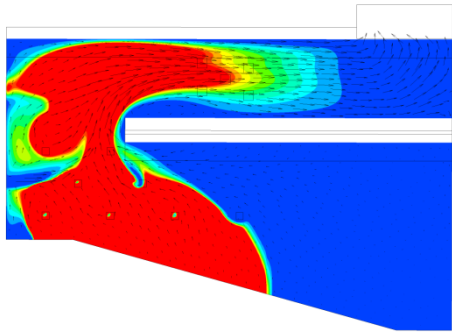


Strömungsoptimierung einer Vorschubrostfeuerung mit CFD und PIV

Martin Kiener

Thomas Nussbaumer

Hochschule Luzern – Technik & Architektur



1. Einleitung
2. Zielsetzung
3. Strömungsoptimierung mit CFD
4. Vergleich mit PIV
5. Experimente
6. Schlussfolgerungen

Vorschubrostfeuerungen für Biomasse



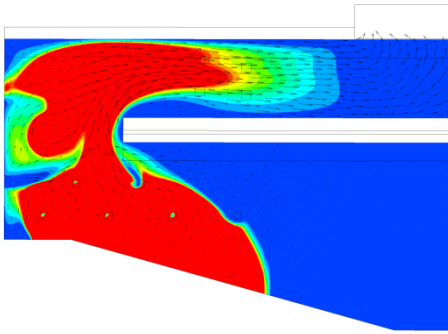
0.5 MW – 25 MW

Wassergehalt w : 10% – 60%

Aschegehalt a : 0% – 10%

Einschränkungen im Praxisbetrieb

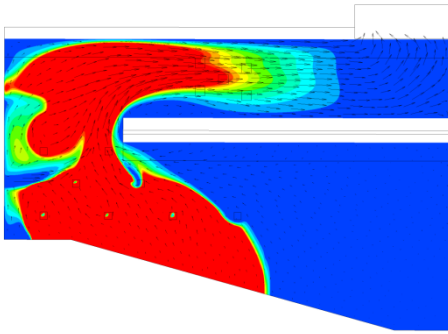
- Teillast: Oft erhöhte CO-Emissionen, Grund: Mischung, Temperatur, andere?
- Minimalleistung für stationären Betrieb
- Taktbetrieb bei Wärmebedarf $< 40\%$
- Elektroabscheider AUS oder Bypass
- Erhöhte Staubemissionen



1. Einleitung
2. Zielsetzung
3. Strömungsoptimierung mit CFD
4. Vergleich mit PIV
5. Experimente
6. Schlussfolgerungen

Zielsetzung

- Strömungstechnische Massnahmen zur Optimierung der Verbrennung
- Dadurch Möglichkeit zur Ausdehnung des stationären Teillastbetriebs bis zu 30% Last
- Betrieb bei tiefem Luftüberschuss und hohem Wirkungsgrad

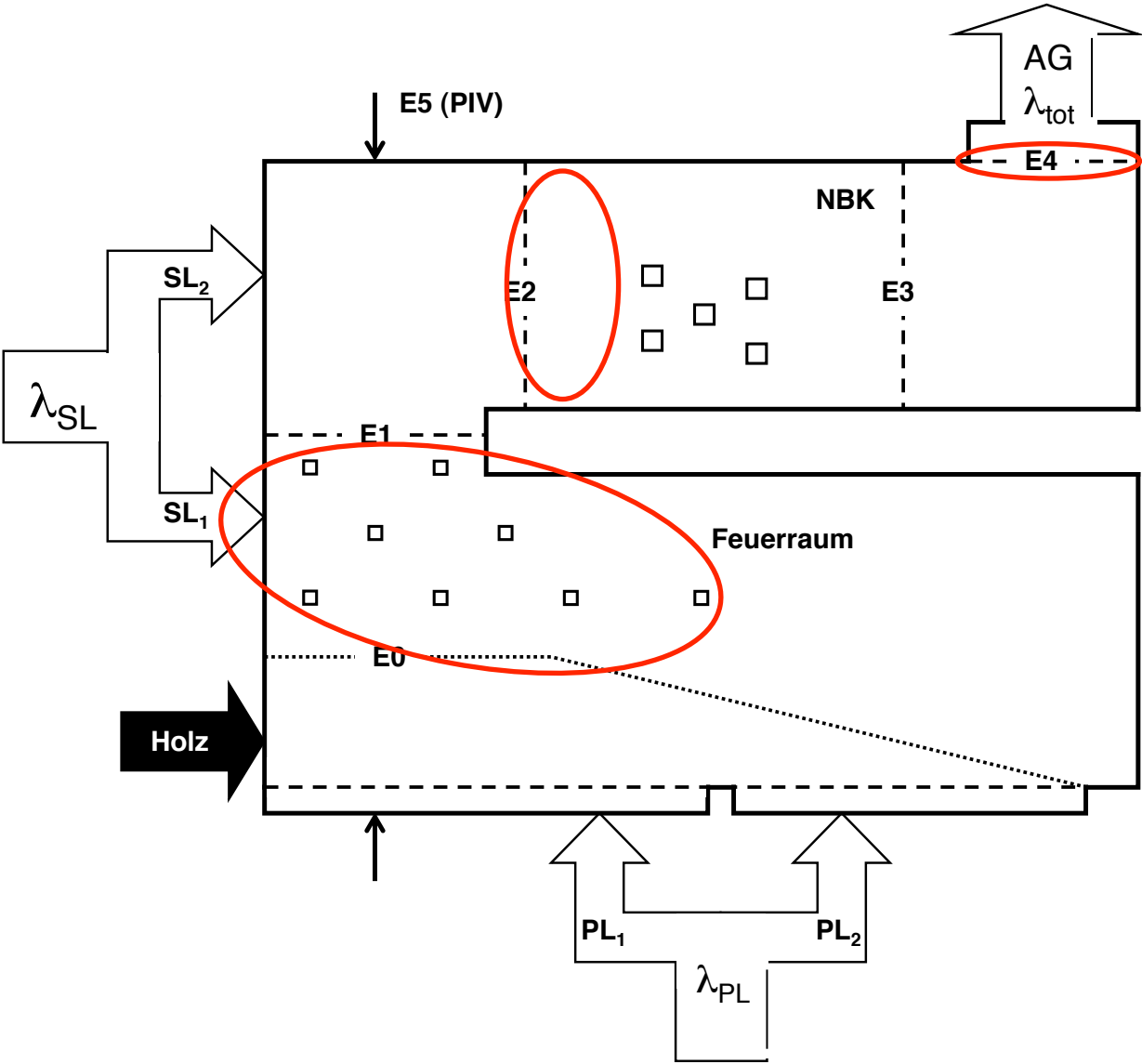


1. Einleitung
2. Zielsetzung
- ➔ 3. Strömungsoptimierung mit CFD
4. Vergleich mit PIV
5. Experimente
6. Schlussfolgerungen

