Hoval

izes gGmbH
Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme

Gefördert von
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Koordiniert von
PtJ Projektträger Jülich Forschungszentrum Jülich

Unterstützt von
DBFZ

03KB124 A+B EmiLy – Emissionsminderungen durch Primärmaßnahmen

Reduzierung der Staubemissionen durch den Einsatz von Luftstufung und Abgasrezirkulation

8. Statuskonferenz des BMWi-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“
Leipzig, 18. September 2019

EmiLy – Emissionsarmer Pelletkessel

Weiterentwicklung und Erprobung eines für alle Pelletqualitäten geeigneten 150 kW_{th} Biomassekessels als saubere und nachhaltige Alternative für den Wärmemarkt

Projektpartner

- **Hoval GmbH**
  Humboldtstr. 30, 85609 Aschheim-Dornach

  Projektleitung; Entwicklung, Aufbau und Betrieb der Versuchsbrennkammer & -kessel;

- **IZES gGmbH**
  Altenkesselstr. 17, Geb. A1, 66115 Saarbrücken

  Messtechnische und wissenschaftliche Begleitung; Ökologische und ökonomische Bewertung des Vorhabens

Projektdaten:

- FKZ: 03KB124 A+B
- Laufzeit: 01. Juli 2017 – 30. April 2020
- (Weiter-) Entwicklung und Validierung eines Pelletkessels
- Einsatz / Untersuchung von Primärmaßnahmen zur Emissionsminderung
- Brennstoffbandbreite: A1, A2, I1 (ohne Staubabscheider); B, I2, I3 (mit Staubabscheider), (nach EN- ISO 17225-2); nicht holzartige Brennstoffe, (nach EN-ISO 17225-6)
- **Einsatzmöglichkeiten**
- Substitution alter Ölheizungen
- Kompakte Doppelkesselsysteme

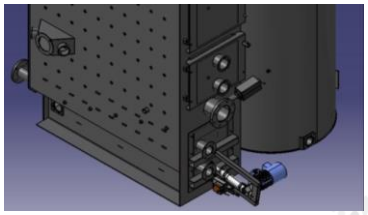
EmiLy – Emissionsarmer Pelletkessel

Projektablauf

- **Seriennaher Versuchskessel**
- Weiterentwicklung der Wärmeübertrager → Bessere Effizienz, niedrigere Abgastemperatur
- Optimierung der Heizflächenreinigung → Vereinfachung der Wartung, kompaktere Aufstellmöglichkeiten
- Integration eines zusätzlichen Kesselzugs → Platz für sekundäre Emissionsminderungsmaßnahmen bei problematischen Brennstoffen, Brennwertnutzung
- **Versuchsbrennkammer (Labor-Prototyp)**
- Stufenrostfeuerung, Abgasrückführung, variable Position der Sekundärluftzuführung
- Ausgestattet mit umfangreicher Messtechnik
- Untersuchung der Beeinflussung der Staub- und NO_X-Emissionen durch Variation von Luftstufung und Abgasrückführung

- **Verschmelzung von Versuchsbrennkammer und –Kessel zum „EmiLy-Kessel"**

Versuchskesselanlage (Quelle: HOVAL)



Versuchsbrennkammer (Quelle: HOVAL)

Einsatz von Primärmaßnahmen zur Emissionsminderung

Primärmaßnahmen allgemein

Primärmaßnahmen:

Maßnahmen, die die Verbrennung beeinflussen bzw. der Entstehung von Emissionen entgegenwirken.

