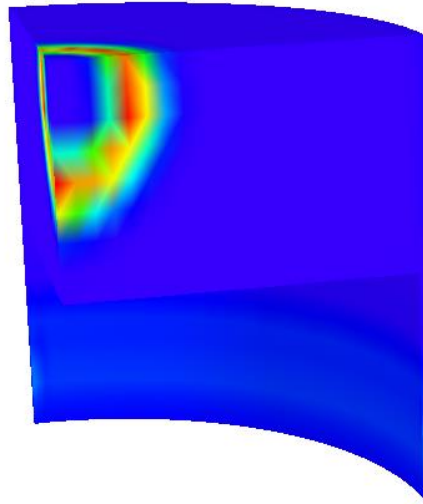


Reduktion der Formaldehyd- und Methanemissionen von Biogas-BHKW mittels Wasserstoffzugabe



Dipl.-Ing. Florian Rau, TU Bergakademie Freiberg/ Deutschland

NOVELLIERUNG DER TA LUFT

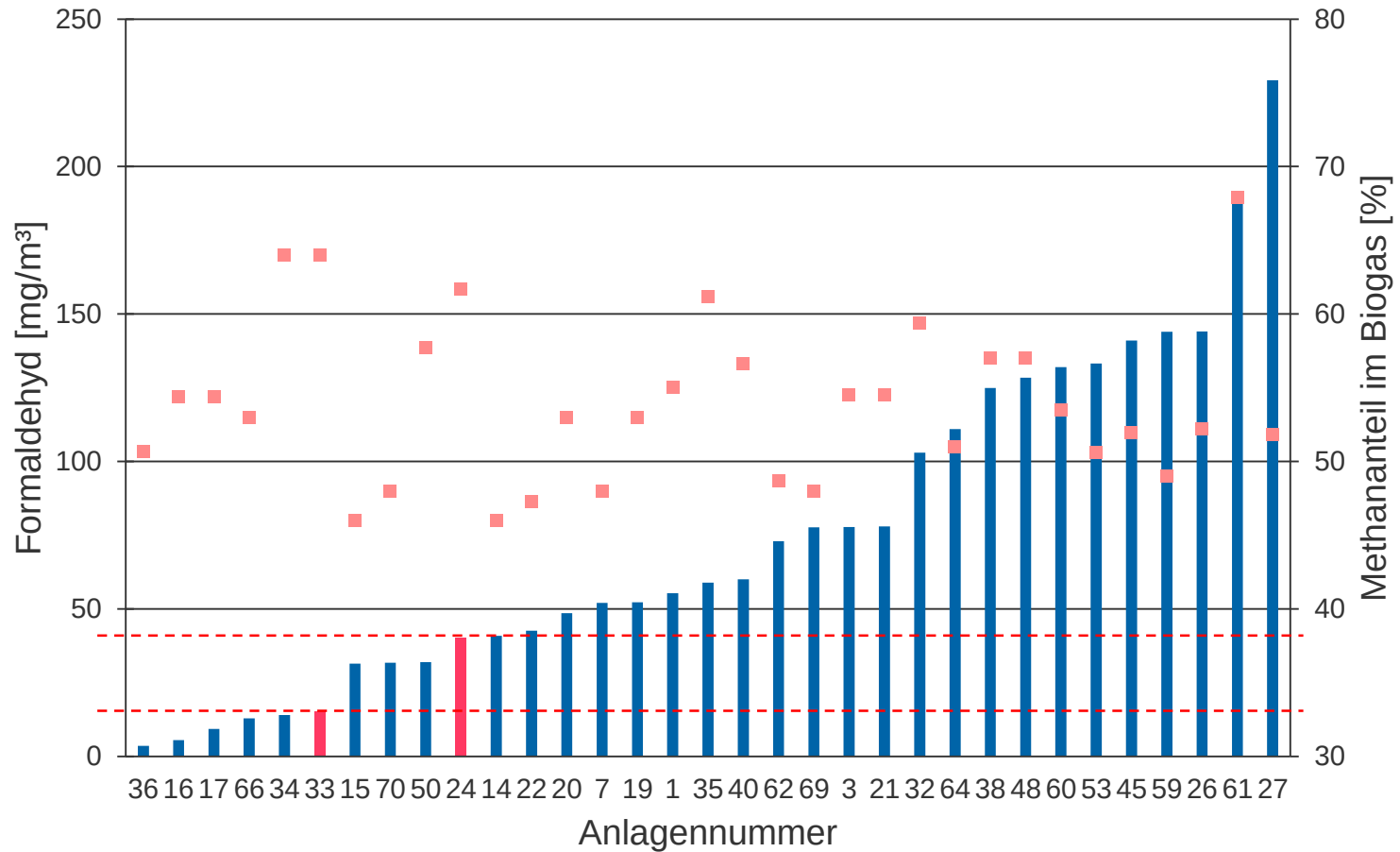
5.4.1.4.1.2a/5.4.1.4.2.2a Anlagen der Nummer 1.4

Verbrennungsmotoranlagen (einschließlich Verbrennungsmotoranlagen der Nummern 1.1 und 1.2), mit einer Feuerungswärmeleistung von weniger als 3 MW)

(5% O₂)