Randbedingungen für Computational Fluid Dynamics (CFD)

Parameter	Wert	Einheit
Feuerungswärmeleistung	1412	[kW]
Kesselwirkungsgrad	85	[%]
Luftüberschuss der Primärluft λ_{PL}	0.72	[-]
Luftüberschuss der 1. Sekundärluft λ_{SL1}	0.86	[-]
Luftüberschuss der 2. Sekundärluft λ_{SL2}	0.22	[-]
Luftüberschuss $\lambda_{tot} = \lambda_{PL} + \lambda_{SL1} + \lambda_{SL2}$	1.8	[-]
Wassergehalt der Holzschnitzel w	50	[%]
Temperatur Primär- und Sekundärluft	80	[°C]

Auswertung



Resultate CFD: 1. Vollast/Teillast

Obwohl $Re(\text{Teillast}) < Re(\text{Vollast})$

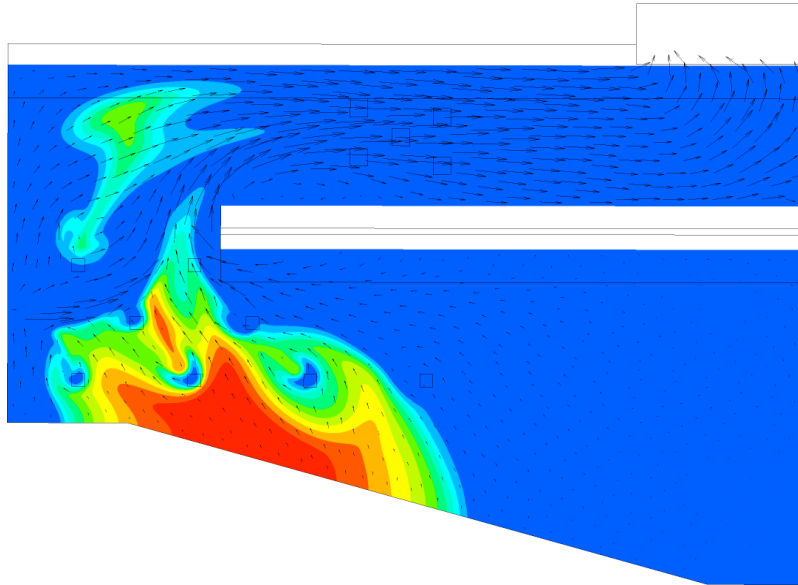
gilt: $CO(\text{Teillast}) < CO(\text{Vollast})$

aber nur bei identischen Randbedingungen

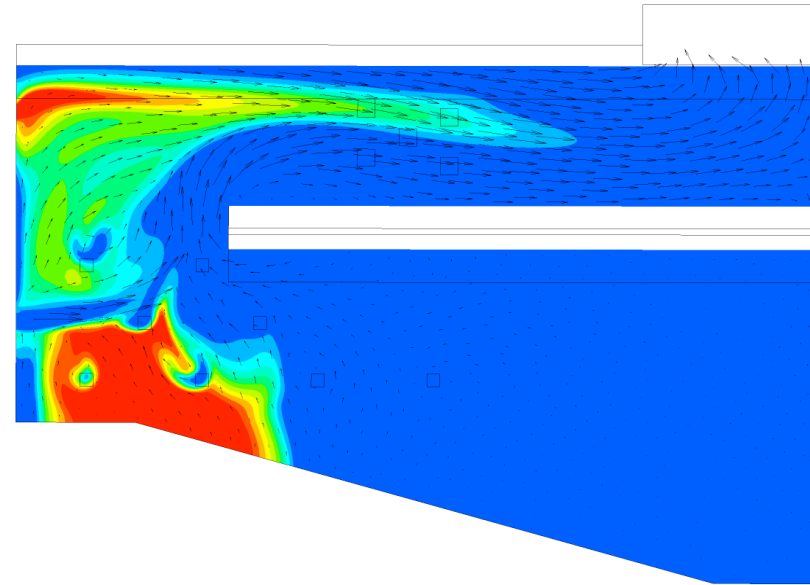
(Temperatur, Luftverhältnisse, Rostbedeckung)

Resultate CFD: 2. Rostbedeckung

Referenzfall



Rost bedeckt



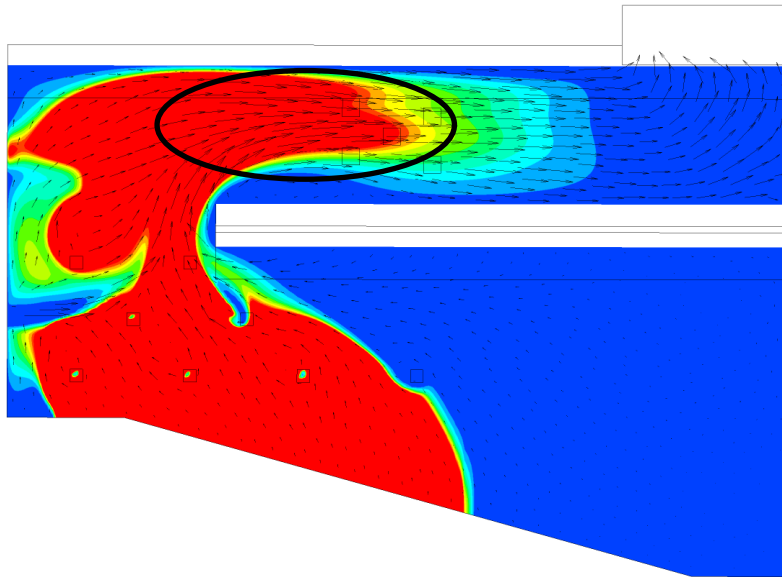
Zweite Rosthälfte
unbedeckt

[Kiener & Nussbaumer, 20th European Biomass
Conference, Milano 2012]