Beispiele:

CO

→ 3-T (Temperature, Time, Turbulence)

→ CO- || CO/λ-Regelung

NOx

→ Luft- & Brennstoffstufung

→ Abgasrückführung

→ Reduktionszonen

Staub

→ Luftstufung, Regelung von λ-Primär

→ Abgasrückführung

Vorteile:

→ Kostengünstig (verglichen mit Sekundärmaßnahmen)

→ Platzsparend / gut integrierbar

→ Mit Sekundärmaßnahmen kombinierbar

Nachteile

→ Schwer nachrüstbar

→ Begrenzte Wirksamkeit

→ Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Maßnahmen

→ Noch F&E notwendig

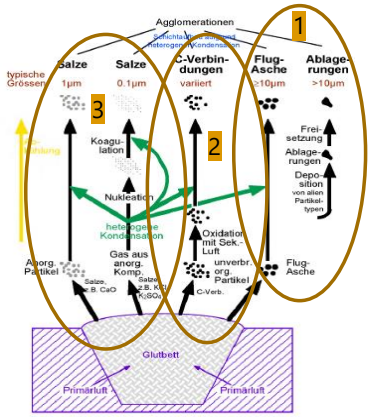
Einsatz von Primärmaßnahmen zur Emissionsminderung

Reduzierung der Staubemissionen

Bildung von Staub:

1. **Mitreißen von Partikel aus Glutbett und Kessel (geringe Relevanz)**
2. **Aerosol aus unvollständiger Verbrennung (geringe Relevanz)**
3. **Aerosol aus vollständiger Verbrennung (hohe Relevanz)**

- anorganische Bestandteile des Brennstoffs (**K**, **Ca**, Na, Cl, S, … Pb, Zn, …)
- Entstehung von leichtflüchtigen, oxidischen Verbindungen im Beisein von O_2
- Verdampfung → Kondensation → Nukleation → Koagulation



Quelle: Oser M., Nussbaumer T., „Low-Particle-Feuerung" Schlussbericht, 2004

Gegenmaßnahmen für 3.

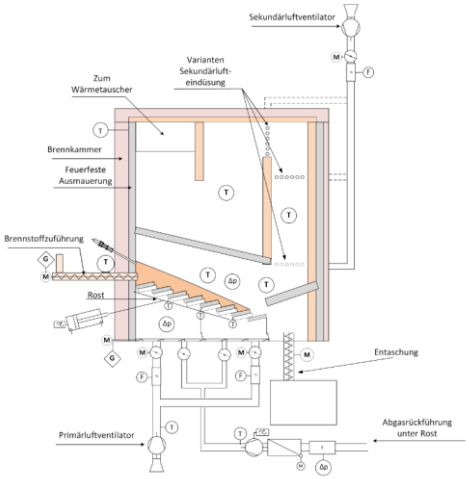
Verringerung der Sauerstoffmenge in Primärzone / Glutbett

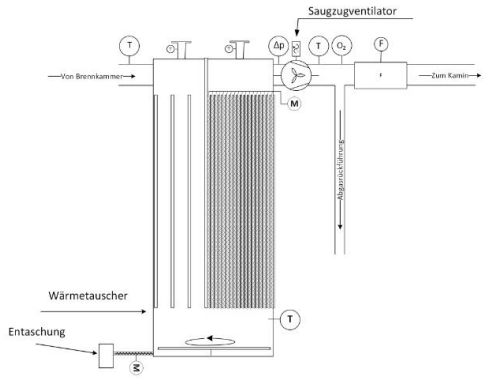
- **Konstruktiv**
- Ausgeprägte Luftstufung / getrennte Verbrennungszonen
- Gleichmäßige Durchströmung des Glutbetts
- Gute Vermischung von Luft und Brenngasen
- Abgasrezirkulation unter den Rost

- **Mess- & Regelungstechnik**
- Luftüberschuss in Primärzone/Glutbett
- Luftüberschuss gesamt