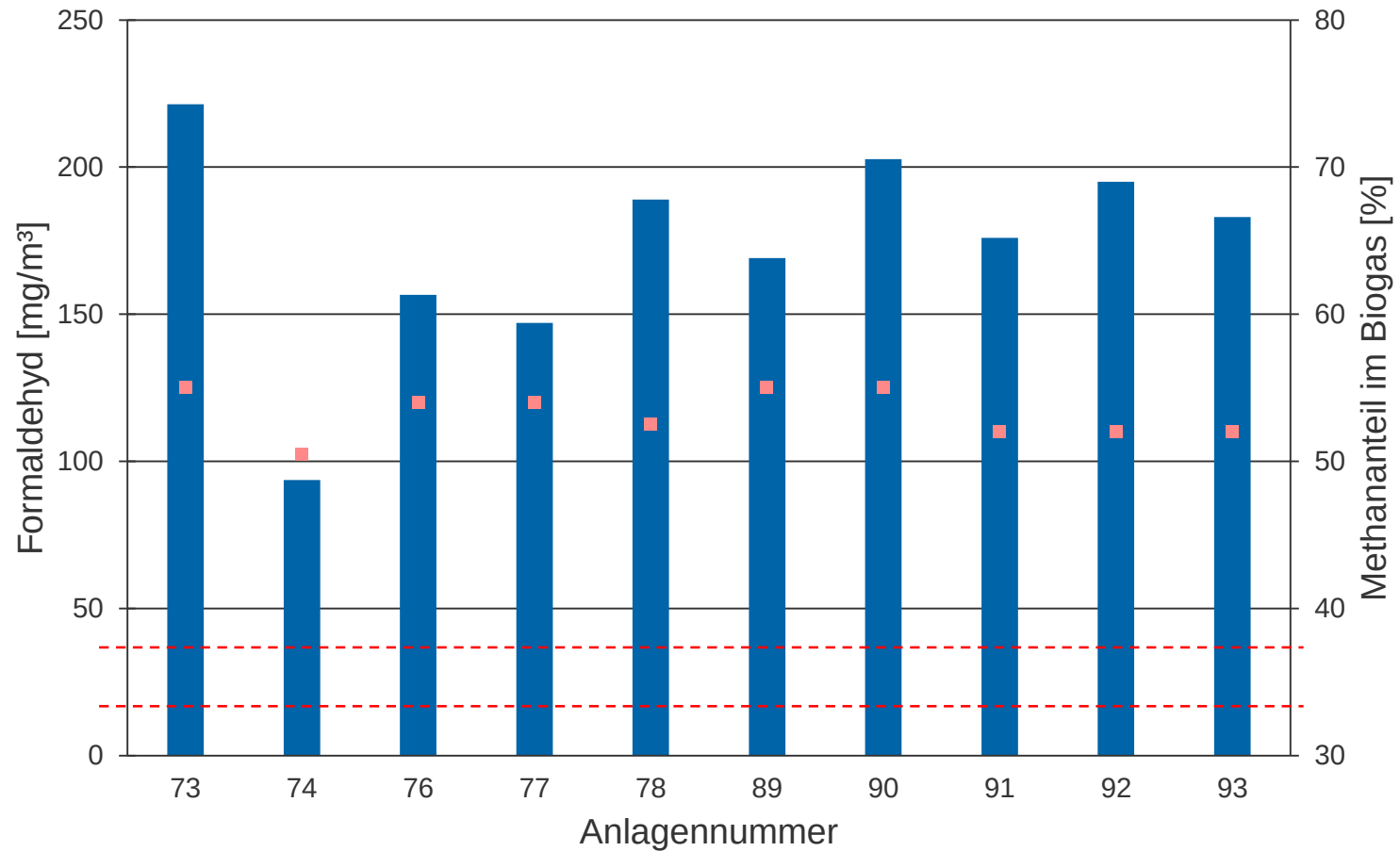
Emission	TA Luft 2002	TA Luft 2018	Typische Werte [LfULG]
Formaldehyd [mg/m ³]	40	30 (ab 2018/19) 20 (ab 2020)	20 - 60
Kohlenstoff (C _{ges.}) [mg/m ³]	-	50	400 - 2000
Kohlenmonoxid CO [mg/m ³]	1.000	1000	40 - 400
Stickstoffdioxide NO ₂ [mg/m ³]	500	500	300 - 1000
Schwefeldioxide SO ₂ [mg/m ³]	350	350	20
Gesamtstaub [mg/m ³]	20	20	5 - 10