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

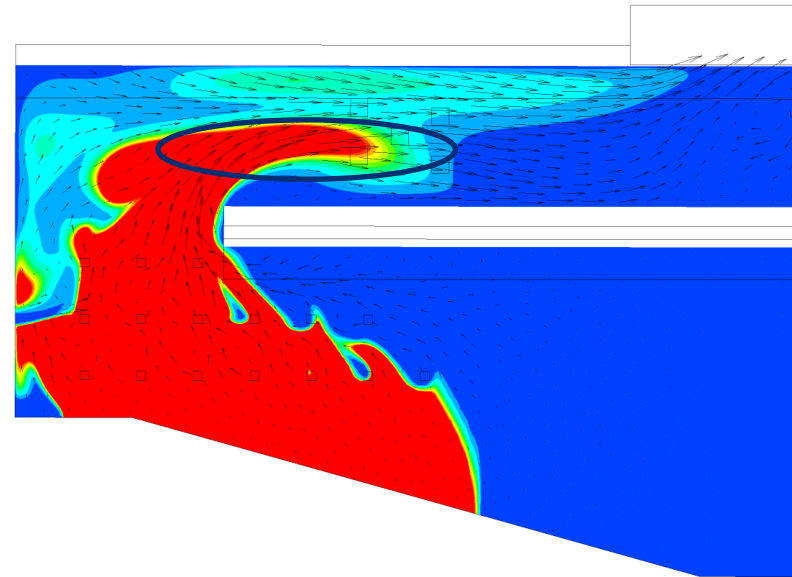
Resultate CFD: 3. Sekundärlufteindüsung

Referenzfall



$N = 1$
 $A = 1$
 $\Delta p = 100\%$
 $CO_{E4} = 100\%$

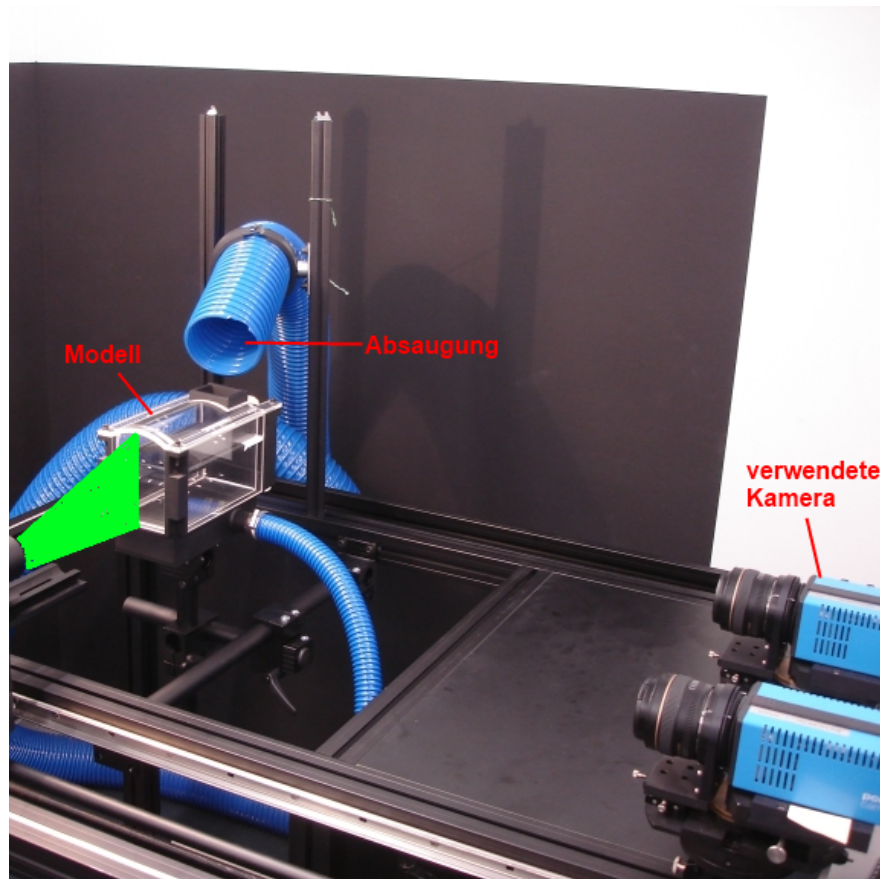
Fall SL-8



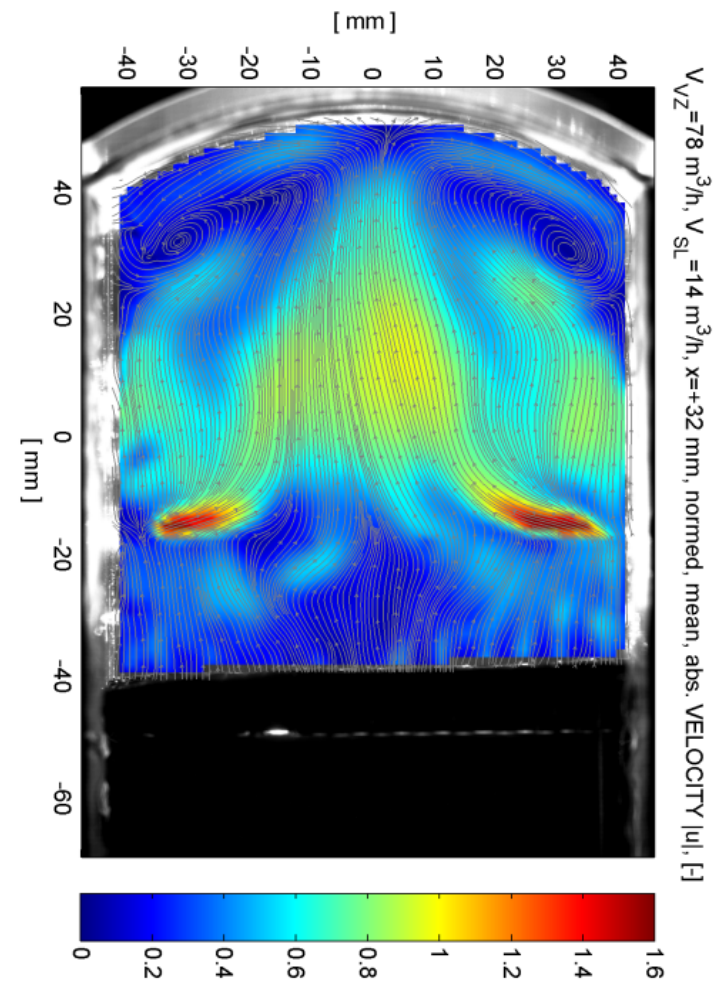
$N = 2$
 $A = 1$
 $\Delta p = 97\%$
 $CO_{E4} = 42\%$