Messtechnik, Anlagentechnik und Versuchsdurchführung

Schematische Darstellung der Versuchsbrennkammer

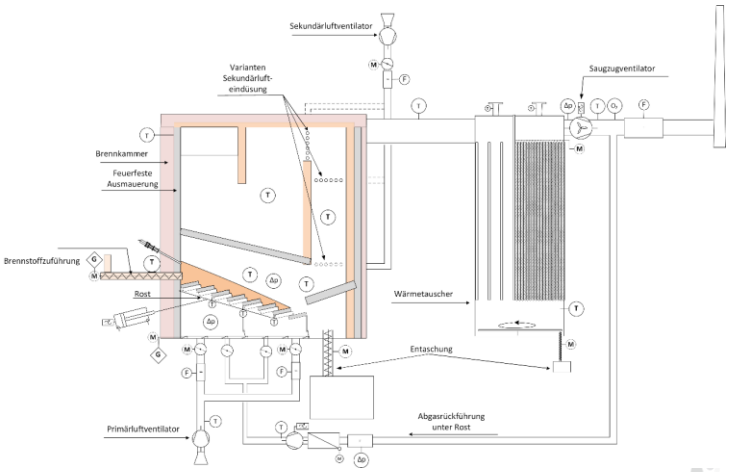




Messtechnik, Anlagentechnik und Versuchsdurchführung

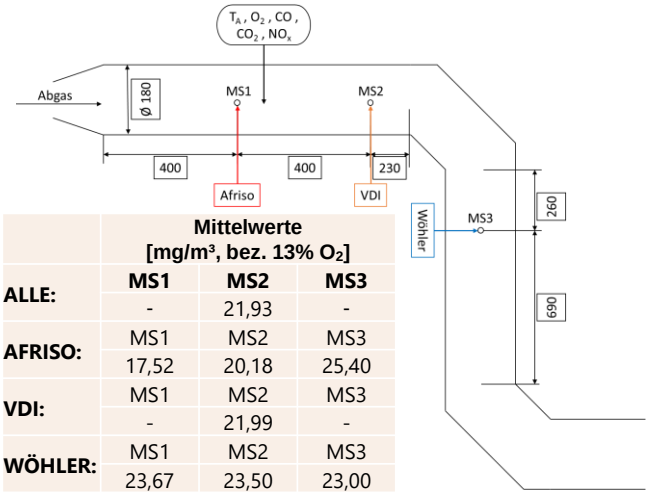
Messtechnik der Versuchsbrennkammer

Temperaturen
Druck / Differenzdruck
Volumen / Massenstrom
λ-Sonde
Abgasparameter
→ O_2, CO, CO_2, NO_X, C_XH_Y
→ Temperatur
→ Staub
Umgebungsbedingungen
→ Temperatur, Druck, Luftfeuchte
Sonstiges
→ Klappenstellungen, Gebläse-Drehzahlen, Brennstoffmenge, Rostbewegung, thermische & elektrische Leistung



Messtechnik, Anlagentechnik und Versuchsdurchführung

Messung der Staubemissionen / Eigenschaften der Messstellen



	Mittelwerte [mg/m³, bez. 13% O_2]		
	MS1	**MS2**	**MS3**
ALLE:	-	21,93	-
	MS1	MS2	MS3
AFRISO:	17,52	20,18	25,40
	MS1	MS2	MS3
VDI:	-	21,99	-
	MS1	MS2	MS3
WÖHLER:	23,67	23,50	23,00

Aufnahme von Strömungs-& Temperaturprofilen
→ MS1 & MS2 unkritisch,
→ MS3 T-Max und v-Max zur Rohrwand verschoben

Ergebnisse der Staubmessung mit A1 Pellets (erste Messung an Versuchsbrennkammer)
→ Reproduzierbare, vergleichbare Ergebnisse
→ Messwertbandbreite beim „Afriso" am größten, Wöhler am kleinsten
→ Mehrere aufeinanderfolgende Messungen durchführbar
→ Staubemissionen auch über mehrere Tage konstant