EMISSIONEN VON GASOTTOMOTOREN



Quelle: Formaldehydmissionen aus Biogas-BHKW, LfULG, 2009

EMISSIONEN VON ZÜNDSTRAHLMOTOREN



Quelle: Formaldehydmissionen aus Biogas-BHKW, LfULG, 2009

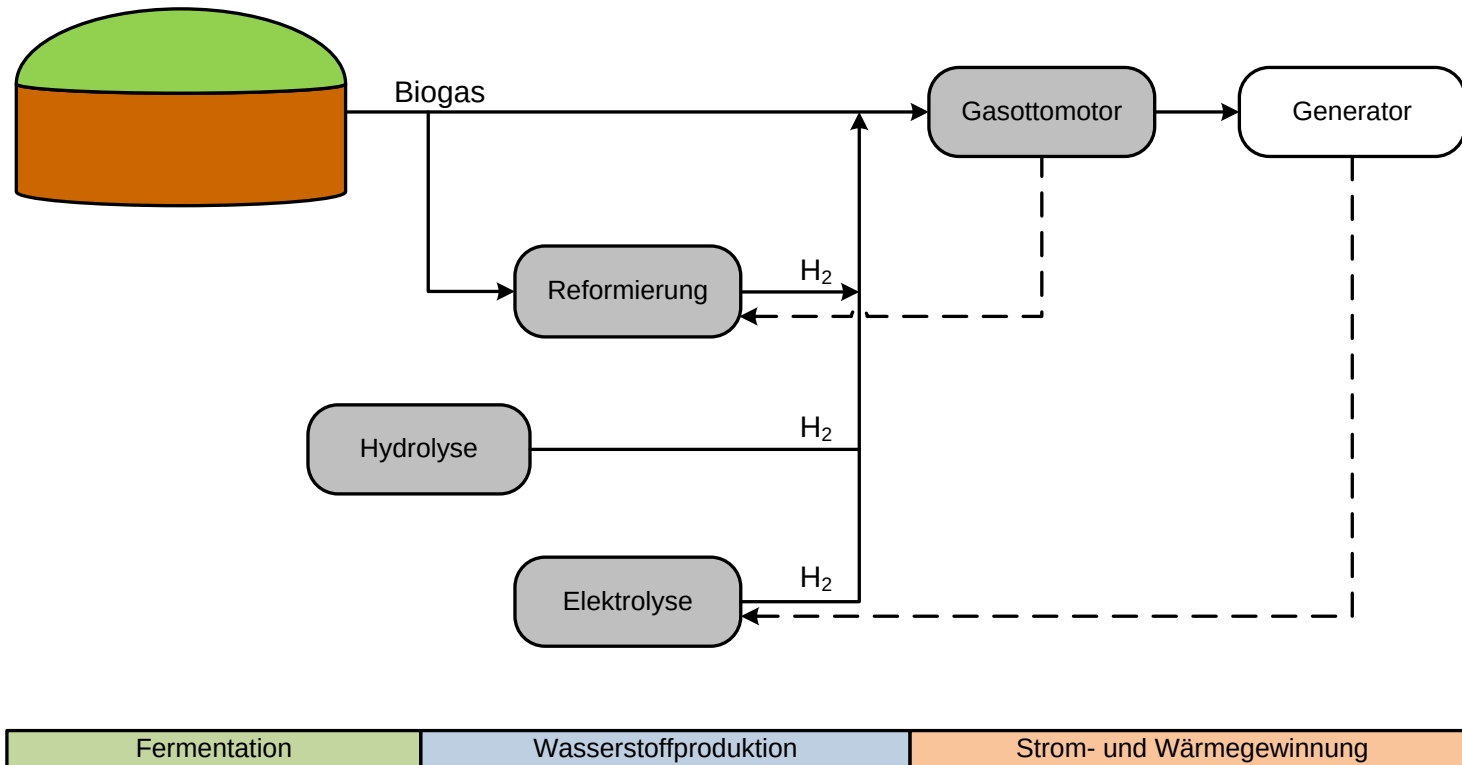
IDEE

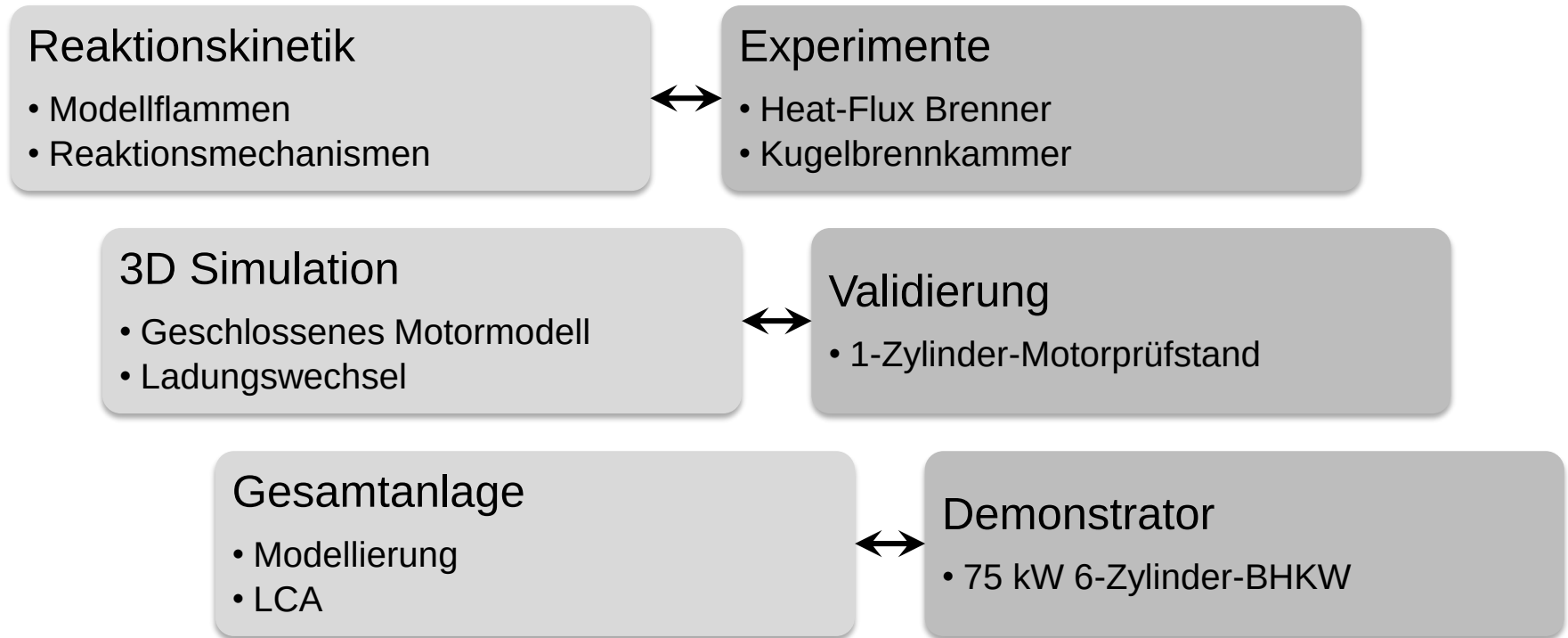
- Emissionsgrund: unvollständige Verbrennung
- Lösungsansatz: Wasserstoff

