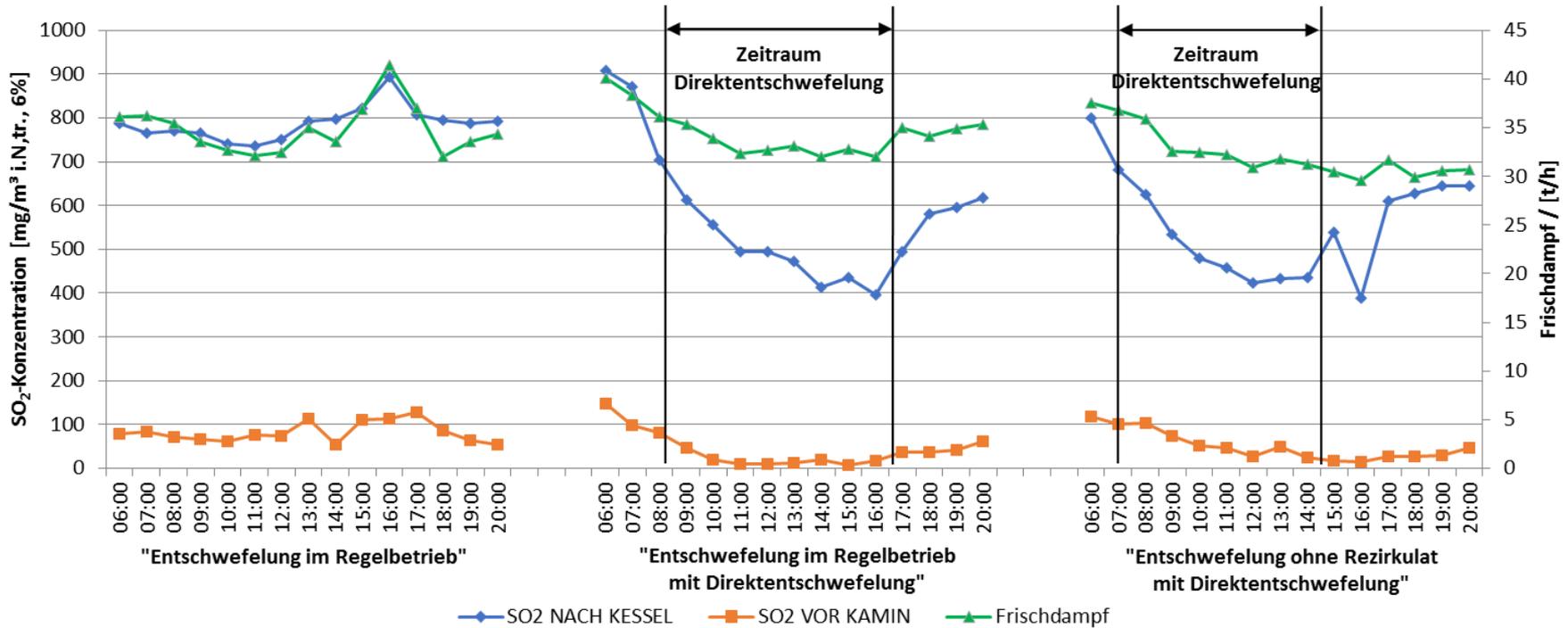
# Ergebnisse Kohlelinie

## Vergleichende EDX-Analysen der Impaktormessungen



# Ergebnisse Kohlelinie

## Vergleichende EDX-Analysen der Impaktormessungen



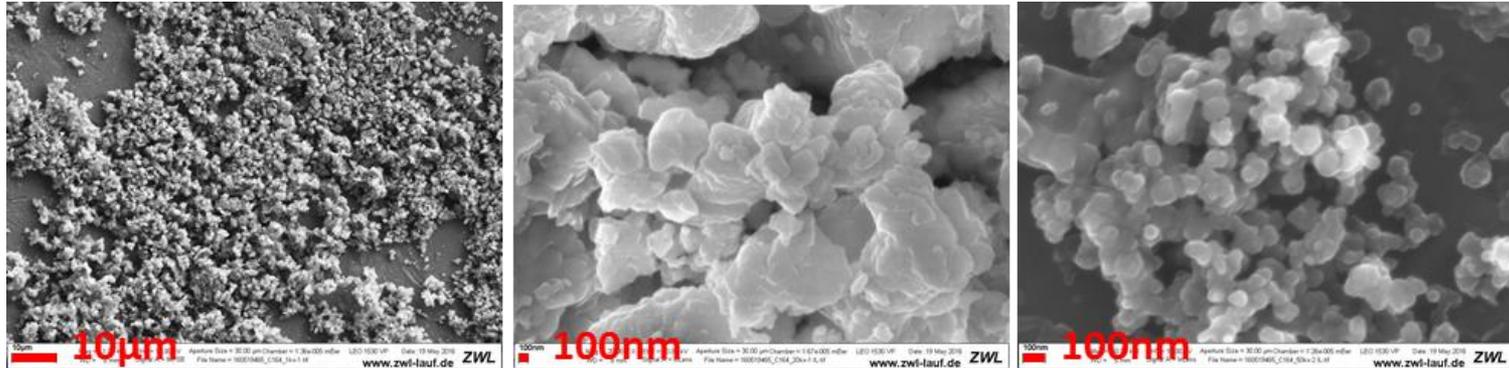
Reduktionsrate  
≈88,1%

Reduktionsrate  
≈96,7%

Reduktionsrate  
≈ 92,2%

# Ergebnisse Kohleteil

## Morphologische Betrachtung



### 4. Stufe (C164) der Impaktormessung an der Messstelle C vor Kamin

- Größenbereich der Partikel auf den Impaktorstufen belegen die Klassierung im Impaktionsverfahren
- Partikel insbesondere in den niedrigen Stufen weisen weiche, runde Strukturen auf
- Keine faserartigen Strukturen in Nanometerbereich

---

# Agenda

---

- Methodik
  - Anlagenbeschreibung GKS
  - Messtechnik
  - Analytik
- Ergebnisse
  - Mülllinie
  - Kohlelinie
- Zusammenfassung

# Ergebnisse

## Mülllinie / Kohlelinie

- Wie verändert sich die **Partikelbeladung** entlang des Rauchgasweges?
- Wie verändert sich die **Partikelgrößenverteilung** entlang des Rauchgasweges?
  - Beladungen und Partikelgrößenverteilungen zeigen erwartbare, plausible Ergebnisse
  - Deutliche Veränderung der Elementarzusammensetzung entlang des Rauchgaswegs
  - Vor Kamin: Sichere Einhaltung der Grenzwerte

# Ergebnisse

## Mülllinie

### Welche Effekte zeigen sich beim Rußblasen?

- Hoher Anstieg Staubgehalt nach Kessel (Faktor 2-6)
- Verschiebung der Partikelgrößenverteilung hin zu größeren Partikeln
- Staubgehalt nach Zyklon etwas niedriger als ohne Rußblasen
  - Während des Rußblasens freigesetzte Partikel tendenziell größer
  - bessere Abscheidung im Zyklon
  - Scavenging: kleine Partikel haften an großen Partikeln an
- Vor Kamin kein Einfluss sichtbar → sichere Einhaltung der Grenzwerte

# Ergebnisse

## Kohlelinie

### Welche Effekte zeigen sich bei der Direktentschwefelung?

- Massiver Anstieg der Staubwerte von Messstelle A zu Messstelle B (Faktor 5-45)
- Deutlich geringere Staubwerte im Betrieb ohne Rezirkulat bei Messstelle B (ca. Faktor 7)
- Zugabe von Kalziumhydroxid spiegelt sich in Elementarzusammensetzung wider
- Entschwefelung: Steigerung der Reduktionsraten von 88,1% auf 92,2% bzw. 96,7%

# Ergebnisse

## Mülllinie / Kohlelinie

- Wie verändert sich die **chemische Zusammensetzung und Morphologie der Partikel** entlang des Rauchgasweges?
- Können **Carbon Nanotubes (CNT)** im Abgas nachgewiesen werden?
  - Erfolgreiche Klassierung mittels Impaktormessung anhand der REM-Aufnahmen belegt
  - Tendenz zur Bildung von Agglomeraten erkennbar
  - Bei zunehmend kleineren Partikeln vermehrt weiche Strukturen mit gerundeten Kanten → Ursache: Vermutlich sinterähnliche Vorgänge
  - Faserartige Strukturen im nm-Bereich auf Impaktorstufen nicht gefunden → Keine Hinweise auf Carbon Nanotubes

---

# Impaktormessung im Rauchgasstrang einer Müll- und Kohlelinie des GKS-Schweinfurt

---

## Vielen Dank!



**Martin Meiller**

Gruppenleiter Energie aus Biomasse und Abfall

**Fraunhofer UMSICHT**

**Institutsteil Sulzbach-Rosenberg**

09661-908 419

[martin.meiller@umsicht.fraunhofer.de](mailto:martin.meiller@umsicht.fraunhofer.de)

<http://www.umsicht-suro.fraunhofer.de>