Messtechnik, Anlagentechnik und Versuchsdurchführung

Messung der Staubemissionen

Verfügbare Messgeräte /-Methoden

- **Messapparatur nach VDI 2066**
  - → Außenliegende Planfilter
  - → Vor- und Nachbereitung der Planfilter notwendig
  - → Auswiegen der Staubmasse mit Feinwaage
  - → Sehr aufwändig / Referenzverfahren
- **Afriso STMG-40**
  - → Filterhülsen
  - → Vor- und Nachbereitung der Filterhülsen notwendig
  - → Auswiegen der Staubmasse mit Feinwaage
  - → Aufwändig / Bewehrt
- **Wöhler SM-500**
  - → Onlineverfahren
  - → Filterhülse / Direktgravimetrisch
  - → Geringer Aufwand / Schornsteinfegermessung

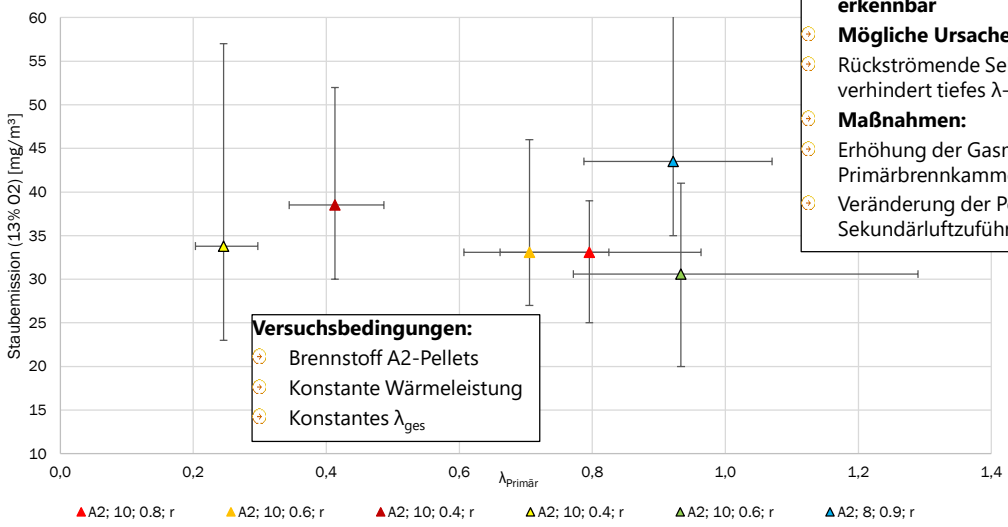
Auswahl der Messmethode

- **Vergleich der Messgeräte**
- „VDI" und „Wöhler" zeigen gute Übereinstimmung
- „Afriso" tendenziell ähnliche Werte / grobe Auflösung

Festlegung der Messmethode

1. **Aufnahme der „Nulllinie" mit allen drei Messverfahren bei gleichen Bedingungen**
2. **Versuchsreihen mit „Wöhler" / zyklische Überprüfung der Ergebnisse mit „Afriso"**
   - → 10 Messungen bei jeder λ-Primär-Einstellung
   - → Automatisierte Auswertung der Messungen
3. **Abschlussmessung: Validierung der Ergebnisse mit allen drei Messverfahren bei gleichen Bedingungen**