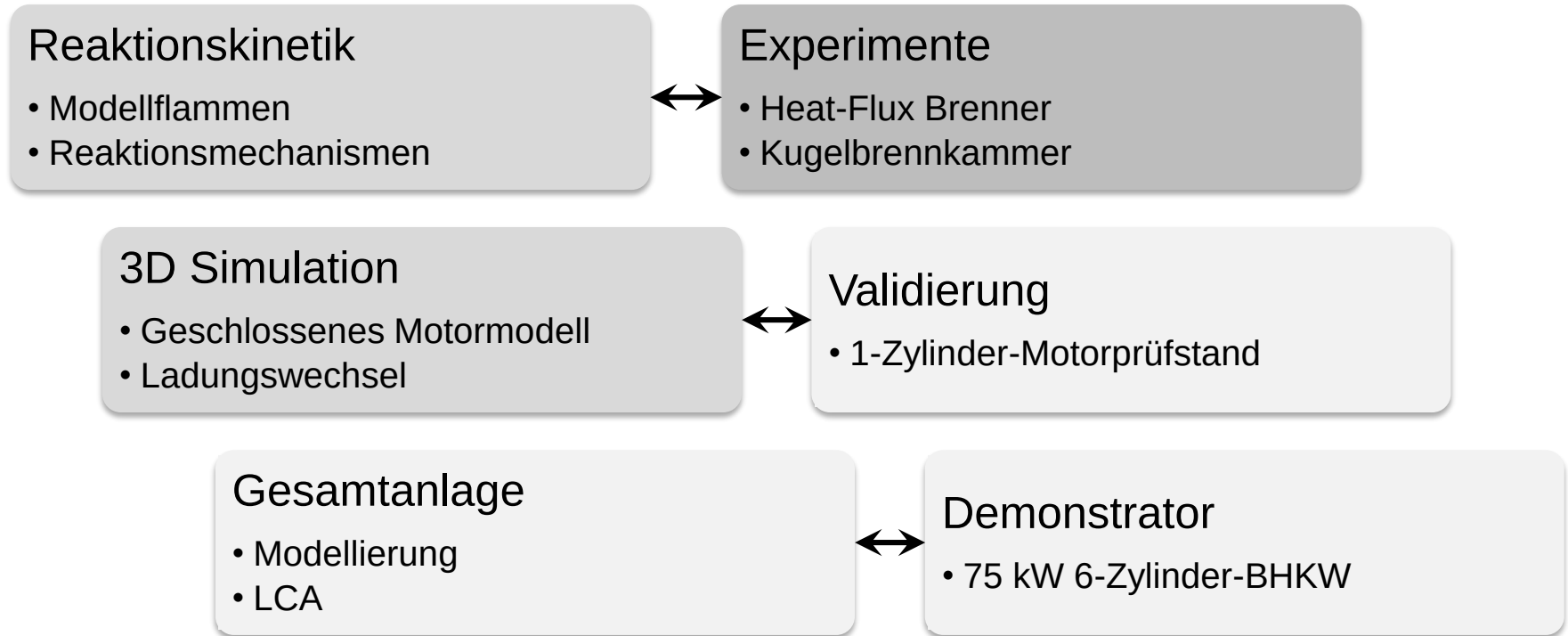
	Methan	Wasserstoff
Untere Zündgrenze (λ) (20°C, 1 atm)	1,9	10
Zündtemperatur	595°C	560°C
Grenzspaltweite	1,14 mm	0,29 mm
Minimale Zündenergie (stöch.)	0,29 mJ	0,02 mJ
Heizwert	50 kJ/kg	120 kJ/kg
Heizwert	32,5 kJ/m ³	10 kJ/m ³

STRATEGIE

- 3 Technologien für Wasserstoffproduktion
- 4 KMU, 1 Forschungseinrichtung, 1 Universität







REAKTIONSKINETIK

- Thermodynamische Daten
- Transportdaten
- Reaktionsgleichung

z.B. Wärmekapazität

z.B. Lennard-Jones-Potential

Geschwindigkeitskoeffizient

Chemistry Set Mechanism Viewer Mechanism Parameters					
Thermodynamic Data Transport Data Gas-Phase Reactions					
	Reaction	Units	A	B	E
52	<chem>H+CH3(+M)=CH4(+M)</chem>	MOLES CAL/MOLE	1.39E16	-0.534	536.0
53	<chem>H+CH4=CH3+H2</chem>	MOLES CAL/MOLE	6.6E8	1.62	10840.0
54	<chem>H+HCO(+M)=CH2O(+M)</chem>	MOLES CAL/MOLE	1.09E12	0.48	-260.0
55	<chem>H+HCO=H2+CO</chem>	MOLES CAL/MOLE	7.34E13	0.0	0.0
56	<chem>H+CH2O(+M)=CH2OH(+M)</chem>	MOLES CAL/MOLE	5.4E11	0.454	3600.0

$$k(T) = A \cdot T^b \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right)$$

E_A Aktivierungsenergie

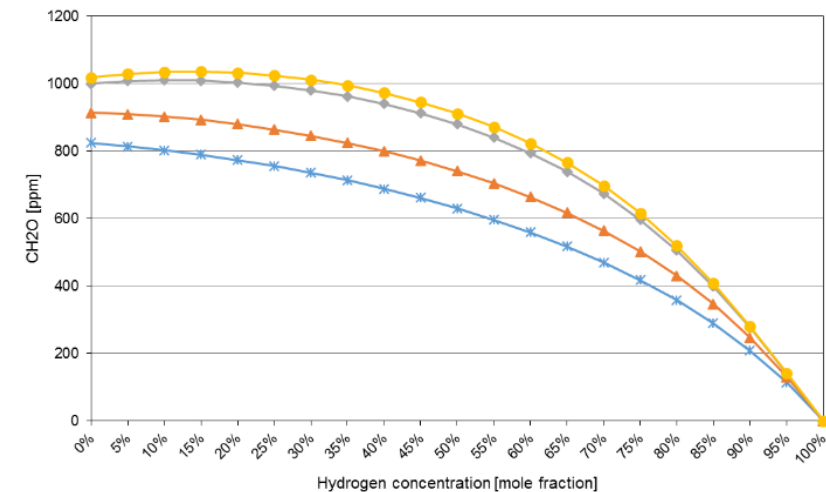
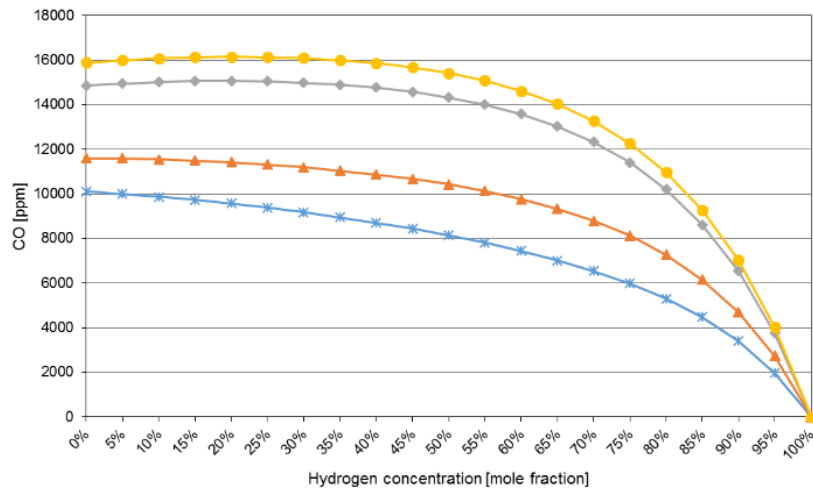
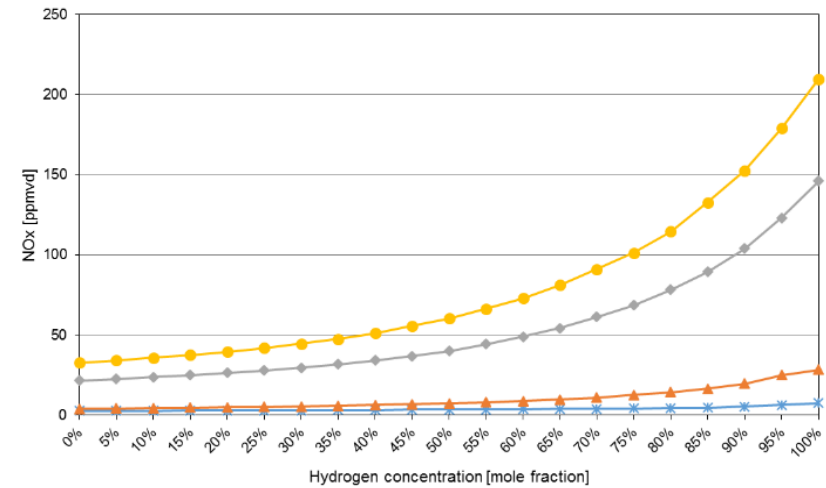
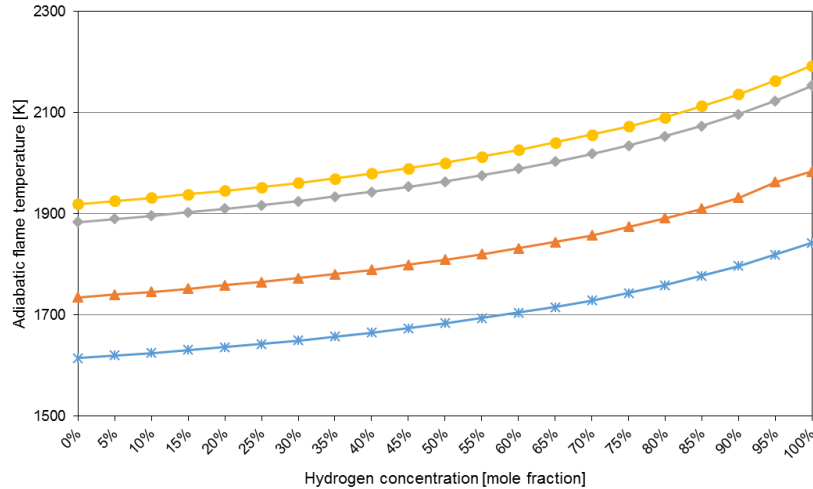
A Frequenzfaktor