Particle Image Velocimetry (PIV)

Messaufbau



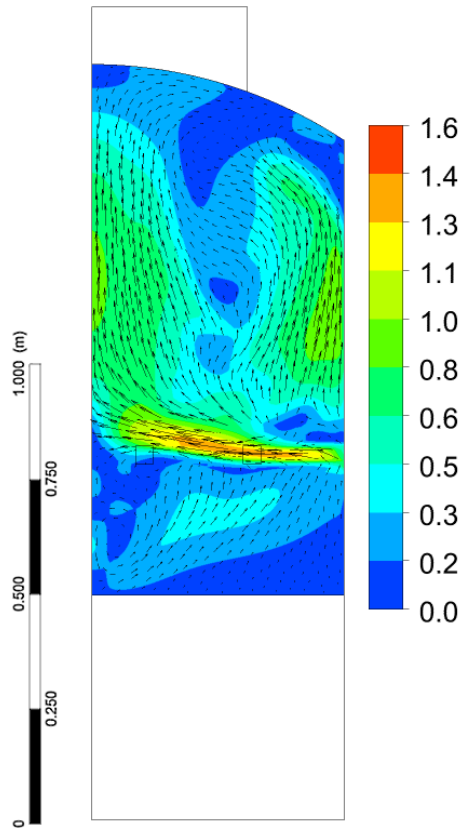
Gemessene
Geschwindigkeitsverteilung



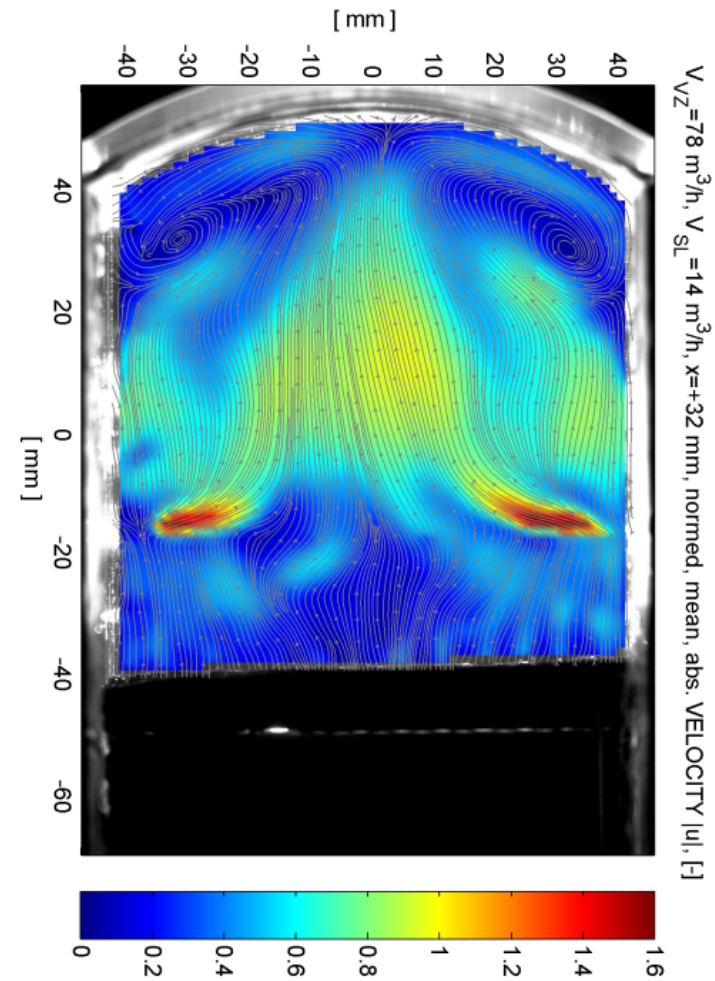
Vergleich CFD und PIV

CFD

normed, mean, abs. VELOCITY |u|, [-]



PIV



Auswahl der Fälle für Experimente

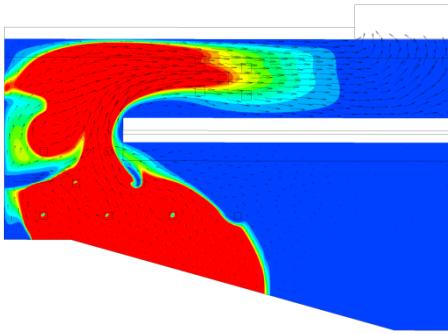
1. Sekundärlufteindüsung

Fall	EXP	$N_{SL1, norm}$	$A_{SL1, norm}$	CO-E4 [% Ref]	ME-E4 [% Ref]	Δp ZL [% Ref]
SL-1		1	0.125	0.1	99	6630
SL-2			0.25	2	100	1647
SL-3	+		0.5	21	101	405
Ref	+		1	100	100	100
SL-4			2	252	96	23
SL-5		2	0.125	0.1	92	6464
SL-6			0.25	0.1	100	1683
SL-7			0.5	3	98	405
SL-8	+		1	42	97	97
SL-9			2	199	95	23
SL-10	+	1.5	0.75			

Auswahl der Fälle für Experimente

2. Einbauten

Fall	EXP	Variation	CO-E4 [% Ref]	ME-E4 [% Ref]	Δp ZL [% Ref]
Ref	+	keine	100	100	100
EB-1		Schmale Umlenkung	26	105	138
EB-2	+	Einbau Mitte	27	103	132
EB-3		Einbau nach SL_2	106	99	103
EB-4	+	Einbau Seite	20	106	141
EB-5		Asym. Einbau in NBK	57	103	137
EB-6		Einschnürung in E1	38	104	113
EB-7		Nase vor Umlenkung	126	98	97
EB-8	+	Einbau Decke	11	104	222



1. Einleitung
2. Zielsetzung
3. Strömungsoptimierung mit CFD
4. Vergleich mit PIV
5. Experimente
6. Schlussfolgerungen



1.2 MW Vorschubrostfeuerung



Betrieb mit gut bedecktem Rost



Last \approx 20%

Messungen

Kontinuierliche Messgrößen:

- O₂ (paramagnetisch)
- CO₂ (NDIR)
- CO (NDIR)
- Abgasvolumenstrom (Δp mit Staurohr)
- Zuluftvolumenströme PL₁, PL₂, SL₁, SL₂ (Hitzdrahtanemometer)
- Temperaturen:
 - Abgas (Thermoelement)
 - Nachbrennkammer (PT100 in Keramikrohr)

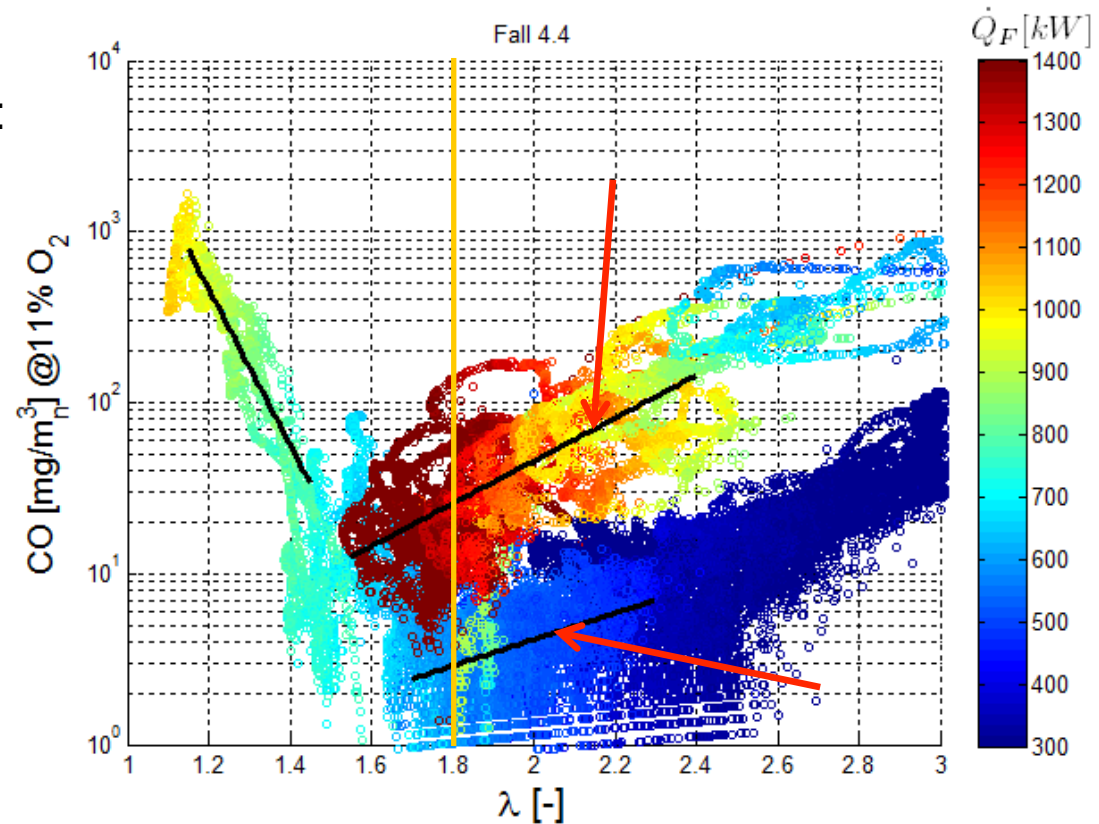
Daraus abgeleitete Größen:

- Luftüberschuss λ_{tot}
- Feuerungswärmeleistung

Auswertung

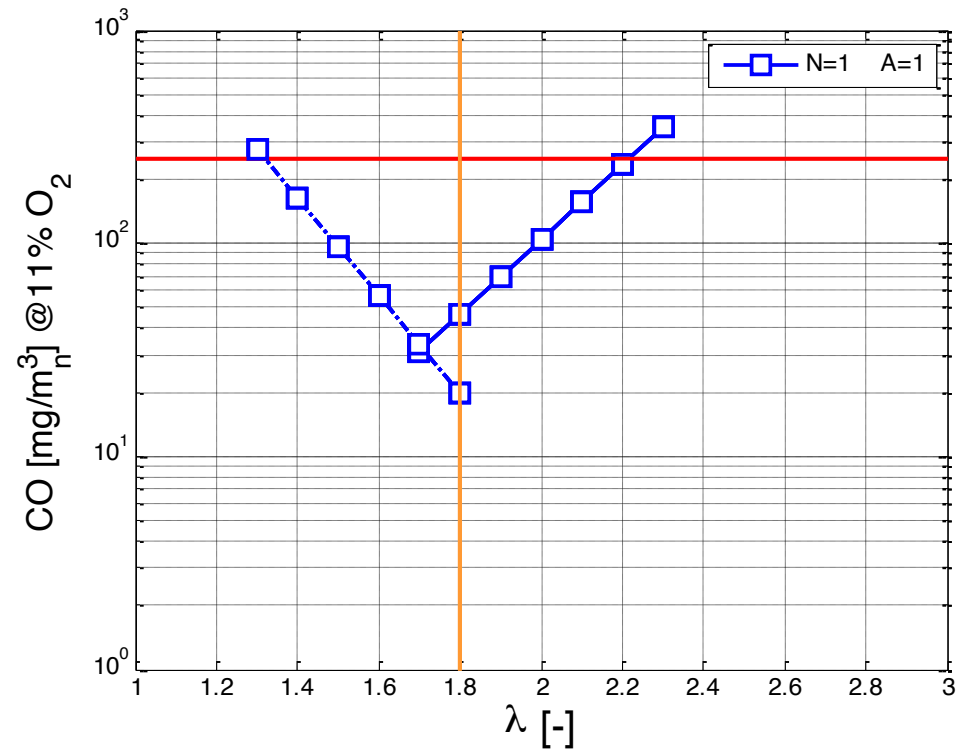
Vorgehen:

- Stationäre Phasen mit vergleichbaren Bedingungen:
 - PL/PL_{Ref}
 - PL/SL₁
 - SL₁/SL₂
- Vergleich der Fälle für Teillast und Vollast :
 1. CO/Lambda-Diagramme werden logarithmisch approximiert
 2. CO-Wert bei $\lambda_{\text{tot}} = 1.8$ als Vergleichswert



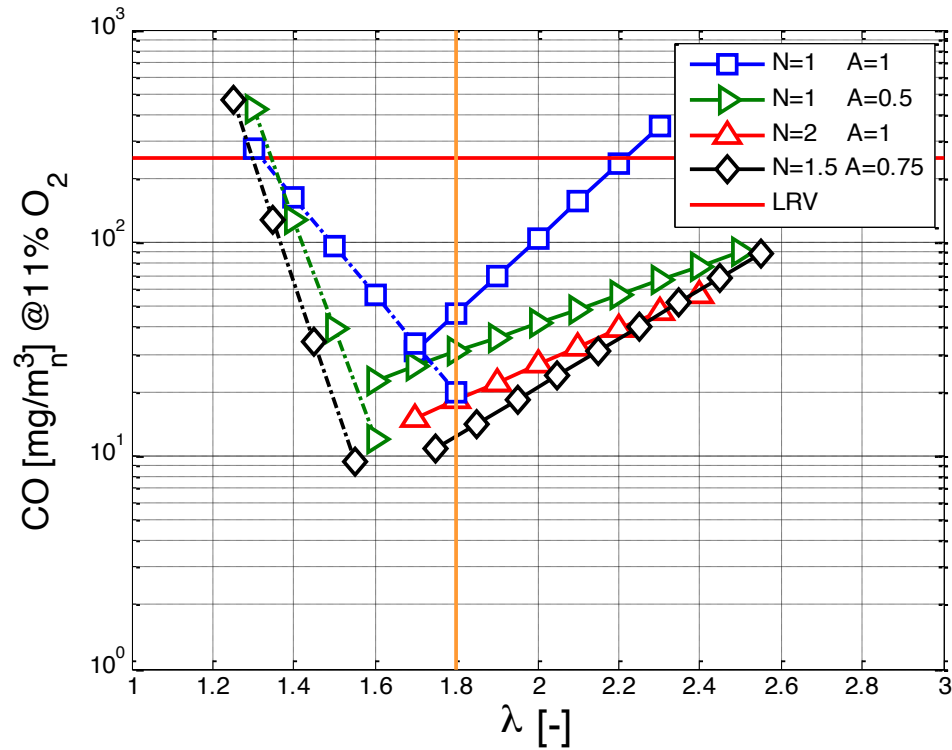
1. Einfluss Sekundärlufteindüsung

Vollast

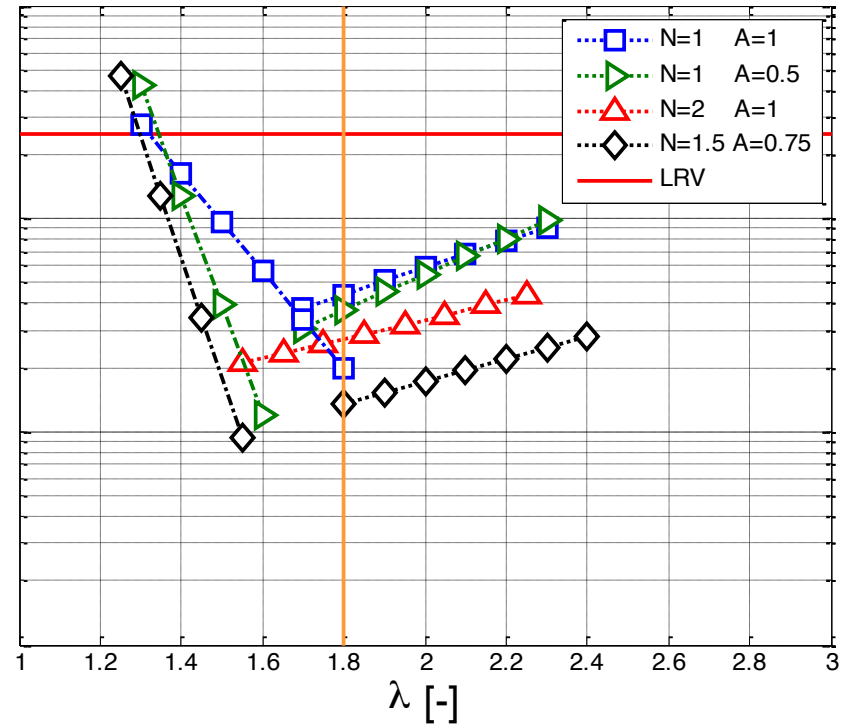


1. Einfluss Sekundärlufteindüsung

Vollast

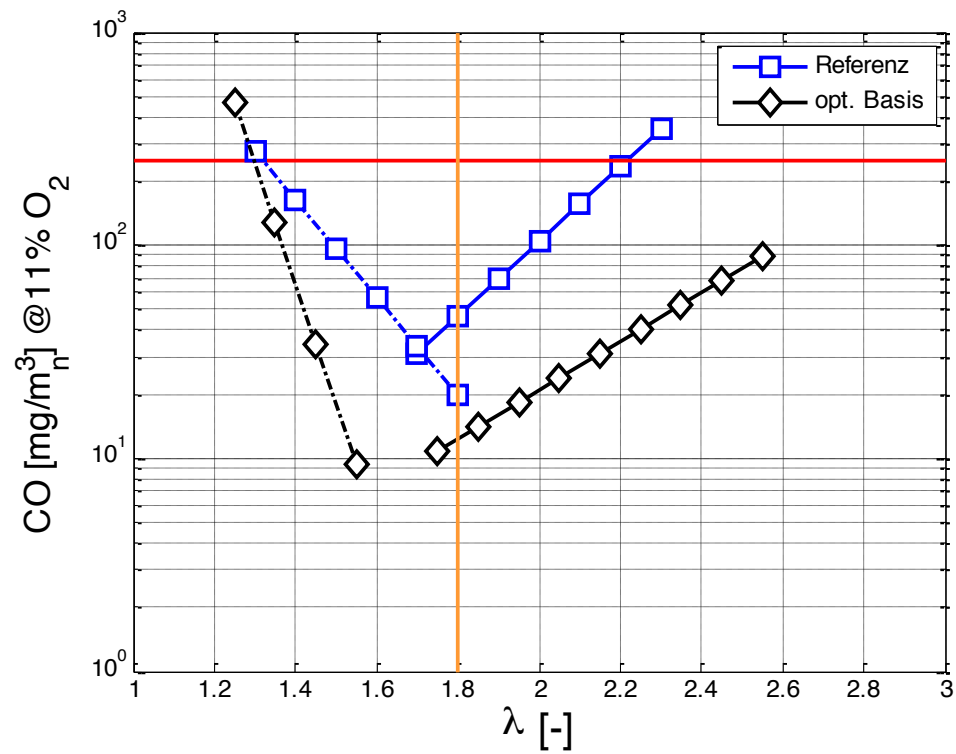


Teillast



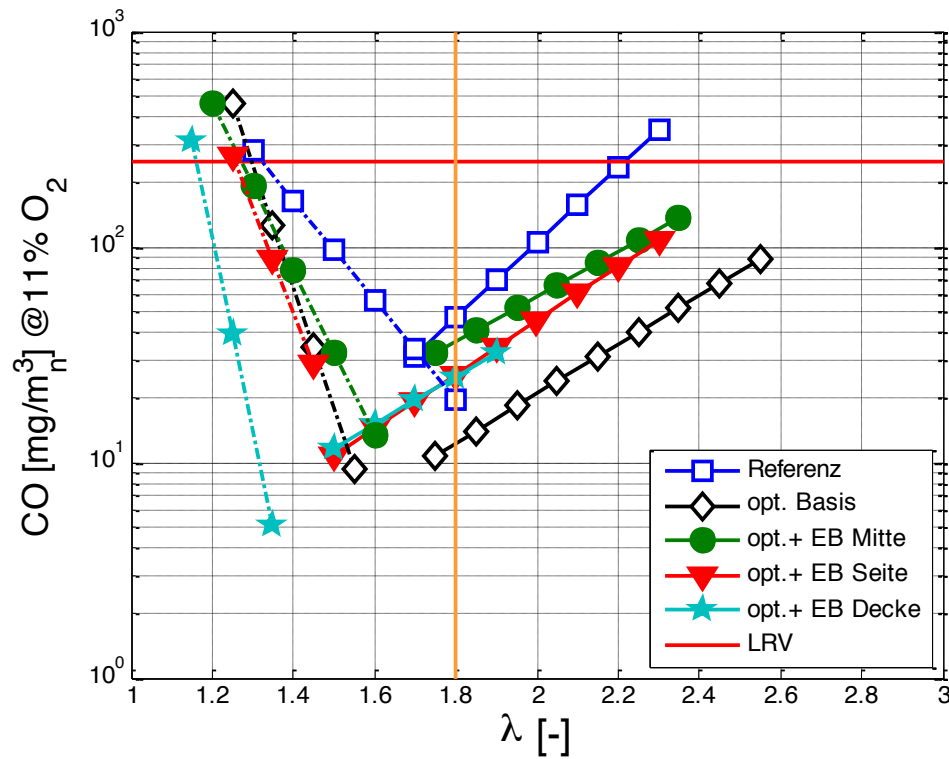
2. Einfluss Einbauten

Vollast

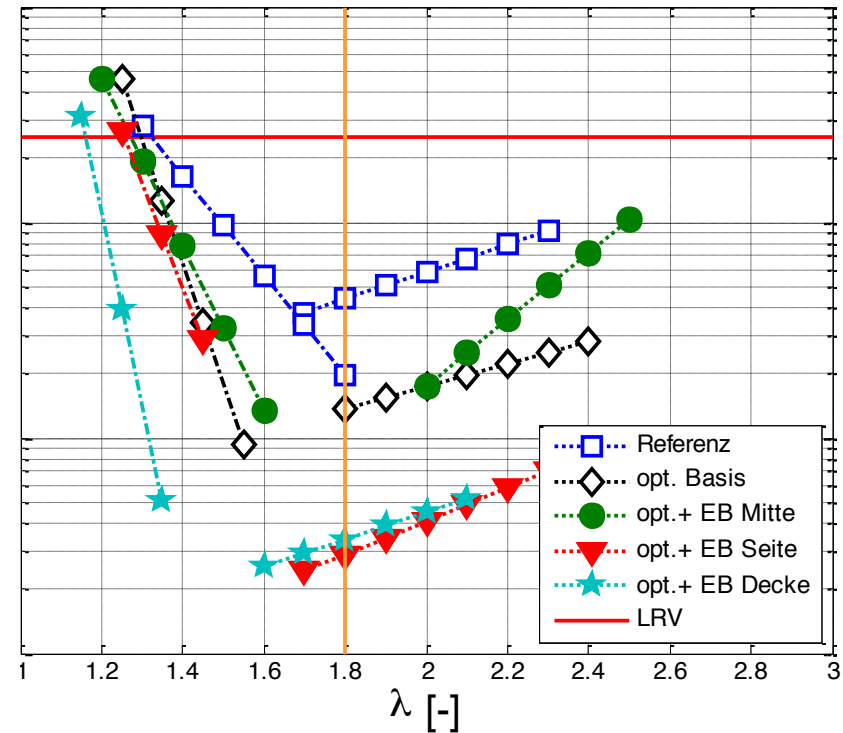


2. Einfluss Einbauten

Vollast

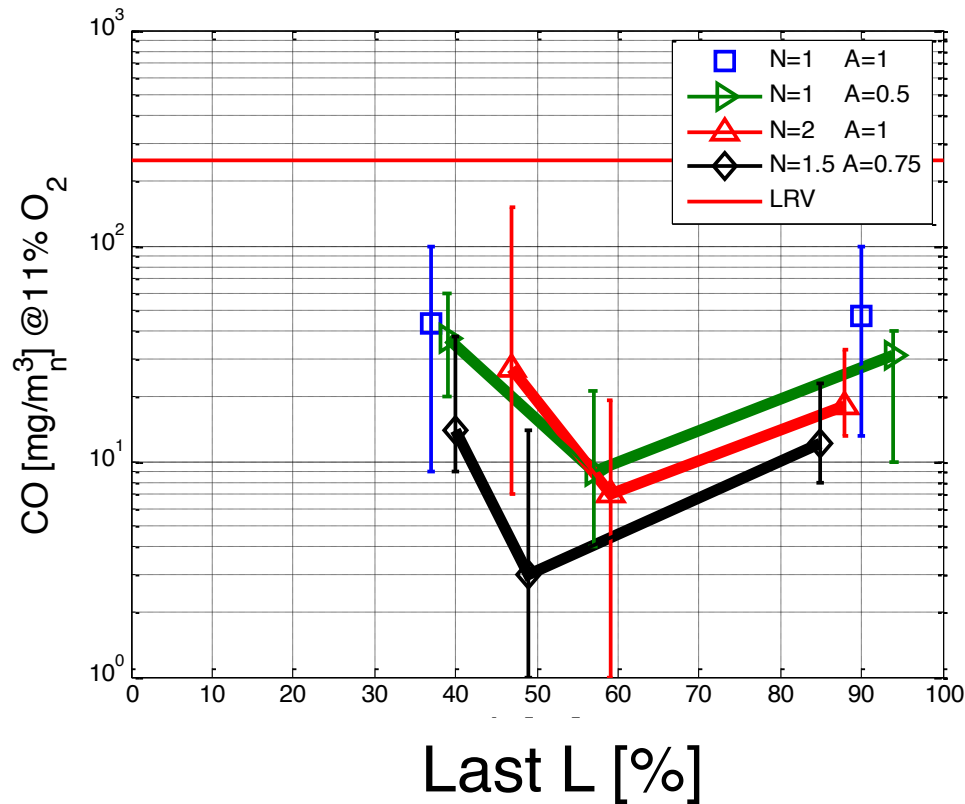


Teillast

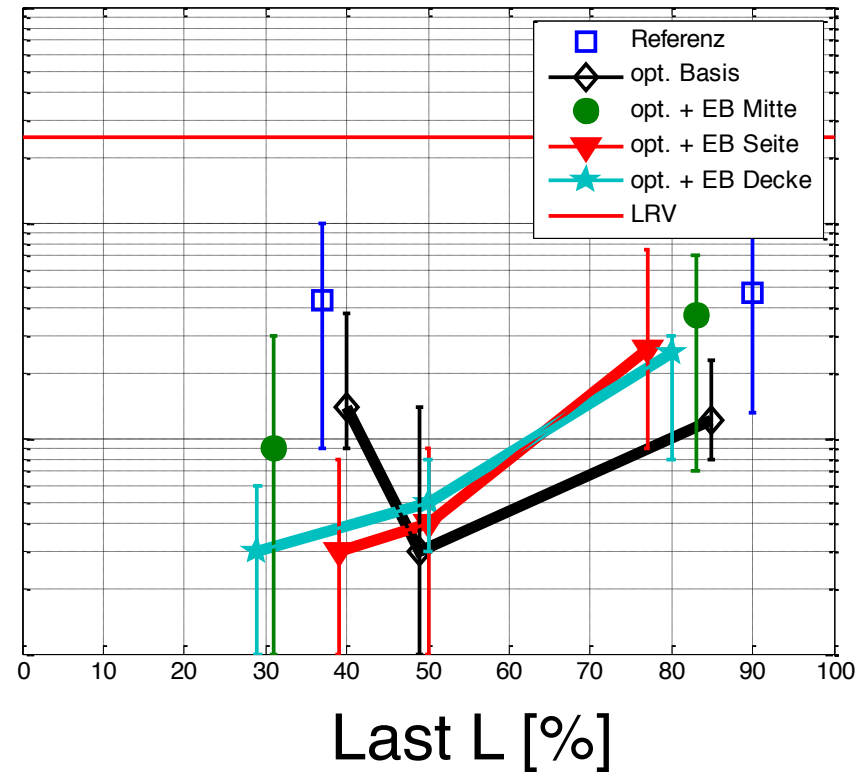


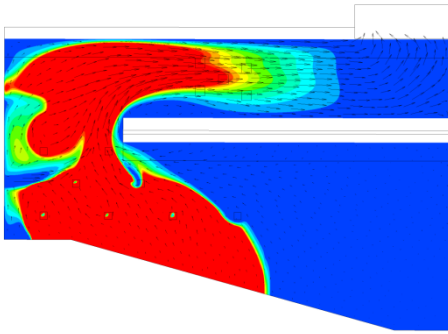
3. CO bei $\lambda=1.8$ in Funktion der Last

ohne Einbauten



mit Einbauten





1. Einleitung
2. Zielsetzung
3. Strömungsoptimierung mit CFD
4. Vergleich mit PIV
5. Experimente
6. Schlussfolgerungen

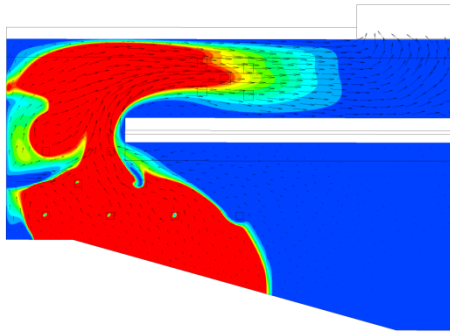


Schlussfolgerungen (1/2)

- Ein CO-Anstieg bei Teillast – wie in der Praxis oft beobachtet – kann Folge einer unvollständigen Rostbedeckung sein. Dies kann durch regeltechnische Massnahmen reduziert oder verhindert werden.
- Eine verbesserte Sekundärlufteindüsung führt sowohl bei Teillast als auch bei Vollast zu tieferen CO-Emissionen.
- Die CO-Reduktion durch optimierte Sekundärlufteindüsung beträgt rund einen Faktor 4.

Schlussfolgerungen (2/2)

- Durch Ausschöpfen des Optimierungspotenzials wird ein stabiler Betrieb ab 30% Last bis zu Volllast erreicht mit CO-Emissionen unter 15 mg/m_n^3 .
- Gleichzeitig wird der optimale Luftüberschuss von rund 1.8 auf 1.6 abgesenkt, was den Wirkungsgrad erhöht.
- Einbauten zusätzlich zur verbesserten Sekundärluft-eindüsung ermöglichen eine weitere Verbesserung bei Teillast, nicht jedoch bei Volllast.



Verdankung

Schmid AG, energy solutions

Kommission für Technologie und Innovation (KTI)