Einfluss von λ-Primär auf die Staubemissionen ohne Abgasrezirkulation

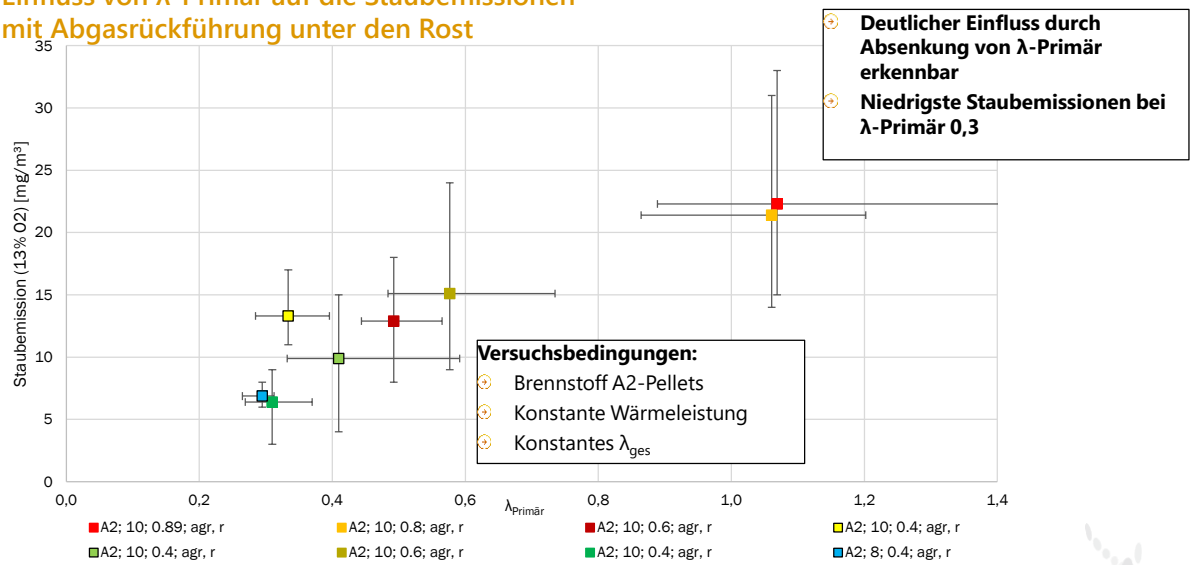


Versuchsbedingungen:

- Brennstoff A2-Pellets
- Konstante Wärmeleistung
- Konstantes λ_{ges}

- **Keine Verringerung der Staubemissionen durch Absenkung von λ-Primär erkennbar**
- **Mögliche Ursachen:**
- Rückströmende Sekundärluft verhindert tiefes λ-Primär
- **Maßnahmen:**
- Erhöhung der Gasmenge in Primärbrennkammer
- Veränderung der Position der Sekundärluftzuführung

Einfluss von λ-Primär auf die Staubemissionen mit Abgasrückführung unter den Rost



Einfluss von λ-Primär auf die Staubemissionen mit Abgasrückführung unter den Rost

Ergebnisse der Abschlussstaubmessung

Messung	Afriso* [mg/m³] 13% O2	VDI ohne Spülung [mg/m³] 13% O2	Wöhler [mg/m³] 13% O2	Afriso* [mg/m³] 10% O2	VDI ohne Spülung [mg/m³] 10% O2	Wöhler [mg/m³] 10% O2	NOx [mg/m³] 13% O_2	NOx [mg/m³] 10% O_2	CO [mg/m³] 13% O_2	CO [mg/m³] 10% O_2
1.1	10,3	11,3	8	14,2	15,5	11,0	140,6	193,3	25,3	34,8
1.2	15,5	5,3	6	21,3	7,2	8,3	143,1	196,8	18,9	26,0
1.3	2,6	4,1	6	3,6	5,6	8,3	147,0	202,1	13,7	18,8
1.4	7,8	4,1	7	10,7	5,7	9,6	149,0	204,9	13,8	19,0
1.5	5,2	7,1	7	7,2	9,8	9,6	145,4	199,9	15,1	20,8
1.6	0	6,1	7	0,0	8,4	9,6	145,0	199,4	13,7	18,8
1.7	0	5,2	8	0,0	7,2	11,0	148,7	204,5	12,1	16,6
1.8	13	4,9	7	17,9	6,7	9,6	148,9	204,7	13,1	18,0
2.1	** & ***	60,1	66	** & ***	82,7	90,8	**	**	*	*
2.2	66,9	43,1	58	92,0	59,2	79,8	105,0	144,4	232,9	320,2
2.3	57,7	33,6	42	79,3	46,2	57,8	100,8	138,6	109,4	150,4
2.4	60,1	38,5	38	82,6	52,9	52,3	102,9	141,5	111,6	153,5
2.5	41,9	****	38	57,6	****	52,3	104,9	144,2	62,8	86,4
2.6	37,2	32,5	35	51,2	44,6	48,1	87,8	120,7	41,0	56,4
2.7	42,3	33,0	35	58,2	45,4	48,1	104,2	143,3	64,8	89,1
2.8	40,5	29,2	36	55,7		49,5	104,3	143,4	45,7	62,8
Grenzwerte	BImSchV 0,020 g/m³, 13 % O_2			Ökodesign 40 mg/m³, 10 % O2			Ökodesign 200 mg/m³, 10% O_2		Ökodesign 500mg/m³, 10% O_2 BimSchV 0,4 g/m³, 13% O_2	