b Temperaturexponent

R Allg. Gaskonstante

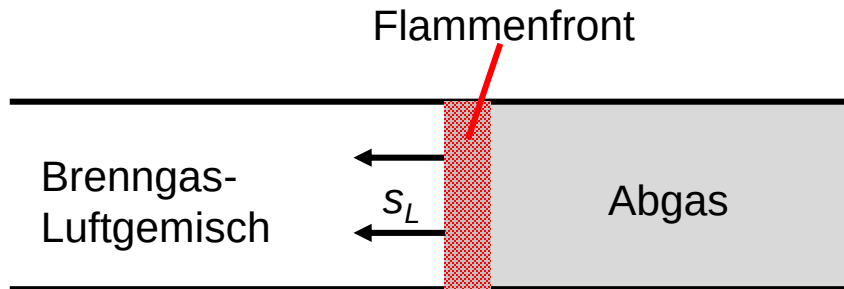
MODELLFLAMME

1-DIMENSIONALE LAMINARE ADIABATE FLAMME



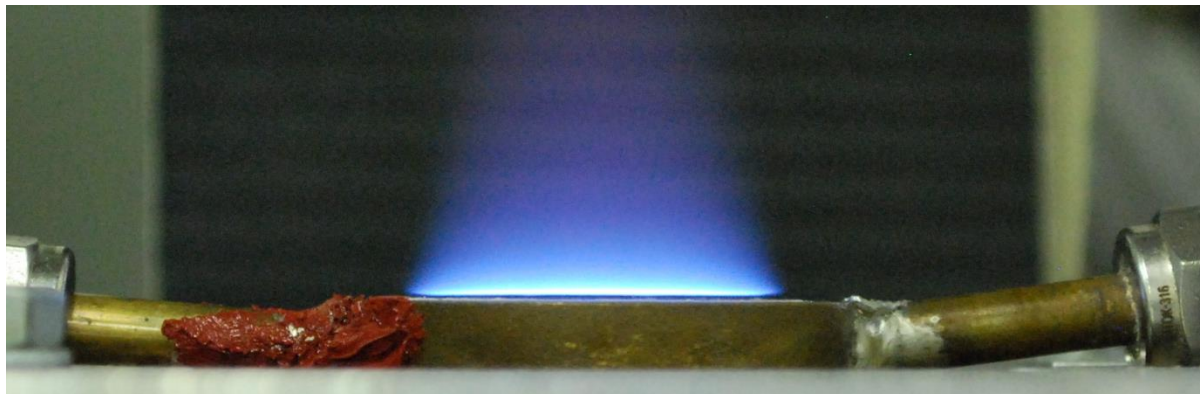
Blau: 1,74, orange: 1,54, grau: 1,33, gelb: 1,3

Laminare Brenngeschwindigkeit s_L ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Verbrennungsreaktion normal zur Flammenfront in einem ruhenden Brenngas-Luftgemisch.

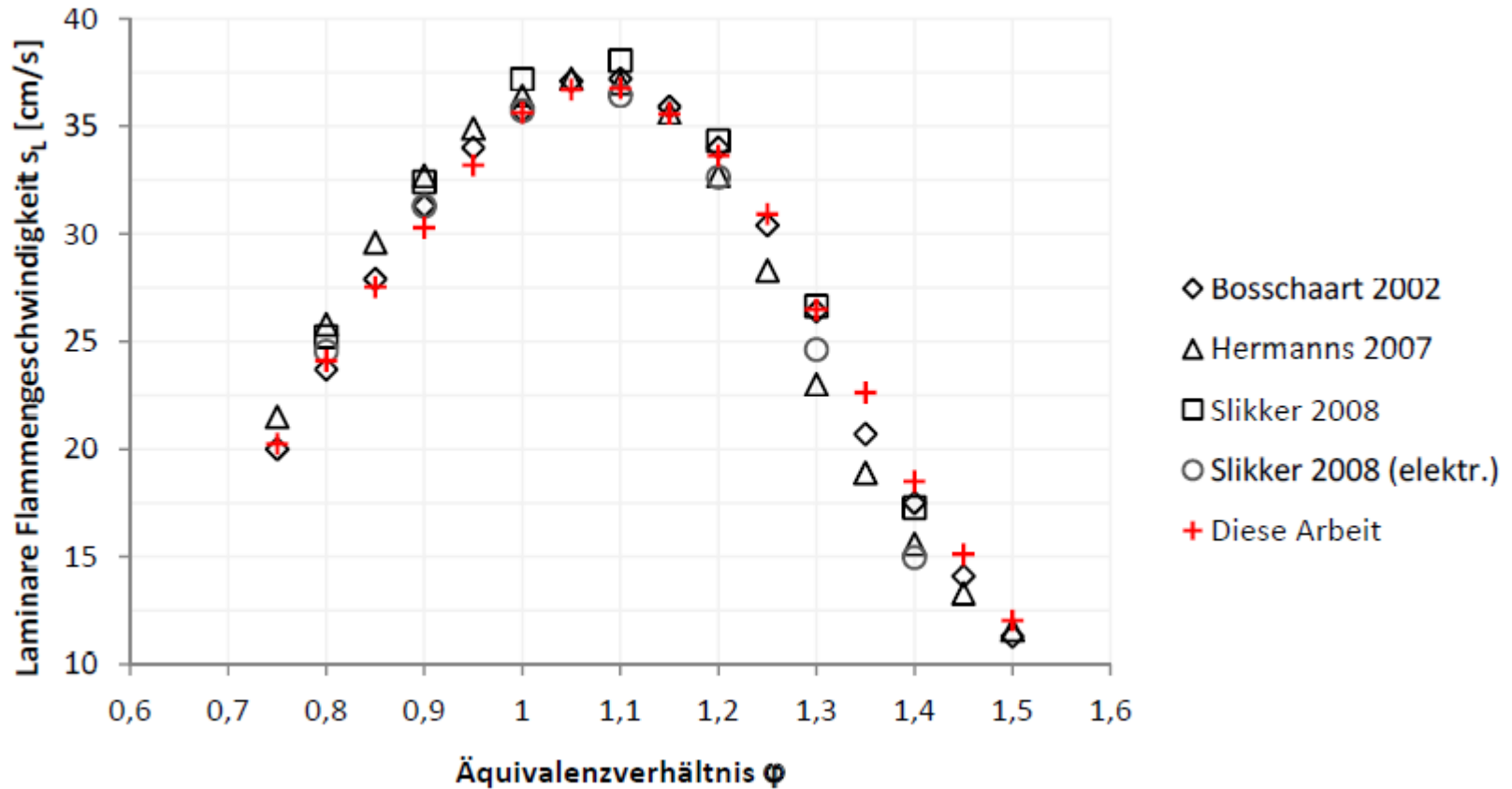


Voraussetzungen

- Eindimensionale Flamme
- Adiabate Bedingungen

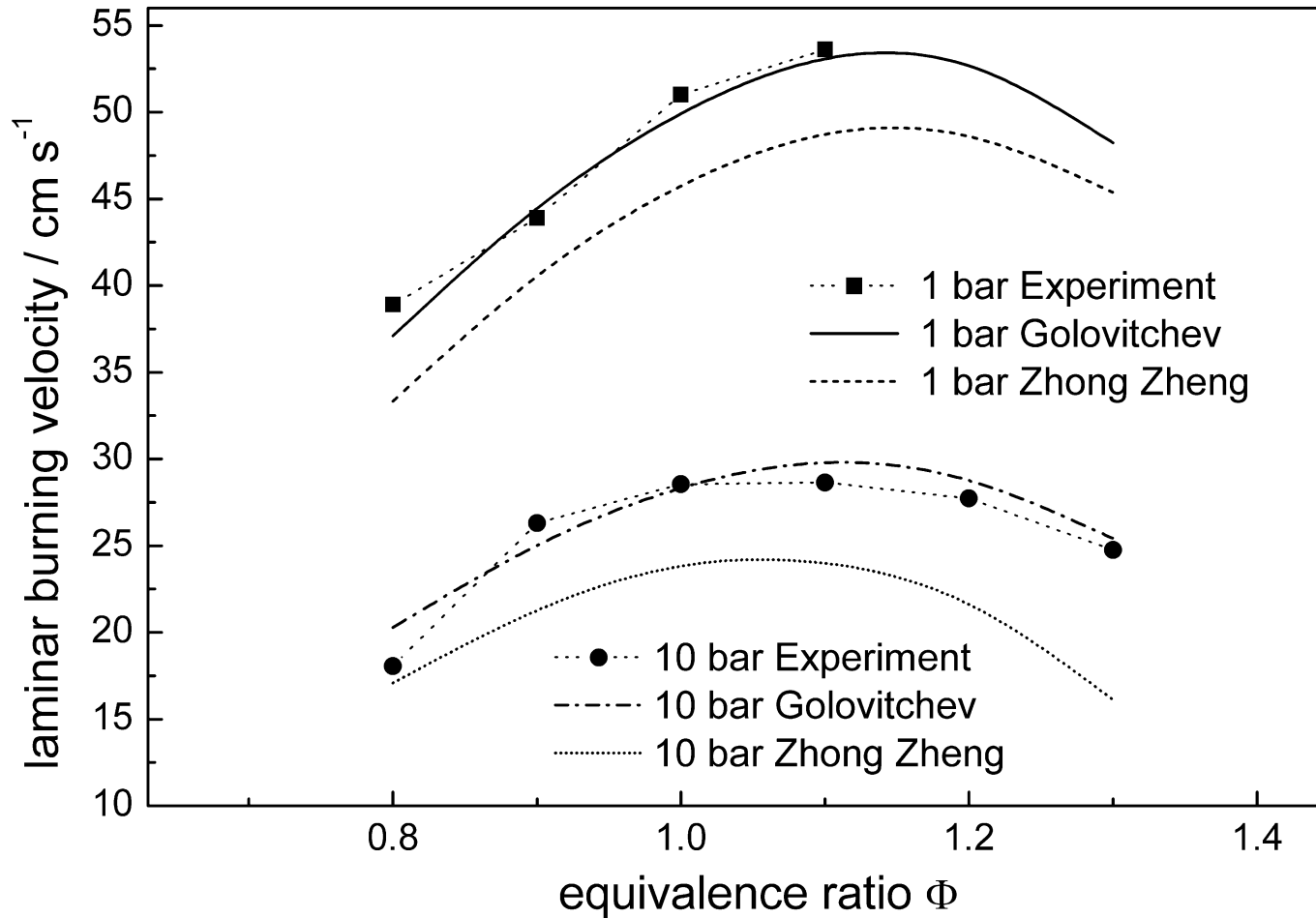


VALIDIERUNG MODELLFLAMME LAMINARE BRENNGESCHWINDIGKEIT



Laminare Brenngeschwindigkeit für Methan-Luft-Gemische bei 298 K und 1 atm

VALIDIERUNG MODELLFLAMME KUGELBRENNKAMMER



Laminare Brenngeschwindigkeit für Iso-Oktan-Luft-Gemische (373 K)

3D CFD – ANSYS FORTE

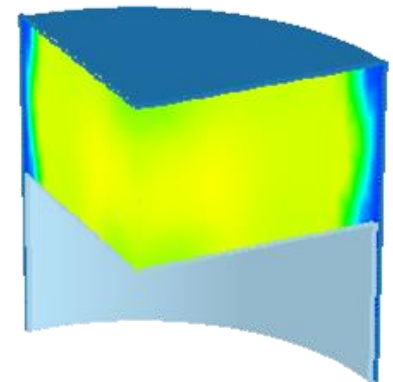
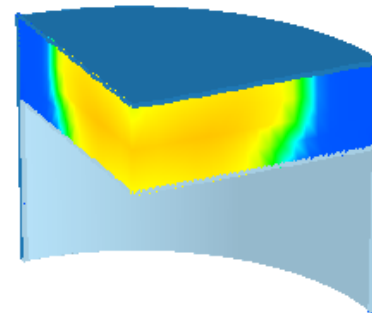
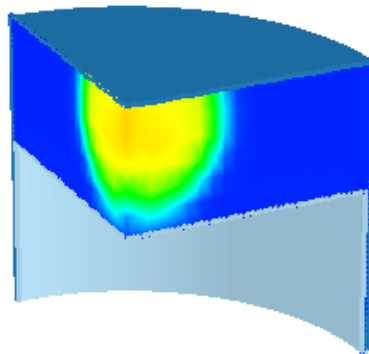
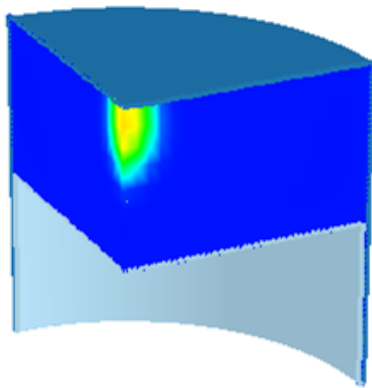
Erdgasmotor mit $\lambda = 1,3$

320°KW

330°KW

360°KW

400°KW



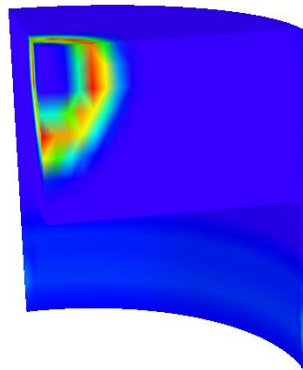
Contour : Temperature
Units: K



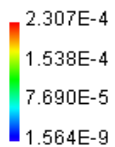
3D CFD – ANSYS FORTE

Erdgasmotor mit $\lambda = 1,3$

320°KW (+10°KW nach Zündung)



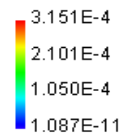
Contour : CH₂O Mole Fractions
Units:



520°KW (+210°KW nach Zündung)



Contour : CH₂O Mole Fractions
Units:



Zusammenfassung

- Strenge Grenzwerte für Formaldehyd und unverbrannte Kohlenwasserstoffe
- Zugabe von Wasserstoff zum Biogas, 3 Herstellungsverfahren
- Erste Ergebnisse zeigen positive Effekte

Ausblick

- Messungen Brenngeschwindigkeit zur Validierung Mechanismen
- BHKW-Prüfstand zur Validierung 3D CFD
- Gesamtanlage



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



**Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit!**



Florian Rau

**TU Bergakademie Freiberg
Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik
Gustav-Zeuner-Str. 7
09599 Freiberg**

florian.rau@iwtt.tu-freiberg.de