

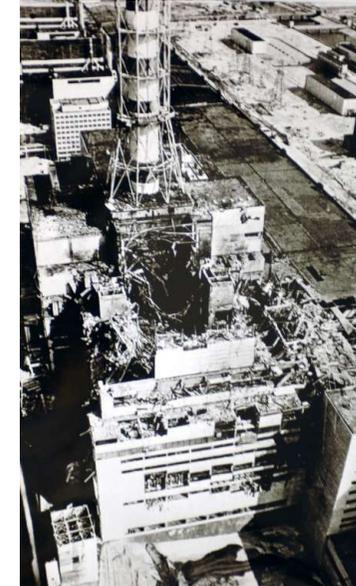
Martin Dunker, Dr. Daniel Bernhardt, Prof. Michael Beckmann TU-Dresden  
Fakultät Maschinenwesen Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik  
Professur für Energieverfahrenstechnik

# Untersuchungen zum Freisetzungsverhalten von Cäsium und Strontium bei der Verbrennung von hausmüllähnlichen Abfällen

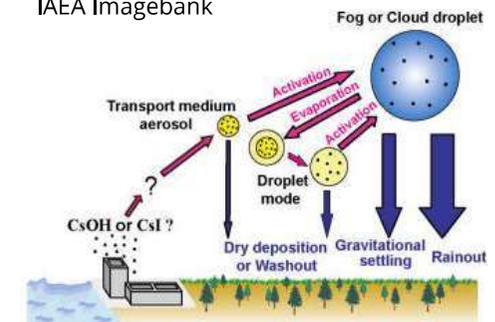
Freitag, 09. September 2022

# Motivation

- Cäsium (Cs) und Strontium (Sr) werden durch nukleare Störfälle bzw. Katastrophen in die Umwelt freigesetzt (z.B. Tschernobyl und Fukushima)
- Stellen aufgrund einer mittleren Halbwertszeit ( je nach Isotop 3 – 30 Jahre) und Eigenschaft als Gammastrahler den Hauptanteil der mittel- bis langfristigen Gefahr dar
- Bei Havarie werden weite Flächen mit Cs und Sr kontaminiert  
Jedoch verbleiben die Spezies meist in den oberen Bodenschichten
- Eine notwendige Dekontamination hat große zu deponierende Volumina zur Folge
- Daher sinnvolle Maßnahme: Co-Verbrennung mit ebenfalls kontaminiertem Hausmüll
- Hierzu nur begrenzte Datenlage in Verbindung mit europäischem Hausmüll verfügbar
- Datengrundlage für sichere Lagerung der Verbrennungsrückstände notwendig



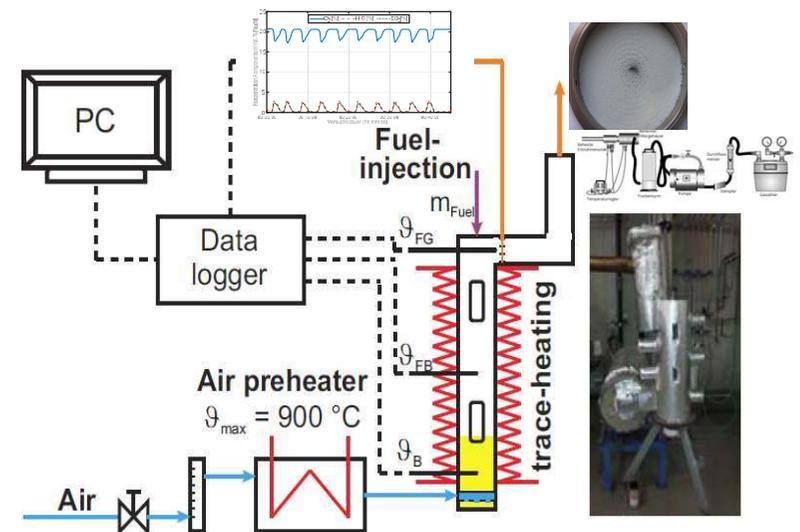
IAEA Imagebank



Kaneyasu et al. 2012

# Zielstellung

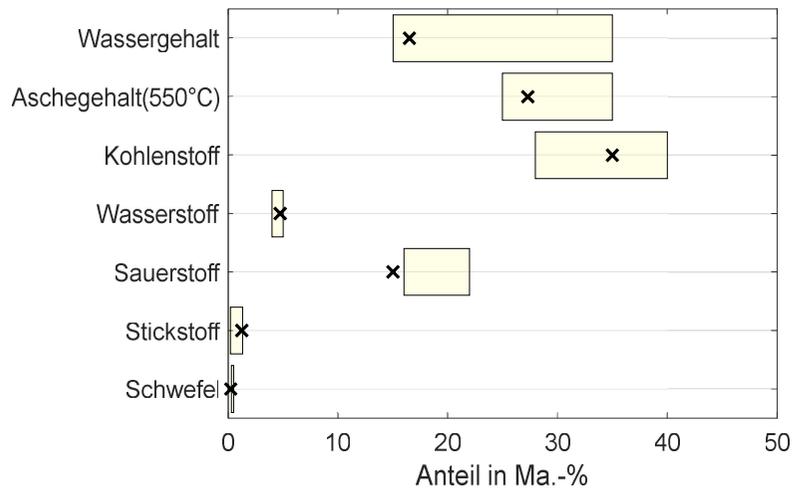
- **Bestimmung der Verteilung von Cs und Sr in den Verbrennungsrückständen bei der Verbrennung von Hausmüll (HM)**
- **Dazu wurden Verbrennungsexperimente im Labormaßstab in einer stationären Wirbelschicht unter Variation von:**
  - der Betttemperatur
  - Konzentration von Cs und Sr im Brennstoff
- **Messung der Cs- und Sr-Konzentration im Bett- und Flugasche**
- **Berechnung der Elementbilanz für Cs und Sr**
- **Vergleich der Ergebnisse mit experimentellen Daten aus Rostfeuerung**



# Brennstoffauswahl und Charakterisierung

- **Brennstoffzusammensetzung hat signifikanten Einfluss auf Freisetzungsverhalten**
- **Daher repräsentative Brennstoffauswahl essentiell**

Charakteristische Eigenschaften europäischen Hausmülls (Scholz et al):



- **Lokal verfügbarer Ersatzbrennstoff (EBS) als Modellbrennstoff ausgewählt (x)**
- **Gute Vergleichbarkeit mit typischen Eigenschaften von Hausmüll (HM)**

# Brennstoffauswahl und Charakterisierung

- Vergleich der Konzentration der hauptsächlichen Aschebildner für EBS und HM

Element [in Ma.% TS)	Hausmüll Barin et al. (1996)	Hausmüll Weigand und Marb (2005)	Analyse Trockenstabilat (Eigene Ergebnisse)	
			Mittelwert	Schwankungsbreite
Silicium (Si)	5,14	n.A.	5,57	4,08 – 8,14
Aluminium (Al)	1,80	1,10	1,63	1,16 – 2,35
Eisen (Fe)	2,10	0,590	1,65	0,853 – 2,99
Calcium (Ca)	2,22	3,62	6,20	3,39 – 11,3
Magnesium (Mg)	0,271	0,570	0,496	0,424 – 0,664
Sulfat (S)	n.A.	0,367	0,589	0,456 – 0,832
Natrium (Na)	1,13	0,770	0,746	0,406 – 1,42
Kalium (K)	0,249	0,720	0,917	0,471 – 1,70
Cäsium (Cs)	n.A.	n.A.	u.D.	u.D.
Strontium (Sr)	n.A.	n.A.	0,0065	0,004 – 0,01

\*n.A. Nicht angegeben; u.D. unter Detektionsgrenze

- Cs und Sr Konzentrationen zu niedrig für Messungen in Verbrennungsrückständen
- Daher Dotierung notwendig
- Gleichzeitig Erhöhung der Brennstofffeuchte

# Brennstoffkonditionierung



**Brennstofffeuchte 20 Ma.-%**

**Niedrige Dotierung (ND):**

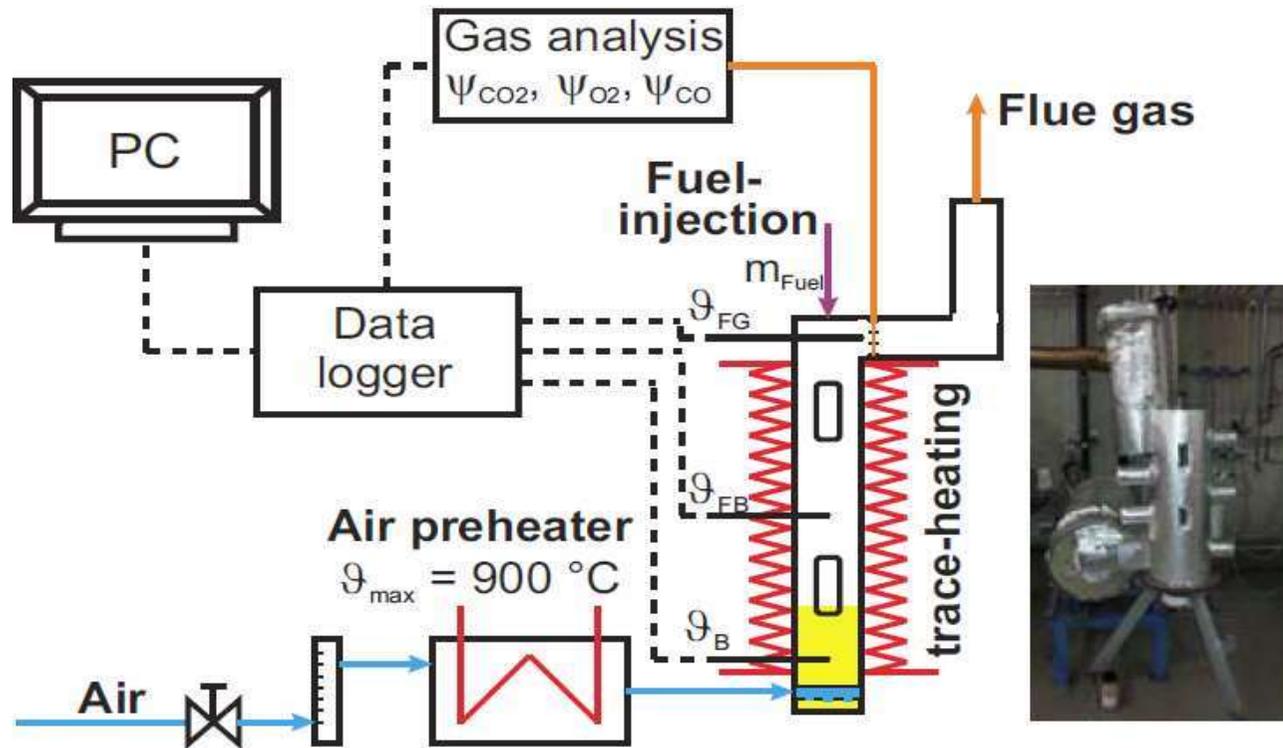
0,15 g<sub>Cs<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></sub>/kg<sub>BS feucht</sub>  
0,10 g<sub>SrCl<sub>2</sub></sub>/kg<sub>BS feucht</sub>

**Hohe Dotierung (HD):**

1,5 g<sub>Cs<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></sub>/kg<sub>BS feucht</sub>  
1,0 g<sub>SrCl<sub>2</sub></sub>/kg<sub>BS feucht</sub>

- **Gleichgewichtsberechnung mit wasserlöslichen Ionen des Brennstoffes ergeben folgende dominante Spezies:**
  - Cs als CsCl
  - Sr als SrSO<sub>4</sub>

# Experimenteller Aufbau



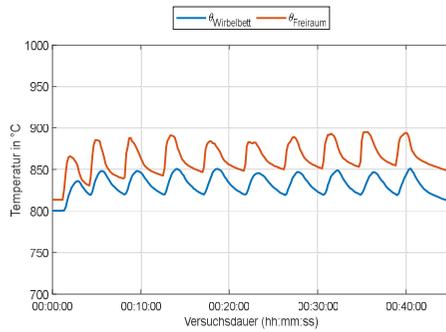
## Spezifikationen:

- Durchmesser: 76 mm
- Höhe Brennkammer: 900 mm
- Bettinventar : 1 kg  $\text{SiO}_2$
- Fluidisierungsluft: 10  $\text{m}^3$  i.N./h



# Experimenteller Aufbau

## Temperatur im Bett und Freiraum



## Brennstoffeinwurf



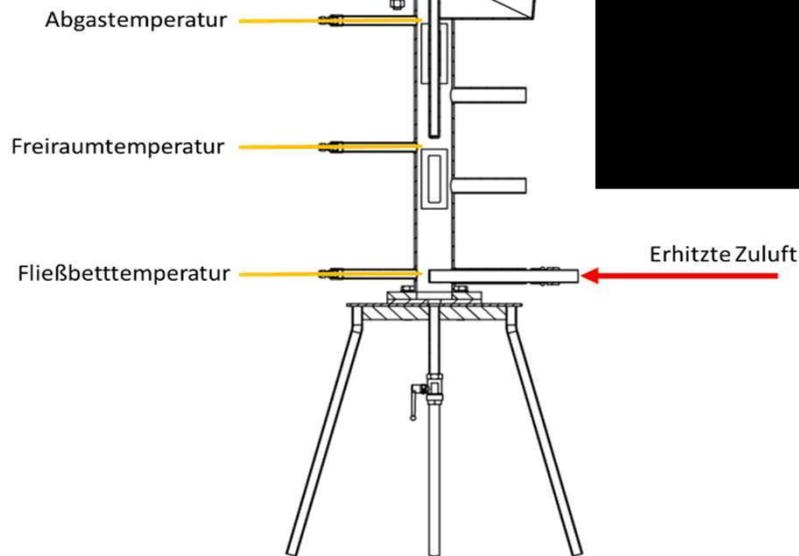
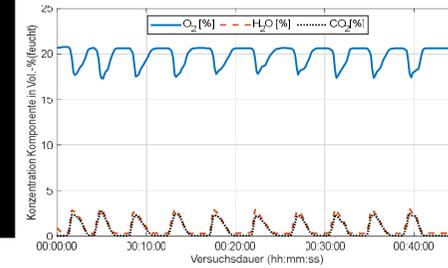
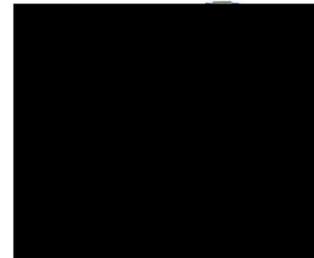
## Bettmaterial



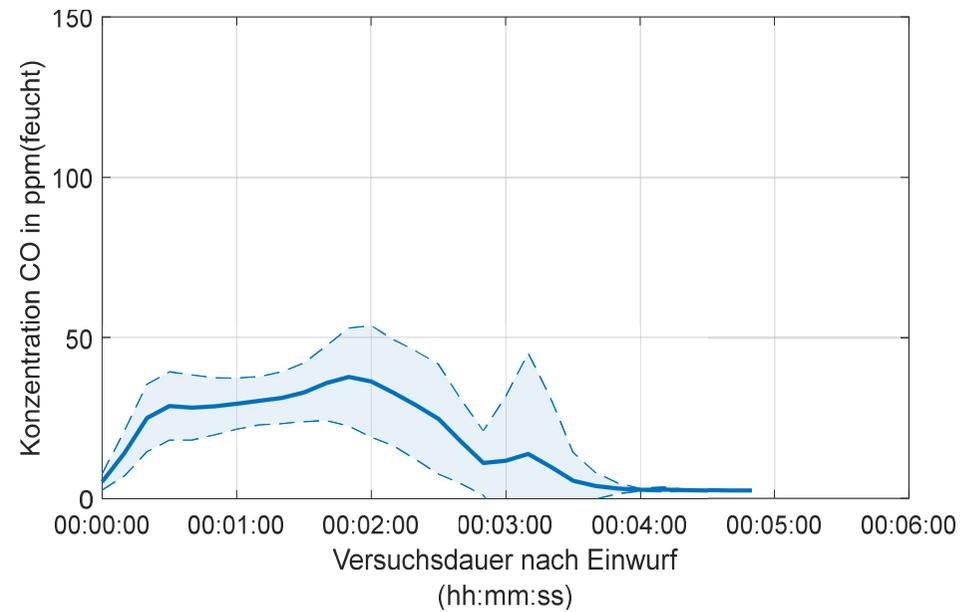
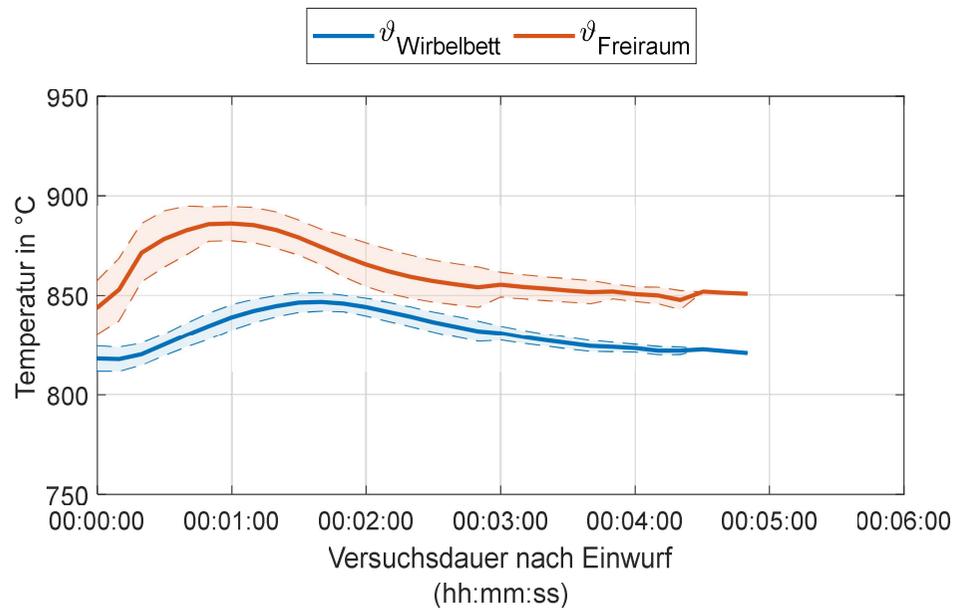
## Extraktive Fluggaschemie



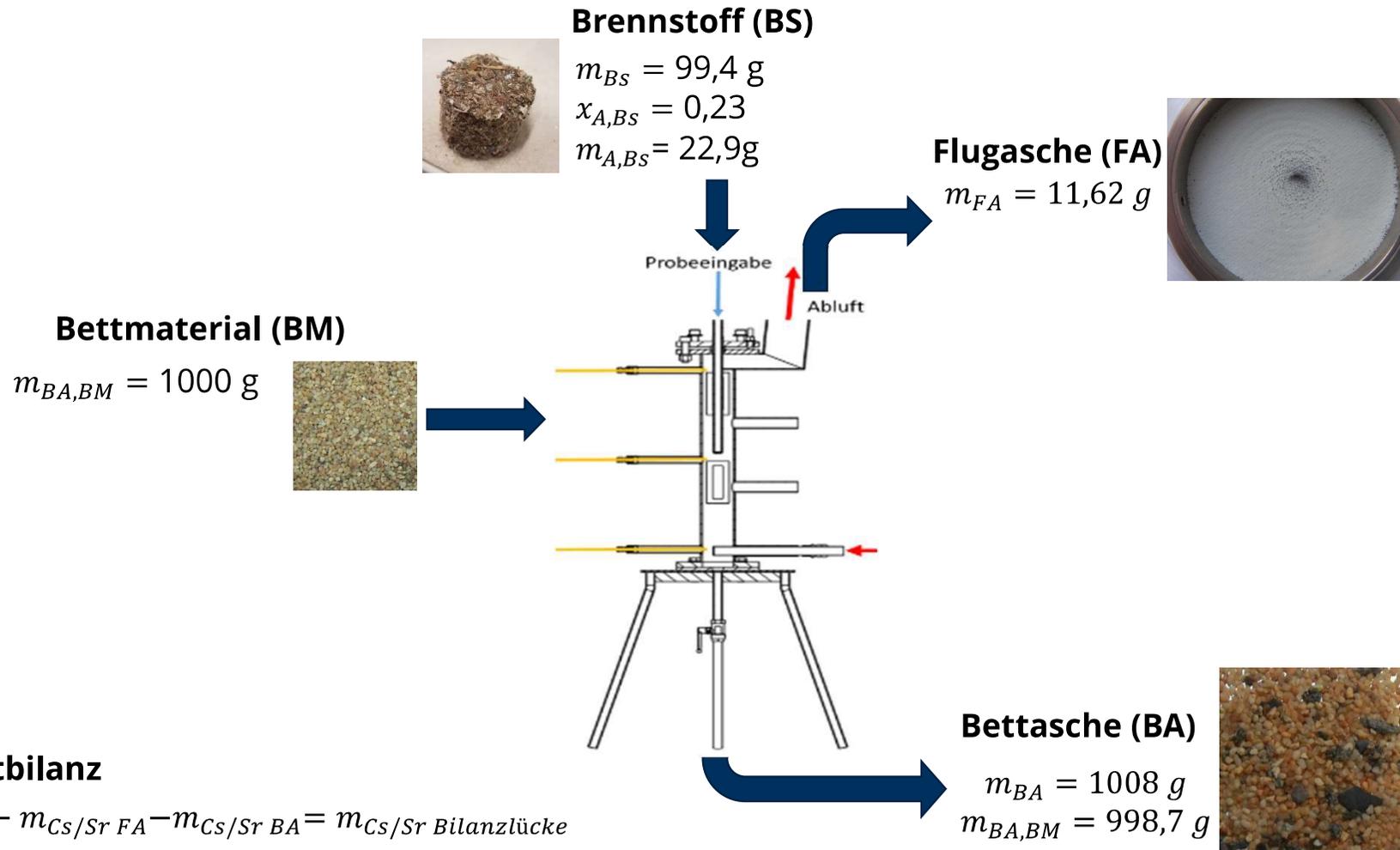
## Abgaszusammensetzung



# Darstellung der Versuchsbedingungen



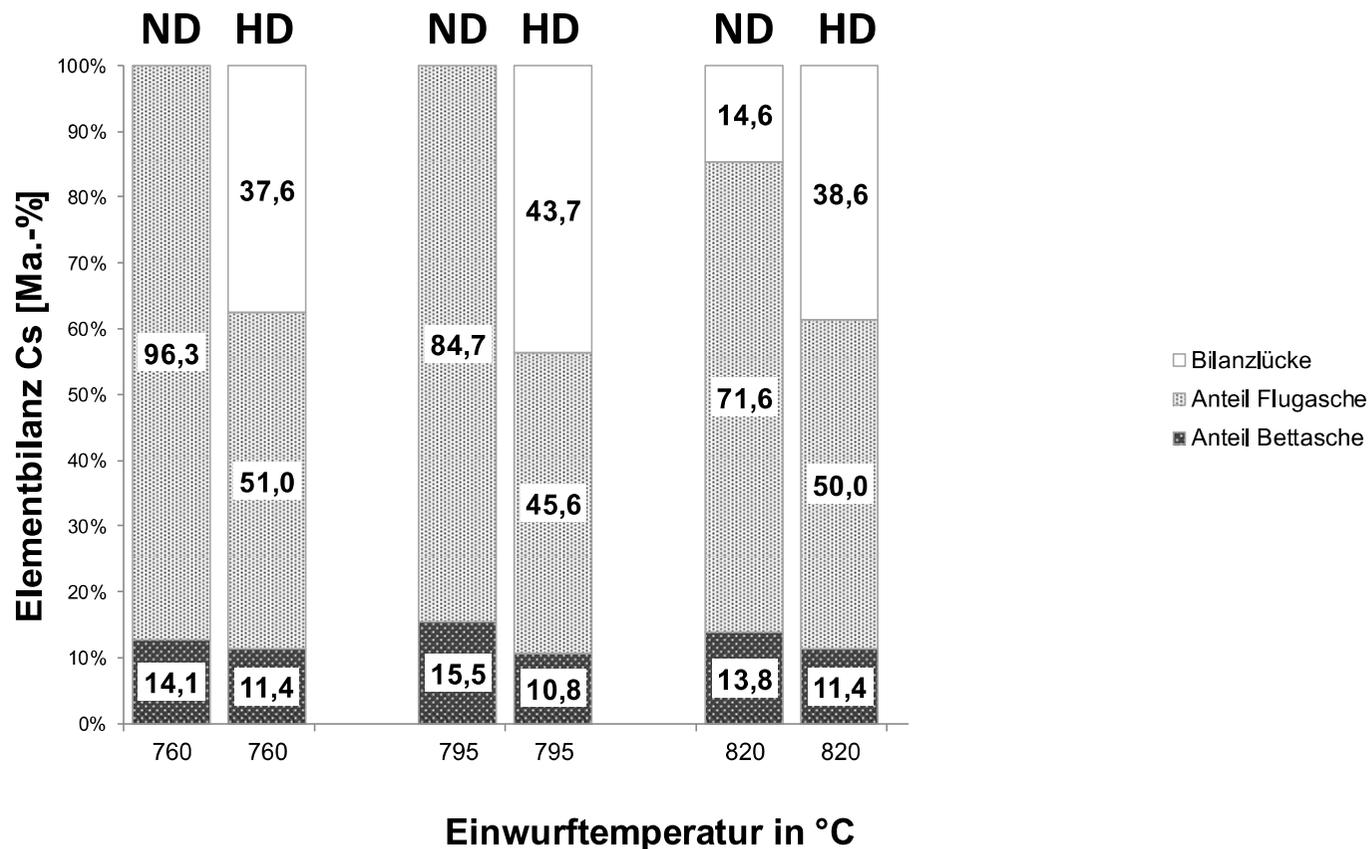
# Auswerte Methodik – Massenbilanz Asche