Überschreitung Grenzwert nach Ökodesign-Richtlinie

*Mittleres Absaugvolumen: 276,57m³/h

**Fehler: Abgasmessung, Tagesmittelwert für O2 verwendet

***Fehler: Filterhülse verklebt und beschädigt

****Fehler: zu Hoher Druckverlust über Filter

Einfluss von λ-Primär auf die Staubemissionen mit Abgasrückführung unter den Rost

Tagesmittelwerte

	Afriso [mg/m³] 13% O2	VDI [mg/m³] 13% O2	Wöhler [mg/m³] 13% O2	Afriso [mg/m³] 10% O2	VDI [mg/m³] 10% O2	Wöhler [mg/m³] 10% O2	NOx [mg/m³] 13% O_2	NOx [mg/m³] 10% O_2	CO [mg/m³] 13% O_2	CO [mg/m³] 10% O_2
Stauboptimiert	6,8	6,0	7,0	9,4	8,3	9,6	146,0	200,7	15,7	21,6
Normal	49,5	38,6	43,5	68,1	55,2	59,8	101,4	139,4	95,5	131,3

Brennstoffanalyse								
A2-Pellets	**Trockenmasse [Ma-%, ar]**	**Aschegehalt [Ma-%, wf]**		**Stickstoff gesamt [Ma-%, TM]**	**Kalium [mg/kg, TM]**	**Natrium [mg/kg, TM]**	**Blei [mg/kg, TM]**	**Zink [mg/kg, TM]**
		550°C	**815°C**					
Stauboptimiert	92,9	0,69	0,52	0,15	427	52,7	<0,5	17,9
Normal	93,3	0,73	0,55	0,16	382	48,0	<0,5	16,3

ar - Anlieferungszustand wf - wasserfreier Zustand TM - Trockenmasse

Einfluss von λ-Primär auf die Staubemissionen mit Abgasrückführung unter den Rost

Fazit & Ausblick

Fazit:

- **Staubminderung mit Primärmaßnahmen wirksam und nachweisbar**
- **Im Mittel 85% weniger Staubemissionen (im Vergleich zum nicht optimierten Betrieb)**
- **Zielkonflikt: NO_X-Emissionen im stauboptimierten Betrieb**

Ausblick:

- **Primärmaßnahmen zur Reduzierung der NO_X-Emissionen**
- **Verschmelzung von Versuchsbrennkammer und Versuchskessel**
- Kombination verschiedener Primärmaßnahmen
- Kombination mit sekundären Emissionsminderungsmaßnahmen
- Staubemissionen ohne AGR, weiterer Untersuchungen

Hoval

izes gGmbH
Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme

Gefördert von
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Koordiniert von
PtJ Projektträger Jülich Forschungszentrum Jülich

Unterstützt von
DBFZ

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt

IZES gGmbH

AnsprechpartnerIn: **Stephan Schulte**

E-Mail: schulte@izes.de

Telefonnr.: +49 681 844 972 11

Webseite: www.izes.de

Anschrift: IZES gGmbH
Altenkesseler Str. 17, Geb. A1
66115 Saarbrücken

izes gGmbH
Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme