

Effizienzsteigerung der Biomassevergasung mittels Hochtemperaturbrennstoffzellen

Stephan Herrmann, Manuel Jimenez-Arreola, Sebastian Fendt, Matthias Gaderer und Hartmut Spliethoff

14. Symposium Energieinnovation, Graz, 11.02.2016

Agenda



- Motivation



- Konventionelle Vergasungssysteme



- Systemkonzept



- Modellbeschreibung
- Simulationsergebnisse



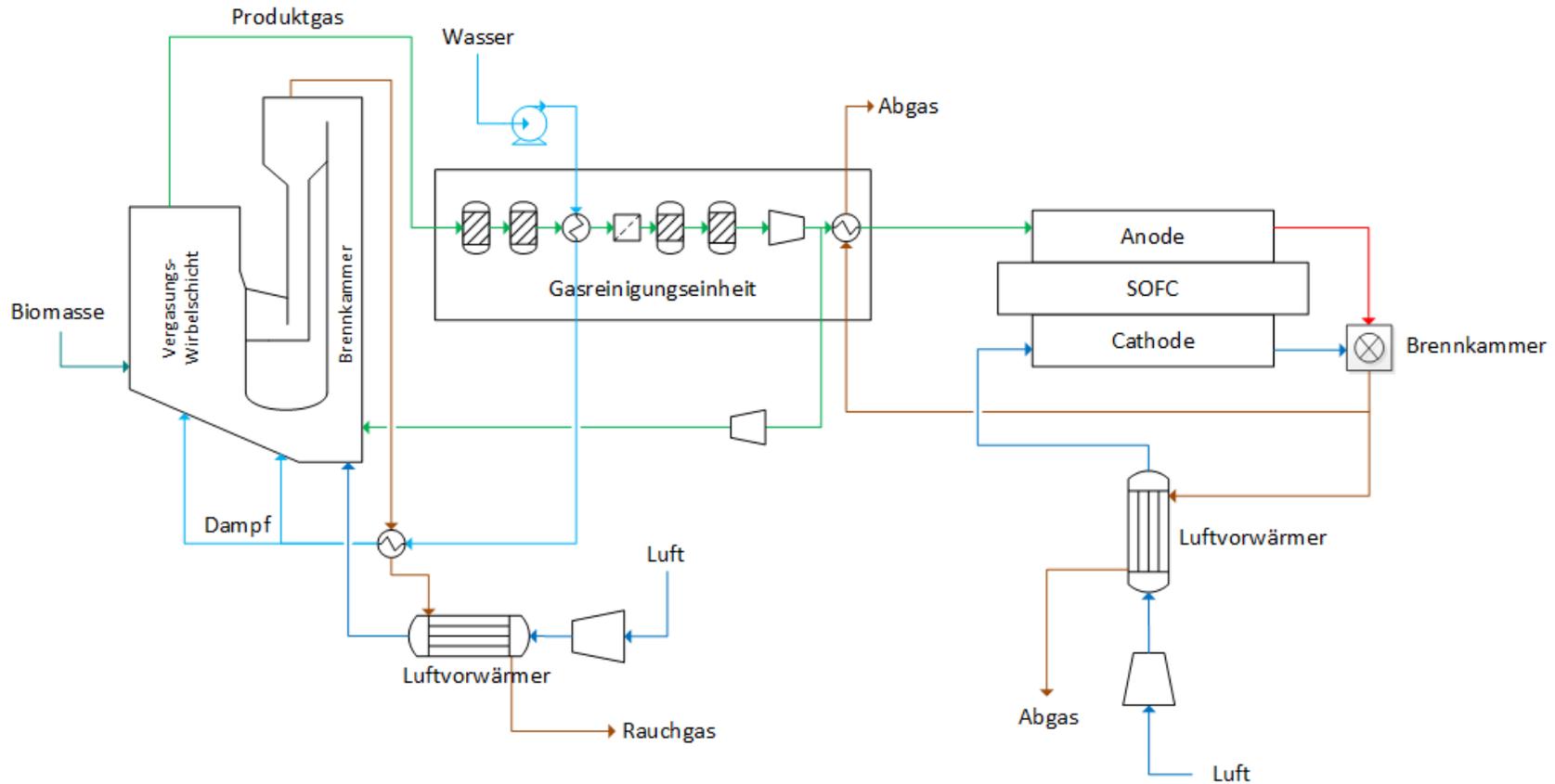
- Zusammenfassung
- Ausblick

- Klimakonferenz in Paris 2015
- Transformation des Energiesystems
- Erneuerbare Energiebereitstellung
- Möglichst keine/wenig fossile Erzeugung
- Aber: PV und Wind schwankend
- Nur Biomasse, Geothermie und Wasserkraft steuerbar
- Alle 3 zum Ausgleich benötigt!
- Vergasung ermöglicht vielfältige Nutzungspfade (Strom, Wärme, SNG, Flüssigkraftstoffe)
- Möglichst effiziente Nutzung von Biomasse
- FICFB-Vergaser mit Gasmotor Stand der Technik



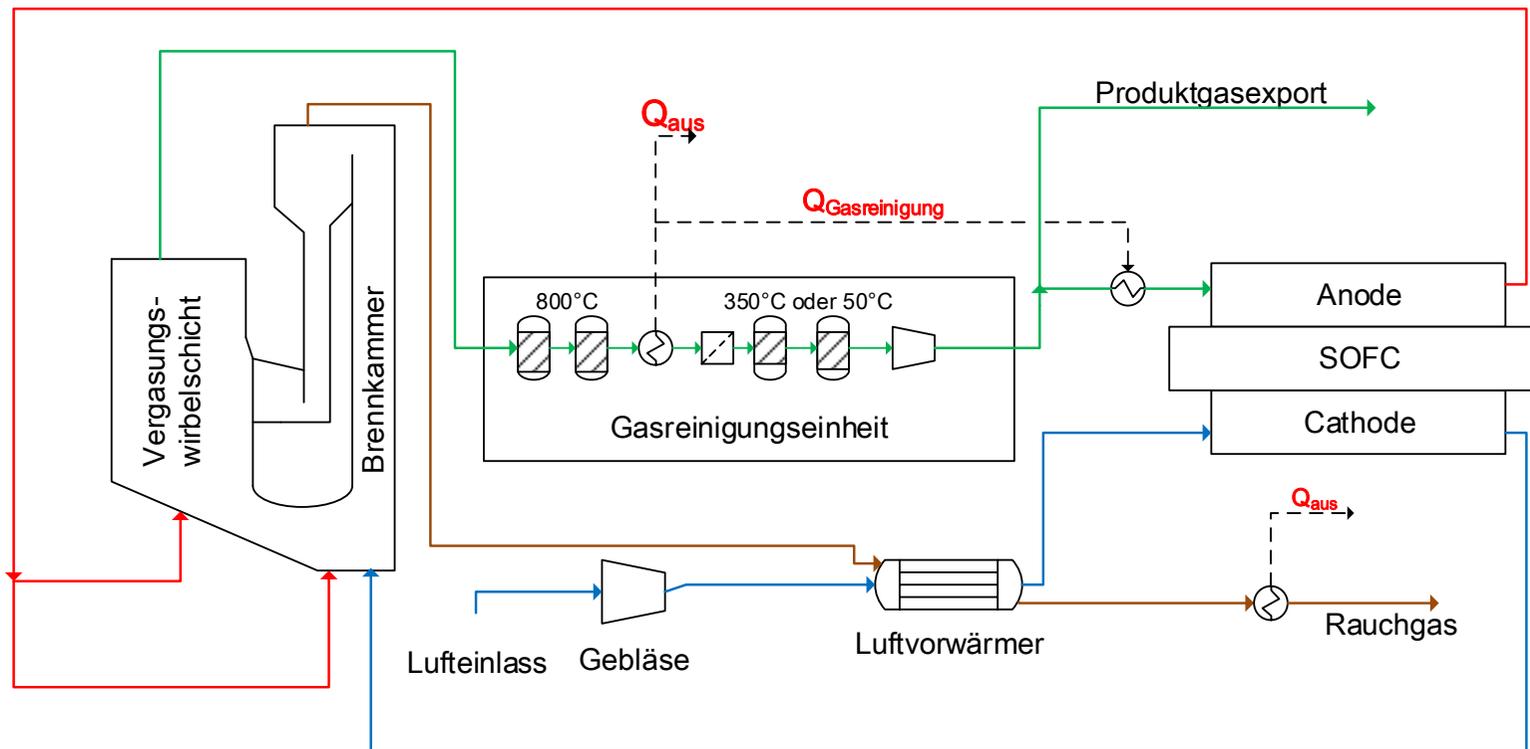
Konventionelle Vergasungssysteme

Biomassevergasung mit Hochtemperaturbrennstoffzellen



Systemkonzept

Vereinfachtes, optimiertes System

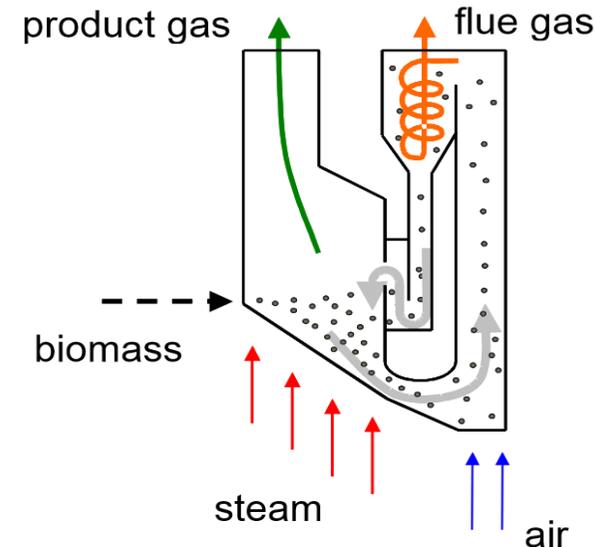


- Keine Dampferzeugung – Dampf im Anodenabgas
- Recycling chemischer Energie im Vergaser
- Keine Produktgasverbrennung mehr
- Nutzung der Abwärme der SOFC im Vergaser
- Weniger Regelorgane
- Einstellbare Produktgaszusammensetzung
- Nur ein Luftvorwärmer
- Nur ein Produktgaswärmetauscher
- Produktgasexport für weitere Anwendungen

Modellbeschreibung

Hofbauer-Reaktor

- Modellierung in ASPEN Plus
- Zirkulierende Wirbelschicht
- Gasseitig getrennte Verbrennungs- und Vergasungswirbelschichten
- Wärmetransport über Bettmaterial
- Vergasungsmedium Dampf
- Ursprünglich Verbrennung von Restkoks, Produktgas (20-30%) und Biodiesel aus der Gasreinigung
- Im neuen System keine Produktgaszufuhr und kein Biodiesel



	Modell	Experimentelle Daten Güssing 1 [3]	Experimentelle Daten Güssing 2 [4]
H ₂	40.18%	30 – 40 %	35 – 45%
CO	25.15%	20 – 30%	20 – 30%
CO ₂	18.13%	15 – 25%	15 – 25%
CH ₄	11.28%	8 – 12%	8 – 12%
N ₂	3.63%	1 – 5%	3 – 5 %

[3] Hofbauer, H., Rauch, R., Loeffler, G., Kaiser, S., Fercher, E., & Tremmel, H. (2002). Six years experience with the FICFB-Gasification process. 12th European Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Amsterdam.

[4] Hofbauer, H., Rauch, R., Bosch, K., Koch, R., & Aichernig, C. (2002). Biomass CHP Plant Güssing - A Success Story. Expert Meeting on Pyrolysis and Gasification of Biomass and Waste. Strasbourg, France.

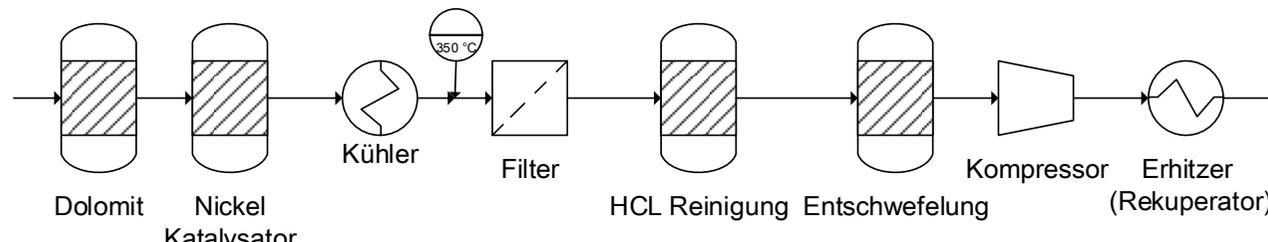
Modellbeschreibung

Gasreinigung

- Kombinierte Heiß- und Warmgasreinigung
- 2-stufige katalytische Teerreinigung bei ca. 800°C
- Filter, adsorbtive Chlor- und Schwefelreinigung bei ca. 350°C
- Kompensation von Druckverlusten
- Rekuperative Erhitzung
- Geforderte Reinheiten können erreicht werden

	Verbrennungsmotor	Gasturbine	Synthesereaktor	SOFC
Partikelgehalt	< 50 mg/m ³	< 30 mg/m ³	< 0,1 mg/m ³	< 1mg/m ³ *
Partikelgröße	< 3 µm	< 5 µm	k.A.	< 1 µm *
Teergehalt	< 100 mg/m ³	k.A.	< 0,1 mg/m ³	wenige ppm; zum Teil Brennstoff *
Alkaliengehalt	< 50 mg/m ³	< 0,25 mg/m ³	< 10 ppb	< 1 ppmv *
Ammoniakgehalt	< 55 mg/m ³	k.A.	< 1ppm	< 5000 ppm
Schwefelgehalt	< 1150 mg/m ³	< 100000 ppm	< 0,1 ppm	< 1 ppm
Chlorgehalt	< 500 mg/m ³	k.A.	< 0,1 ppm	< 1 ppm

1. Allegue L. B., Hinge J. und Allé K. (2012). „Biogas and bio-syngas upgrading,“ Report, Aarhus
 2. Gerbeth A., Stoll A., Gemende B., Stemmler H., Krautheim G., Eichert H., Jahn M., Hädrich P. und Buschner G. (2009), „Nutzung von Biogas in SOFCs – Versuche zur Schwefelwasserstoffentfernung aus Gasgemischen im Labormaßstab,“ 51707-IC-1-2005-1-CZ-ERASMUS-IPUC-3



Modellbeschreibung

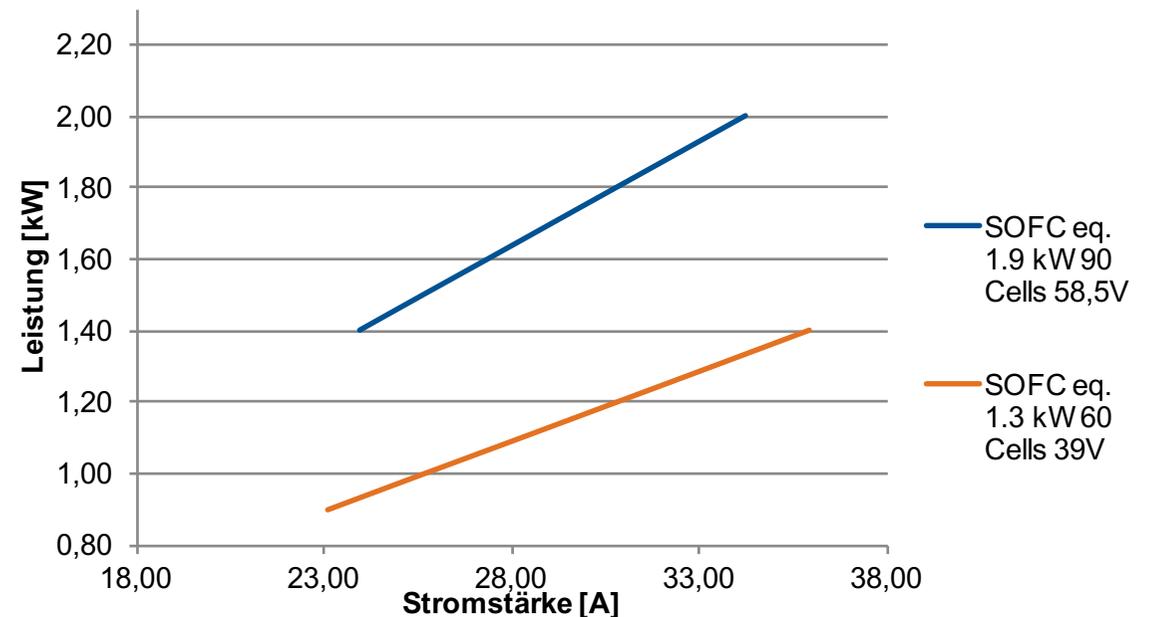
SOFC Modell

- 0-dimensionales elektrochemisches Modell
- Konstante Betriebsspannung
- Effizienz leicht unterschätzt

Leistung (kW)	SOFC Aspen Modell, 1.9 kW Stromstärke (A)	ISM Leistungsdaten, 1.9 kW System, Stromstärke (A)	SOFC Aspen Modell, 1.3 kW Stromstärke (A)	ISM Leistungsdaten, 1.3 kW system, Stromstärke (A)
1.20			30.78	29
1.30			33.34	31
1.40	23.94	21	35.89	35
1.50	25.64	22		
1.60	27.36	24		



<http://www.sunfire.de/wp-content/uploads/SFI017-Produktkatalog-RZ-04012013-Doppelseiten.pdf>



Modellbeschreibung

Systemkenngrößen zur Charakterisierung

Elektrische Leistung:

$$P_{el} = \eta_{INVERTER} \cdot W_{SOFC DC} - \frac{W_{KOMP}}{\eta_{MECH} \cdot \eta_{IS}} - \frac{W_{Luftgebläse}}{\eta_{MECH} \cdot \eta_{IS}}$$

Exergieeffizienz:

$$ExEff = \frac{P_{el} + Ex_{CHPG} + Ex_{TMPG} + Ex_{TMGR} + Ex_{TMVAG}}{Ex_{CHHOLZ}}$$

Produktgasqualität:

$$Q_{PG} = \frac{\dot{n}_{H_2} + \dot{n}_{CO} + \dot{n}_{CH_4}}{\dot{n}_{PG}}$$

Chemische Energie:

$$E_{ch} = \dot{m}_{PG} \cdot LHV_{PG}$$

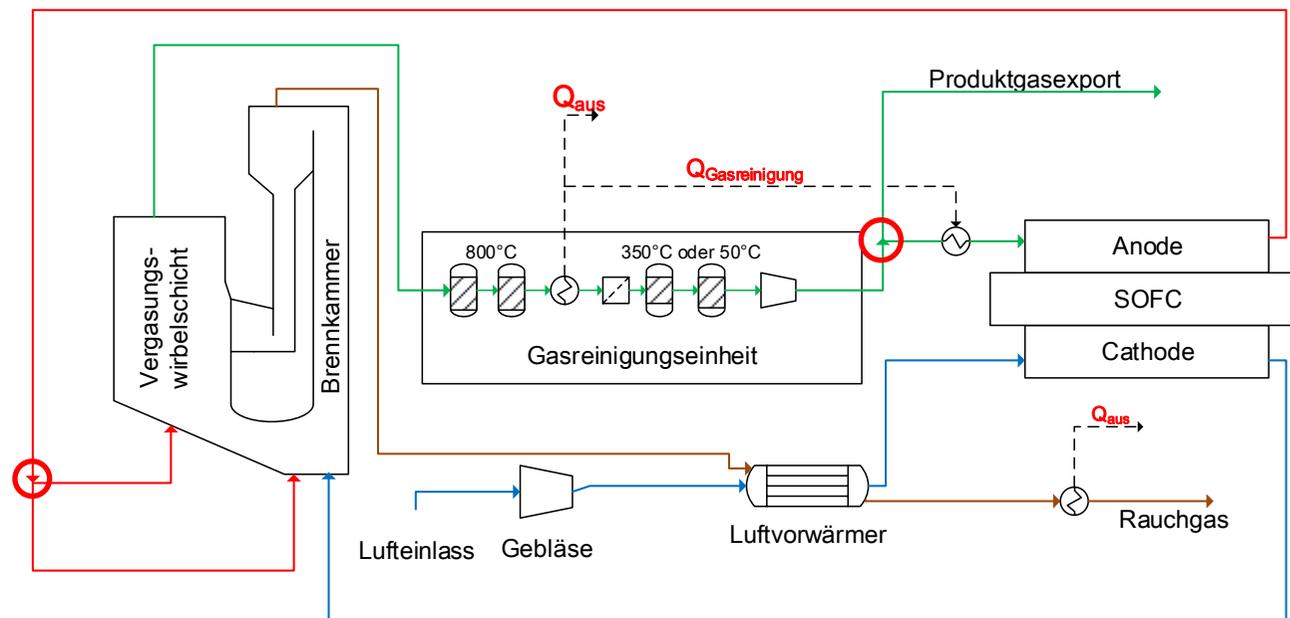
Produktgassplit:

$$S_{PG} = \frac{P_{G_{aus}}}{P_{G_{aus}} + P_{G_{Anode}}}$$

Anodenabgassplit:

$$S_{AG} = \frac{AG_{BK}}{AG_{BK} + AG_{VG}}$$

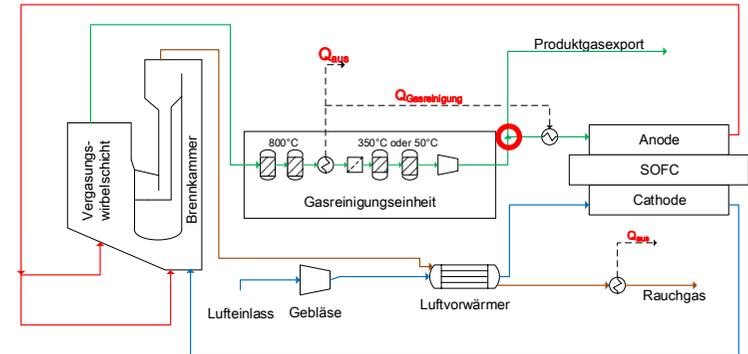
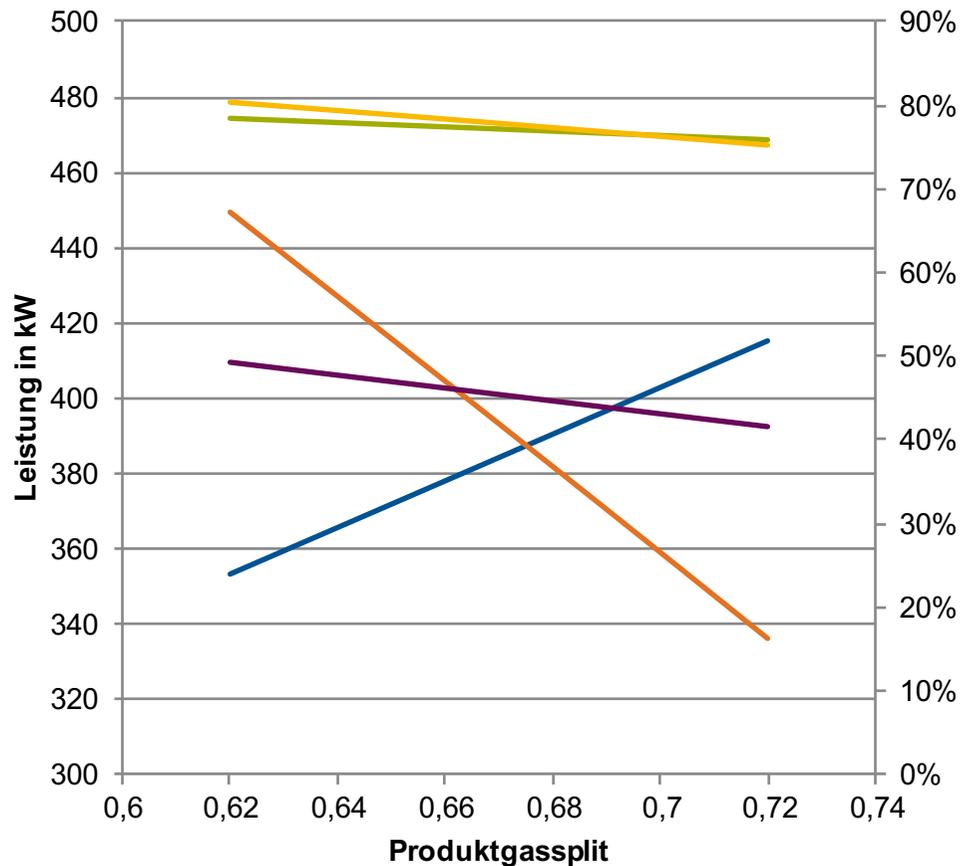
Parameter	Wert
Brennstoffeinsatz	1000kW _{LHV}
Brennstofffeuchte	8%
Wärmeverluste Vergaser	29kW
Wärmeverluste SOFC (bezogen auf den Produktgaseintritt)	1% _{LHV}
Produktgassplit S_{PG} (wenn nicht variiert)	0,65
Anodenabgassplit S_{AG} (wenn nicht variiert)	0,2



Simulationsergebnisse

Parameterstudie – Abhängigkeit vom Produktgassplit

$$S_{PG} = \frac{P_{G_{aus}}}{P_{G_{aus}} + P_{G_{Anode}}}$$

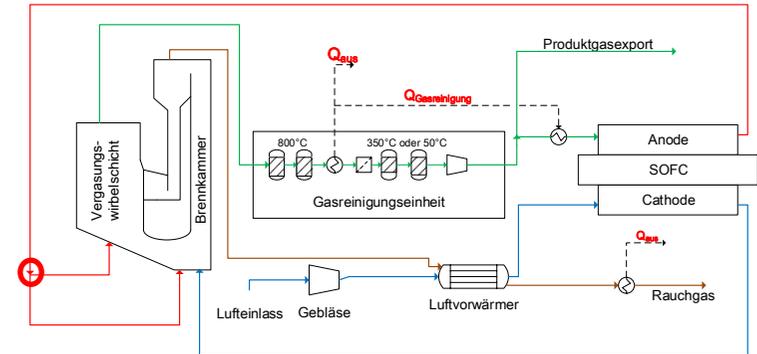
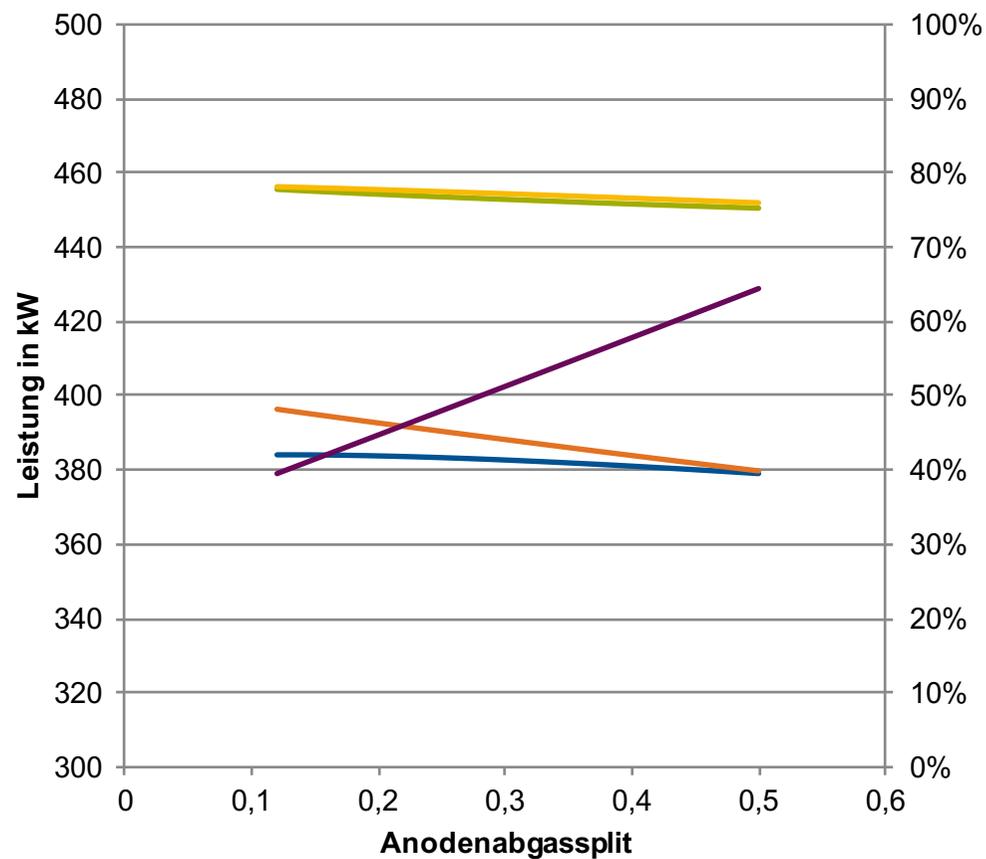


- Elektr. Leistung (kW)
- Chemische Energie (kW)
- Exergieeffizienz (%)
- Produktgasqualität (%)
- Elektr + Ch Effizienz (%)

Simulationsergebnisse

Abhängigkeit vom Anodenabgassplit

$$S_{AG} = \frac{AG_{BK}}{AG_{BK} + AG_{VG}}$$



- Elektr. Leistung (kW)
- Chemische Energie (kW)
- Exergieeffizienz (%)
- Produktgasqualität (%)
- Elektr + Ch Effizienz (%)

Simulationsergebnisse

Systemkenngrößen für 4 verschiedene Szenarien

	Basis	Strom- erzeugung	Produktgas- export	Exergie- Effizienz
Stromerzeugung (kW)	384.062	421.020	313.316	320.396
Produktgasexport (kW)	392.807	326.407	504.803	496.902
Exergieeffizienz (%)	77.08%	75.64%	78.67%	78.73%
Produktgasqualität (%)	44.89%	35.99%	66.13%	61.63%
Produktgassplit S_{PG}	0.33	0.27	0.44	0.43
Anodenabgassplit S_{AG}	0.2	0.14	0.43	0.36

- Basierend auf $1000\text{kW}_{\text{th}}$ (Heizwert) Biomasse

- **Motivation**
 - Effiziente, steuerbare Strom/Gaserzeugung aus Biomasse
 - Gleichzeitige Erzeugung von Strom und Gas am effizientesten
- **Stand der Technik**
 - FICFB-Vergaser mit Gasmotor $\eta_{el}=25\%$
 - FICFB mit SOFC $\eta_{el}=45\%$
- **Integration der Abgasströme**
 - Rückführung bringt Effizienzvorteile durch chemisches Recycling
 - Einstellbare Gasqualität 36% - 66% Brenngasgehalt
 - Stromerzeugung ca. 30% - 42%
 - Gesamteffizienz in der Simulation bis zu 81,8% (bzgl. Heizwert)
 - Exergieeffizienz bis zu 78,8%

- **Untersuchung von Produktgasnutzungsoptionen**
 - Brennstoffsynthese (SNG, Fischer-Tropsch)
 - Umsatz in weiterer SOFC, einem Gasmotor, etc.
- **Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**
- **Experimentelle Validierung der Produktgasnutzung in SOFC**



SYNSOFC

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Technische Universität München
Lehrstuhl für Energiesysteme
Stephan Herrmann, M.Sc.
stephan.herrmann@tum.de

Teile der vorliegenden Modelle wurden im Rahmen des FCH-JU JTI Projekts SOFCOM mit GA. Nr. 278798 erstellt. Weiterhin danken die Autoren den Studenten des Lehrstuhls für Energiesysteme, welche zu dieser Studie beigetragen haben, insbesondere Sebastian Jell.