## Elementbilanz

$$m_{Cs/Sr \text{ BS}} - m_{Cs/Sr \text{ FA}} - m_{Cs/Sr \text{ BA}} = m_{Cs/Sr \text{ Bilanzlücke}}$$

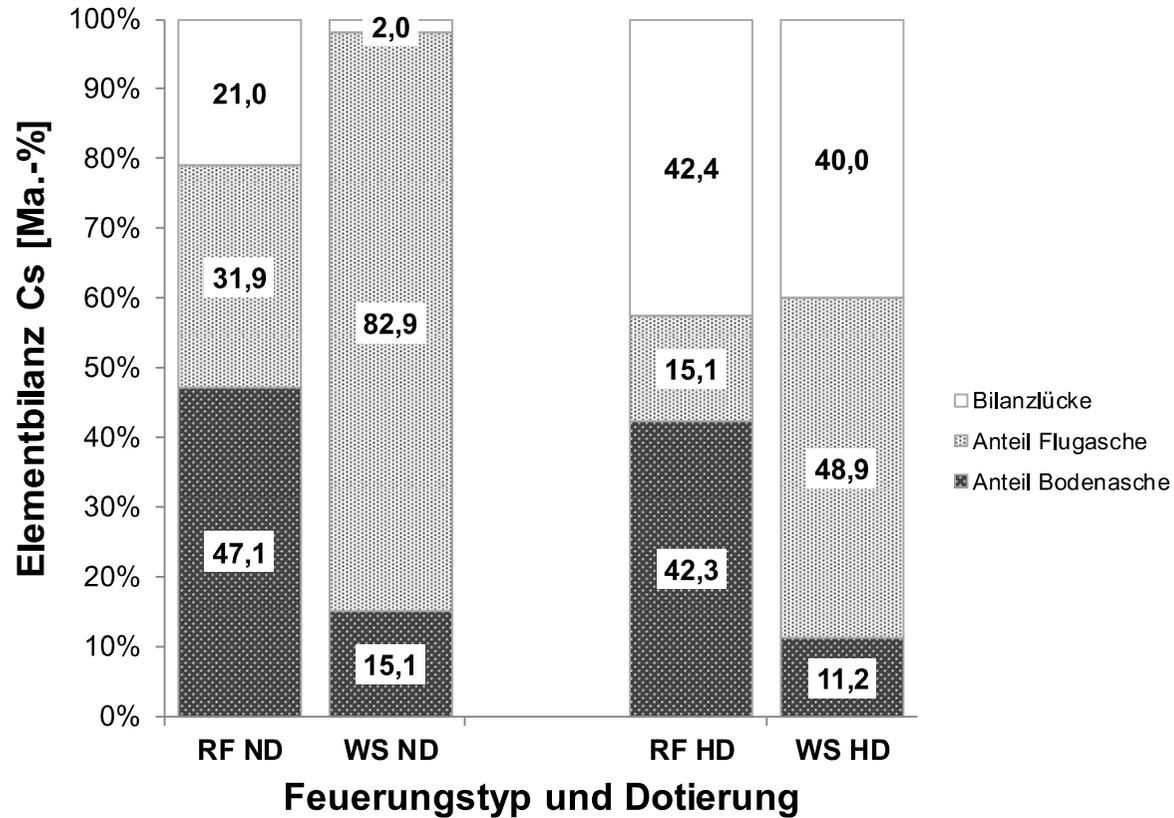
# Elementbilanz für Cs und Vergleich mit Literaturdaten



- Cs größtenteils in Flugasche freigesetzt
- Nur geringe Mengen verbleiben in Bettasche
- Bilanzlücke aufgrund von Thermophorese und Wandbelägen
- Weder Betttemperatur noch Dotierungsniveau haben signifikanten Einfluss auf Freisetzung
- Gute Übereinstimmung mit Literaturdaten aus Japan

Abkürzung	Bedeutung
ND	Niedrige Dotierung
HD	Hohe Dotierung

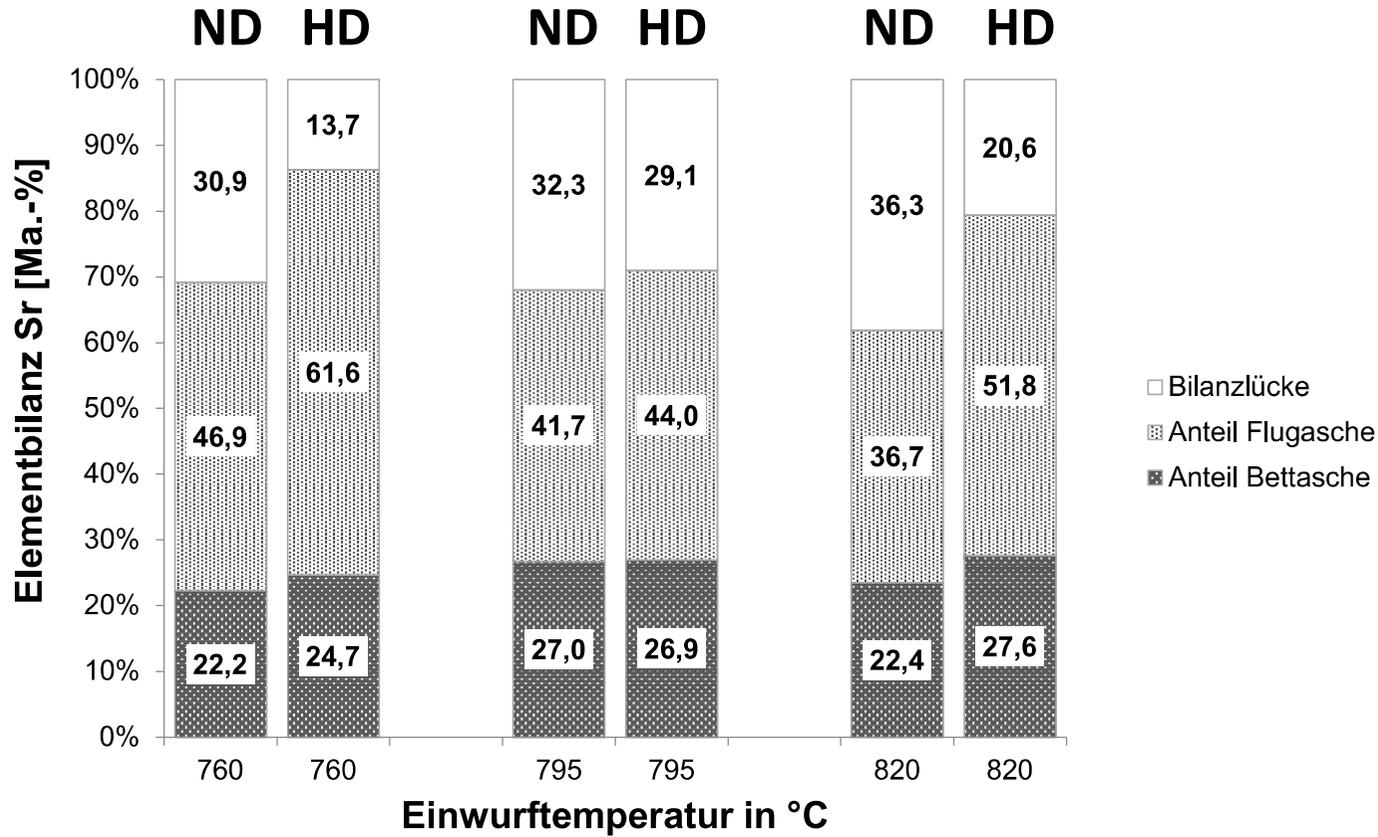
# Elementbilanz für Cs und Vergleich mit Ergebnissen der Rostfeuerung



- Deutlich höhere Freisetzung von Cs in die Flugasche für Wirbelschichtfeuerung
- Daher höhere Cs-Anteile in Bodenrasche bei Rostfeuerung
- Tendenz für Bilanzlücke vergleichbar

Abkürzung	Bedeutung
RF	Rostfeuerung
WS	Wirbelschichtfeuerung
ND	Niedrige Dotierung
HD	Hohe Dotierung

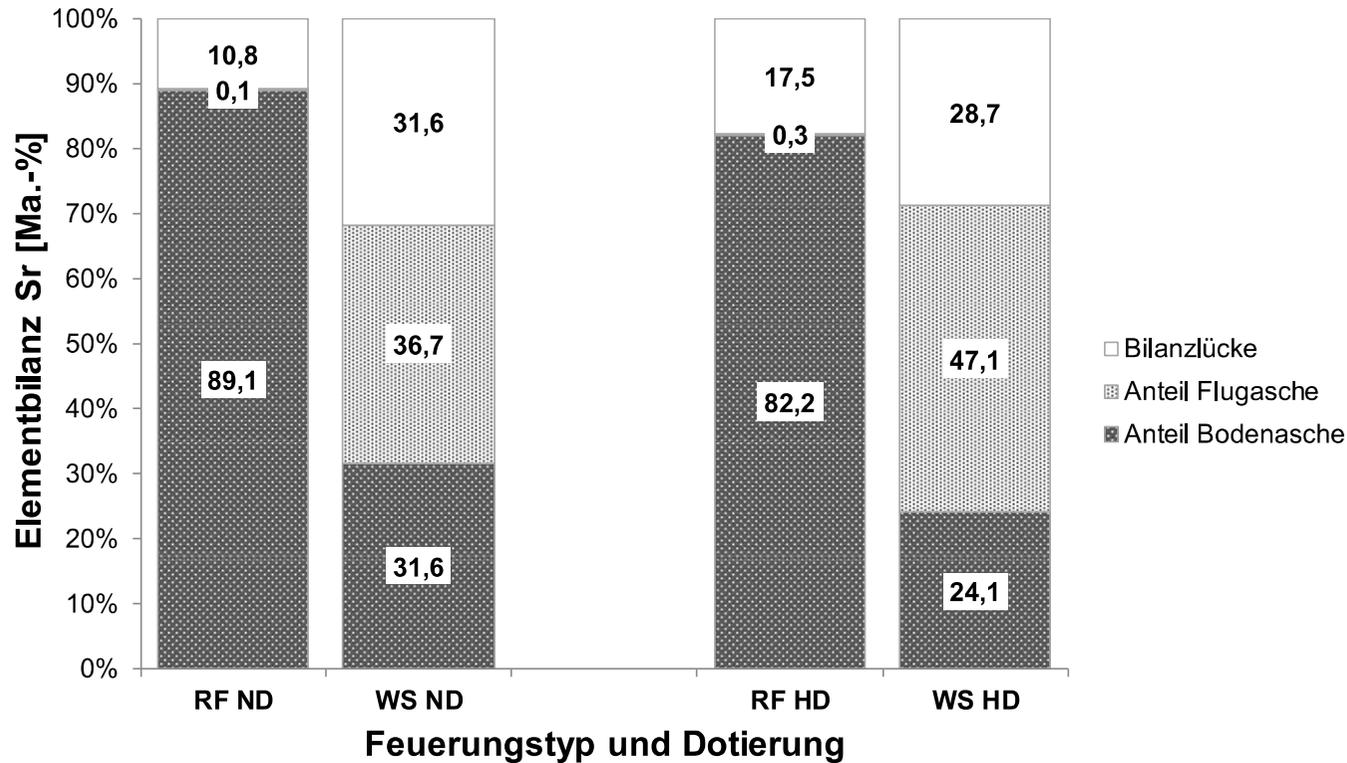
# Elementbilanz für Sr (Keine Literaturdaten verfügbar)



- Sr hauptsächlich in Flugasche enthalten
- Bilanzlücke für Sr aufgrund von Schwankungen in Brennstoff Sr vor Dotierung und Ablagerungen
- Weder Betttemperatur noch Dotierungsniveau haben einen signifikanten Einfluss auf Freisetzung

Abkürzung	Bedeutung
ND	Niedrige Dotierung
HD	Hohe Dotierung

# Elementbilanz für Sr und Vergleich mit Ergebnissen der Rostfeuerung

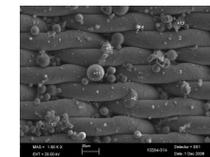


- In Wirbelschichtfeuerung wurde deutlich mehr Sr in Flugasche freigesetzt
- Deutet auf hauptsächlichen Transfermechanismus durch mitreißen von Partikeln im Abgasstrom hin

Abkürzung	Bedeutung
RF	Rostfeuerung
WS	Wirbelschichtfeuerung
ND	Niedrige Dotierung
HD	Hohe Dotierung

# Zusammenfassung und Ausblick

- **Die Wirbelschichtversuche zeigen für Cs:**
  - Hohe Anteile, die in die Flugasche übertragen werden (ca. 90 %)
  - Vergleich mit Ergebnissen der Rostfeuerung (ca. 40 %) legt zwei verschiedene Übertragungsmechanismen nahe:
    - Verdampfung von Cs-Komponenten (z. B. CsCl)
    - Mitreißen von Cs-haltigen Partikeln im Rauchgasstrom
- **Die Wirbelschichtversuche zeigen für Sr:**
  - Im Vergleich zu Cs wurden für Sr geringere Anteile in der Flugasche bestimmt (ca. 50 %)
  - Gegenüberstellung mit Ergebnissen der Rostfeuerung (unter 0.5 %) verdeutlicht hauptsächlichen Transfermechanismus:
    - Anteil durch Verdampfung von Sr aufgrund hoher Verdampfungstemperaturen der Spezies (ca. 1200°C) nur gering
    - Daher hauptsächliche Freisetzung aufgrund des Austrags von Primärpartikeln
- **Qualitative Analyse der Verbrennungsrückstände**
  - Bestimmung der mineralischen Zusammensetzung der Bettasche mittels Röntgendiffraktometrie (XRD)
  - Bestimmung der signifikanten Cs und Sr Spezies in Flugasche mittels Rasterelektronenmikroskopie mit energiedispersiver Röntenspektroskopie (REM-EDX)



# Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

**Fakultät Maschinenwesen**

Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik

M.Sc.

**Martin Dunker**

Telefon: +49351-463-32521 Besucheradresse:  
Telefax: +49351-463-37753 Walter-Pauer-Bau, Raum 301  
George-Bähr-Str. 3b  
01062 Dresden Deutschland

E-Mail: **[Martin.Dunker@tu-Dresden.de](mailto:Martin.Dunker@tu-Dresden.de)**  
<https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/ifvu/evt>



# Herzliche Einladung zum 54. Kraftwerkstechnischen Kolloquium in Dresden!

**International Congress Center Dresden**  
**18 - 19.10.2022**

## **Themenschwerpunkte:**

- Neubau- und Pilotprojekte in der Kraftwerkstechnik
- Prozesssimulation, Messtechnik und Digitalisierung
- Verbrennung und Dampferzeuger
- Integration regenerativer Energieträger
- Kernenergetische Systeme
- Netze
- Energiemaschinen
- Betrieb und Instandhaltung

