



Ergebnisse Teilprojekt V: Prozesssimulation AER-Vergasung

Abschlussworkshop

Bonn

20./21.11.2013

Stefan Steiert

(Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
Baden-Württemberg ZSW)

Bearbeiter:

S. Steiert, J. Brellocks, M. Specht (ZSW)





1. Hintergrund und Stand der Technik
2. Zielsetzung und Arbeitsschwerpunkte
3. Ergebnisse
4. Zusammenfassung und Ausblick





Hintergrund und Stand der Technik

- Kommerzielle DFB-Biomassevergasung (z.B. Güssing (A), Ulm-Senden)
 - Verwendung von Olivin als Wirbelschicht-Bettmaterial
 - Heizwertreiches Synthesegas (40% H₂, 20 % CO, 25% CO₂, 12.5% CH₄)
 - Erzeugung von Strom und Wärme
- AER-Biomassevergasung (Absorption Enhanced Reforming)
 - Verwendung natürlicher Karbonate als Wirbelschicht-Bettmaterial
 - Wasserstoffreiches Synthesegas (65% H₂, 10% CO, 10% CO₂, 12.5% CH₄)
 - Viele Optionen der Synthesegasnutzung (z.B. SNG, H₂, KWK)





Zielsetzung und Arbeitsschwerpunkte

- Fokus Gesamtprojekt: Erzeugung von H₂ und SNG aus Biomasse
- Ziel TP V: Vergleich verschiedener Bioraffinerie-Pfade
- Prozesssimulation Synthesegasaufbereitung AER-Biomassevergasung

Arbeitsschwerpunkte:

- Auswahl zielführender Synthesegasaufbereitungspfade
- Modellierung und Simulation Einzelprozessschritte
- Verschaltung und Simulation Prozessketten
- Ziel: Vergleich verschiedener Poly-Generation-Konzepte
- Ziel: Datenbasis für Systemanalyse TP VIII



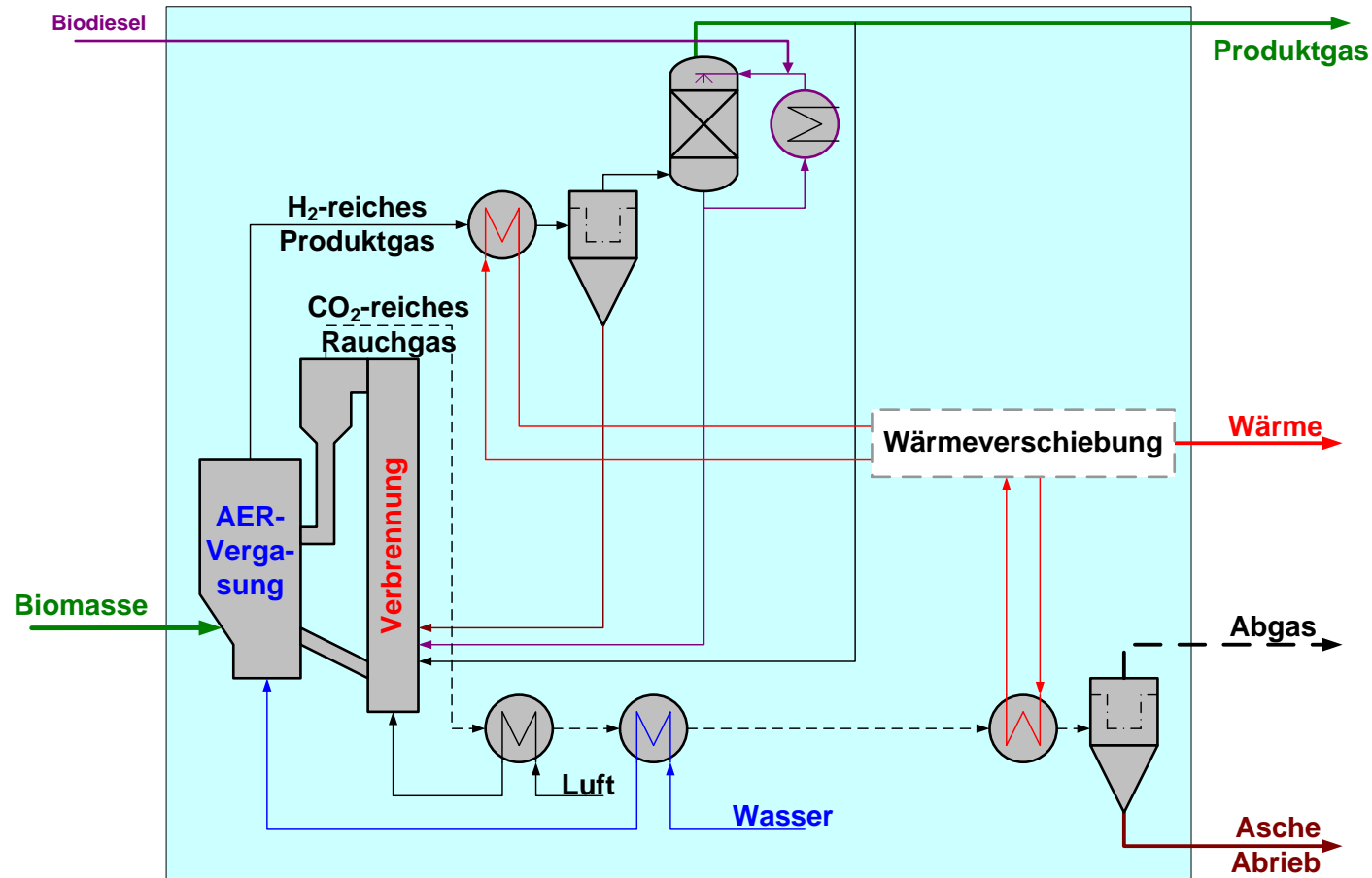


Prozess-Simulation mit Software IPSEpro

- Simulationstool für Kraftwerksprozesse
- Lösung Massen- und Energiebilanzen
- Grafische Oberfläche mit offener Architektur
 - eigene Modelle, Stoffströme, Komponenten können hinzugefügt werden
- seit vielen Jahren am ZSW in verschiedenen Bereichen eingesetzt, z.B.
 - Konversion von Biomasse (Biogas, Vergasung, Pyrolyse, Synthese)
 - Elektrochemische Verfahren (Brennstoffzellen, Elektrolyse)
 - Speicherung von EE-Strom mit Power-to-Gas



Schema AER-Biomassevergasung



- Fokus in „b2g“-Projekt lag auf AER-Synthesegasaufbereitung
→ Zugriff auf vorhandene Daten für AER-Biomassevergasung



Simulation AER-Biomassevergasung - Basisdaten

- Feuerungswärmeleistung vor Trocknung: 10 MW (3533 kg/h Holz)
 - Synthesegasleistung: 7,68 MW (2240 m³ i.N./h)
- Kaltgaswirkungsgrad: energetisch 72,5 %

AER-Synthesegas (nach Gaswäscher)	H ₂	CO ₂	CO	CH ₄	H ₂ O
[Vol.-% _{tr}]	67	11	9	11	10.2 [Vol.-%]

- Wärmeüberschuss: 940 kW
- Verbrauch Waschmedium Teerwäscher (Biodiesel): 20 kg/h
- Verbrauch Bettmaterial (CaCO₃): 286 kg/h
- Bedarf Frischwasser: 490 kg/h
- Eigenstromverbrauch AER-Synthesegaserzeugung: 295 kW
- Asche/Bettmaterialabrieb (CaO): 226 kg/h





Auswahl Gasaufbereitungspfade Bioraffinerie

Stand der Technik

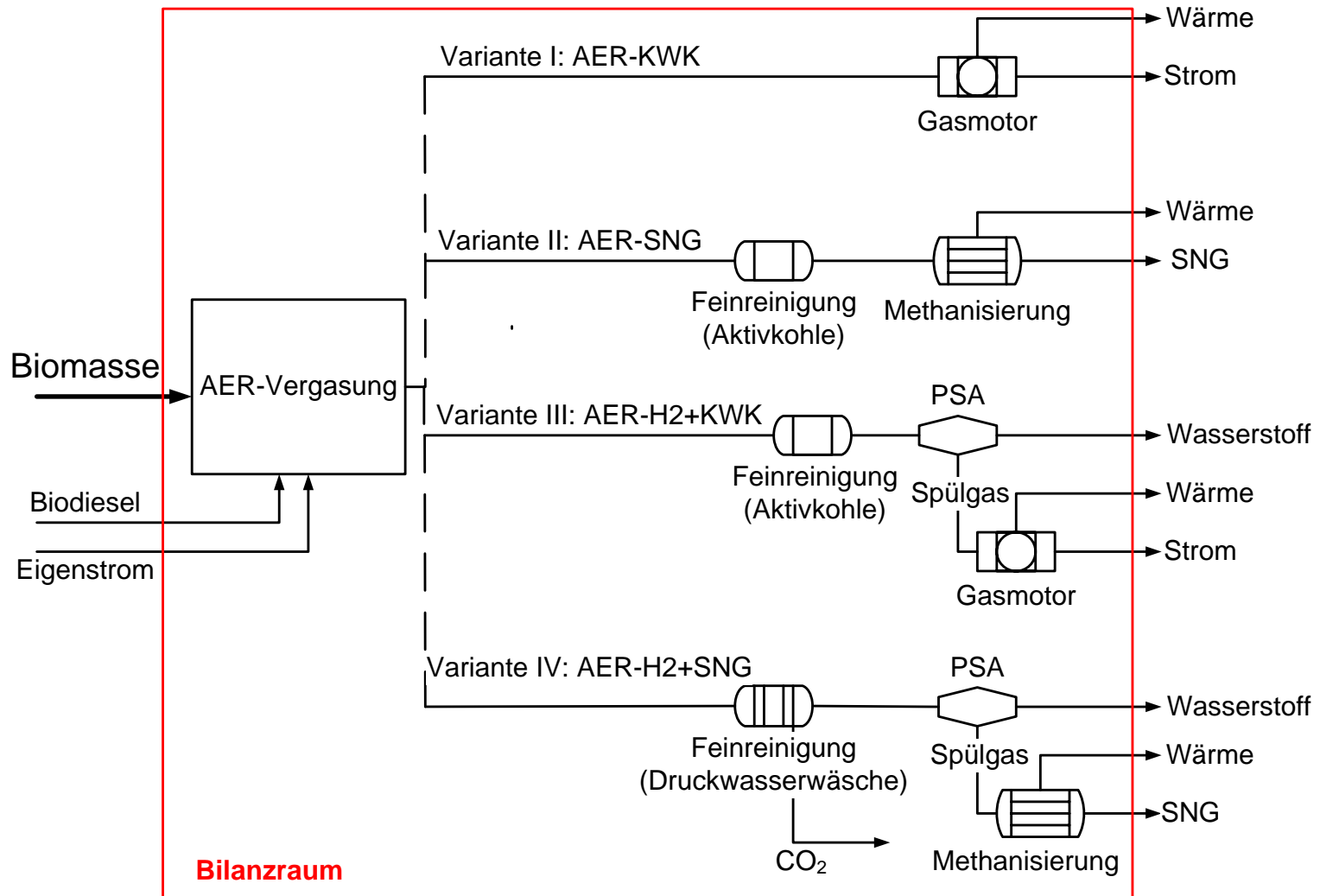
- Variante I: Verbrennung Synthesegas in Gasmotor + ORC
→ Strom + Wärme

Bioraffineriepfade: Gasförmige Brennstoffe aus AER-Synthesegas

- Variante II: Gasreinigung (AK) und Methanisierung
→ SNG + Wärme
- Variante III: Gasreinigung (AK), H₂-Abtrennung (PSA), Nutzung Offgas KWK
→ H₂ + Strom + Wärme
- Variante IV: Gasreinigung (DWW), H₂-Abtrennung (PSA), Methanisierung Offgas
→ H₂ + SNG + Wärme



Übersicht Aufbereitungspfade



Variante I: AER-KWK - IPSEpro

B2G TPV Kette1 KWK mit Gasmotor und ORC

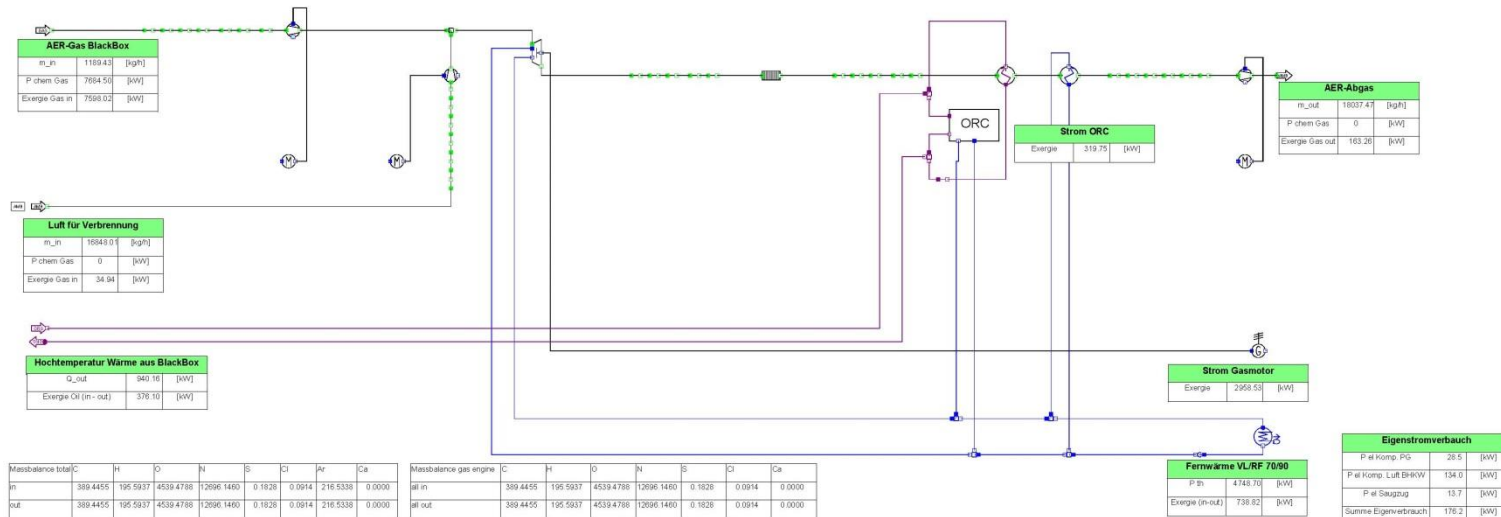
AER-Gas BlackBox	
Hauptkomponenten	
CO	8.09 [vol%]
CO2	9.88 [vol%]
H2	60.19 [vol%]
H2O	10.21 [vol%]
N2	0.05 [vol%]
CH4	9.30 [vol%]
C2H4	1.35 [vol%]
C2H6	0.45 [vol%]
C3H8	0.45 [vol%]
anorg. Verunreinigungen	
H2S	96.52 [mgNm³]
HCl	46.69 [mgNm³]
NH3	285.98 [mgNm³]
HCN	15.08 [mgNm³]
Zustandsgrößen	
Temperatur	45.00 [°C]
Druck	0.94 [bar]
Teer	0.02 [gNm³]
Volumenstrom	2241.92 [Nm³/h]

Luft für Verbrennung	
Hauptkomponenten	
CO	0.00 [vol%]
CO2	0.04 [vol%]
H2	0.00 [vol%]
H2O	0.36 [vol%]
N2	777.80 [vol%]
CH4	0.00 [vol%]
C2H4	0.00 [vol%]
C2H6	0.00 [vol%]
C3H8	0.00 [vol%]
anorg. Verunreinigungen	
H2S	0.00 [mgNm³]
HCl	0.00 [mgNm³]
NH3	0.00 [mgNm³]
HCN	0.00 [mgNm³]
Zustandsgrößen	
Temperatur	20.00 [°C]
Druck	0.97 [bar]
Teer	0.00 [gNm³]
Volumenstrom	13055.25 [Nm³/h]

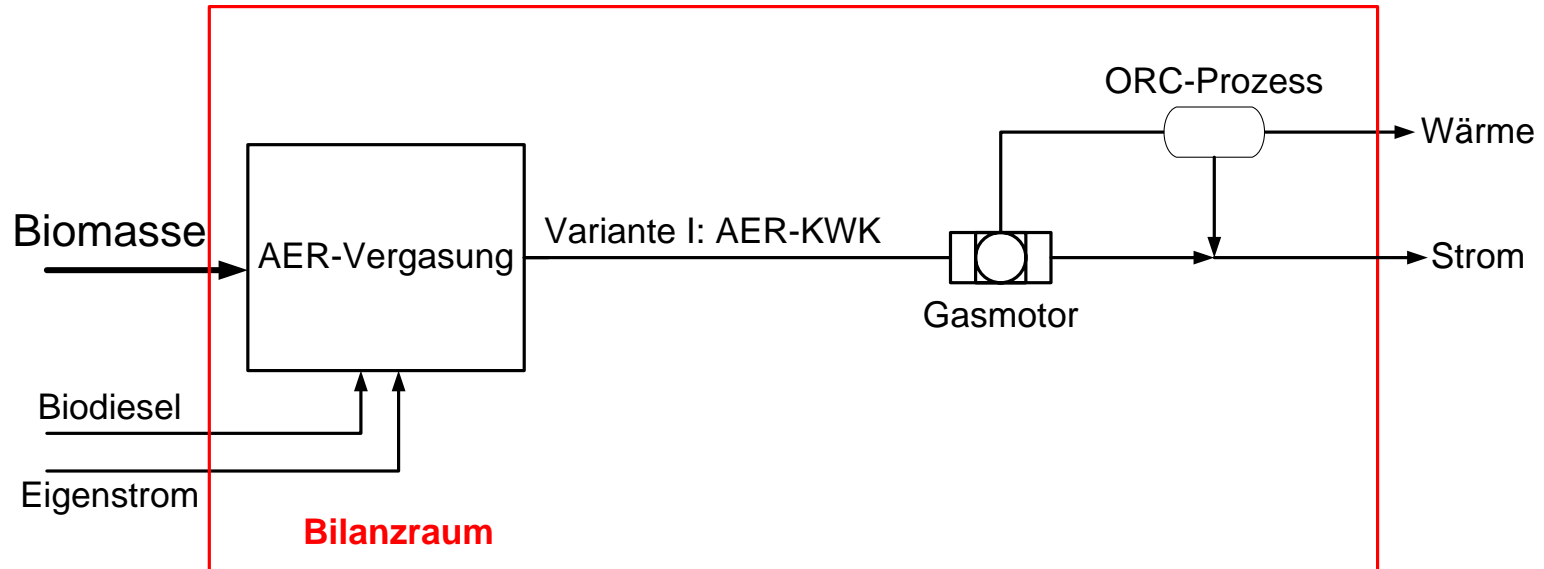
AER-Motorgas	
Hauptkomponenten	
CO	0.17 [vol%]
CO2	4.80 [vol%]
H2	0.00 [vol%]
H2O	14.90 [vol%]
N2	69.77 [vol%]
CH4	0.01 [vol%]
C2H4	0.00 [vol%]
C2H6	0.00 [vol%]
C3H8	0.00 [vol%]
anorg. Verunreinigungen	
SO2	29.43 [mgNm³]
HCl	7.59 [mgNm³]
NOx	84.33 [mgNm³]
Zustandsgrößen	
Temperatur	350.00 [°C]
Druck	3.05 [bar]
Gesamtteer	0.00 [gNm³]
Volumenstrom	14559.17 [Nm³/h]

AER-Katalysator	
Hauptkomponenten	
CO	0.00 [vol%]
CO2	4.99 [vol%]
H2	0.00 [vol%]
H2O	14.95 [vol%]
N2	69.83 [vol%]
CH4	0.00 [vol%]
C2H4	0.00 [vol%]
C2H6	0.00 [vol%]
C3H8	0.00 [vol%]
anorg. Verunreinigungen	
SO2	29.52 [mgNm³]
HCl	7.60 [mgNm³]
NOx	84.45 [mgNm³]
Zustandsgrößen	
Temperatur	369.54 [°C]
Druck	3.00 [bar]
Gesamtteer	0.00 [gNm³]
Volumenstrom	14547.33 [Nm³/h]

AER-Abgas	
Hauptkomponenten	
CO	0.00 [vol%]
CO2	4.99 [vol%]
H2	0.00 [vol%]
H2O	14.95 [vol%]
N2	69.83 [vol%]
CH4	0.00 [vol%]
C2H4	0.00 [vol%]
C2H6	0.00 [vol%]
C3H8	0.00 [vol%]
anorg. Verunreinigungen	
SO2	29.52 [mgNm³]
HCl	7.60 [mgNm³]
NOx	84.45 [mgNm³]
Zustandsgrößen	
Temperatur	50.00 [°C]
Druck	0.95 [bar]
Gesamtteer	0.00 [gNm³]
Volumenstrom	14547.33 [Nm³/h]



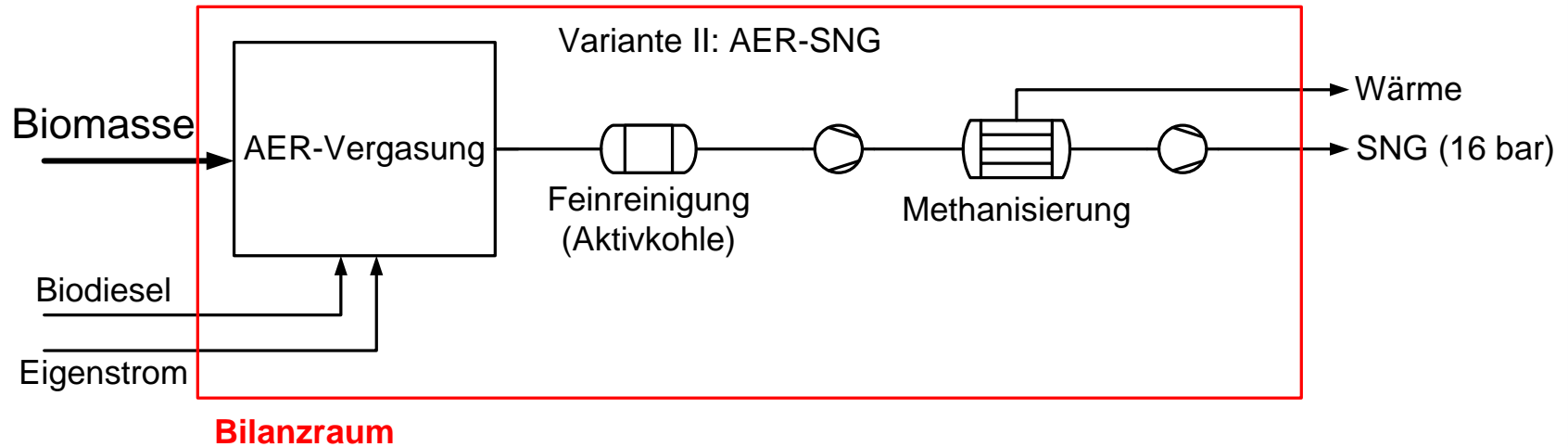
Variante I: AER-KWK



ORC: Organic Rankine Cycle

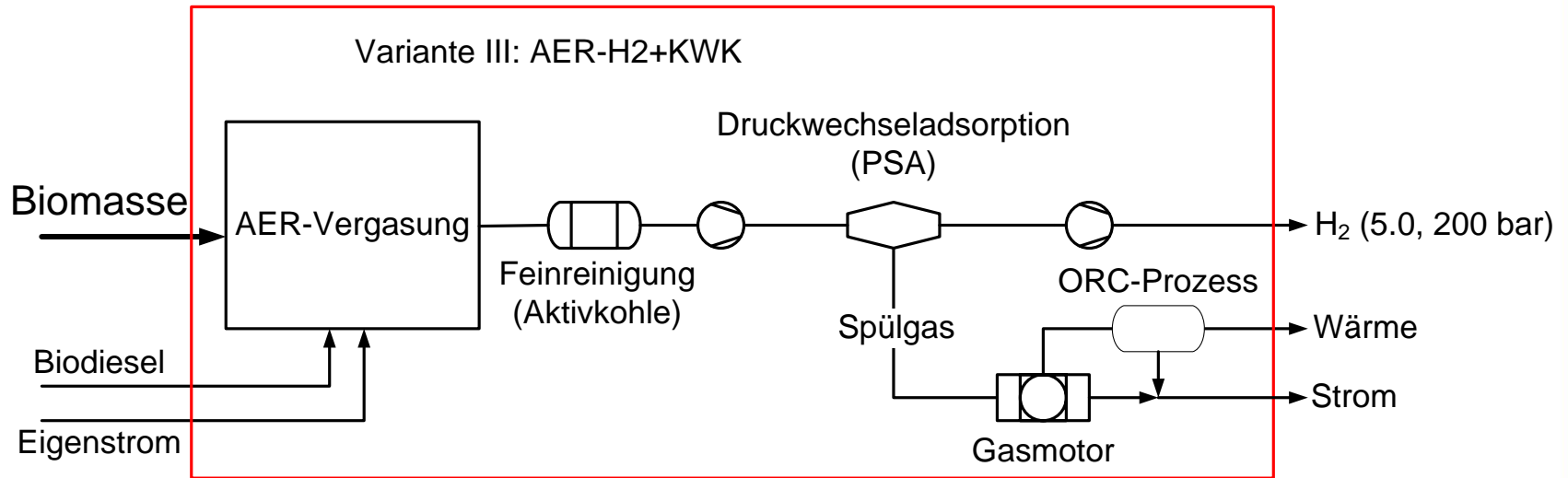
- Eigenstromverbrauch AER-Synthesegaserzeugung: 295 kW
 - Eigenstromverbrauch Gasaufbereitung: 176 kW
 - El. Wirkungsgrad Gasmotor: 38,5 %
 - El. Wirkungsgrad ORC-Prozess: 15 %
- Output Nutzenergie: 3,28 MW Strom + 4,75 MW Fernwärme

Variante II: AER-SNG



- Eigenstromverbrauch AER-Synthesegaserzeugung: 295 kW
 - Eigenstromverbrauch Gasaufbereitung: 377 kW
 - Chem. Wirkungsgrad Methanisierung: 84 % (7 bar)
- Output Nutzenergie: 6,76 MW SNG + 2,09 MW Fernwärme

Variante III: AER-H₂+KWK

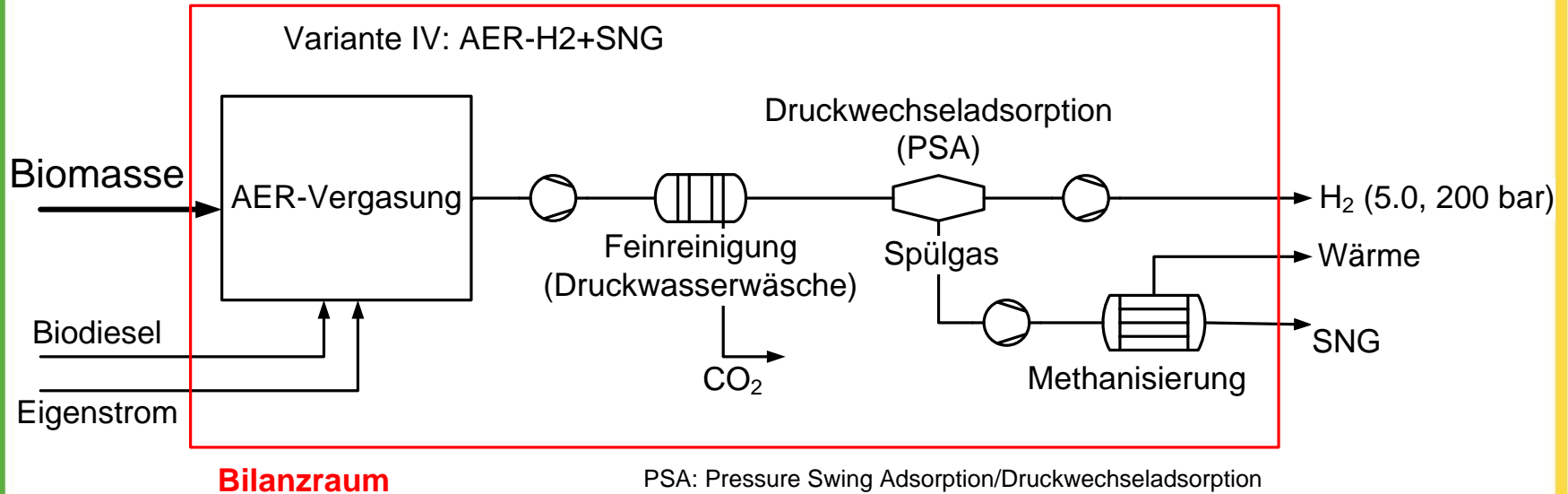


Bilanzraum

PSA: Pressure Swing Adsorption/Druckwechseladsorption
ORC: Organic Rankine Cycle

- Eigenstromverbrauch AER-Synthesegaserzeugung: 295 kW
 - Eigenstromverbrauch Gasaufbereitung: 679 kW
 - Trenneffizienz Druckwechseladsorption (PSA): 70 %
 - El. Wirkungsgrad Gasmotor: 38,5 %
 - El. Wirkungsgrad ORC-Prozess: 15 %
- Output Nutzenergie: 2,9 MW H₂ + 1,87 MW Strom + 3,2 MW Fernwärme

Variante IV: AER-H₂+SNG



- Eigenstromverbrauch AER-Synthesegaserzeugung: 295 kW
 - Eigenstromverbrauch Gasaufbereitung: 657 kW
 - Trenneffizienz Druckwechseladsorption (PSA): 45 %
 - Chem. Wirkungsgrad Methanisierung: 84 % (7 bar)
- Output Nutzenergie: 1,8 MW H₂ + 5,15 MW SNG + 1,62 MW Fernwärme

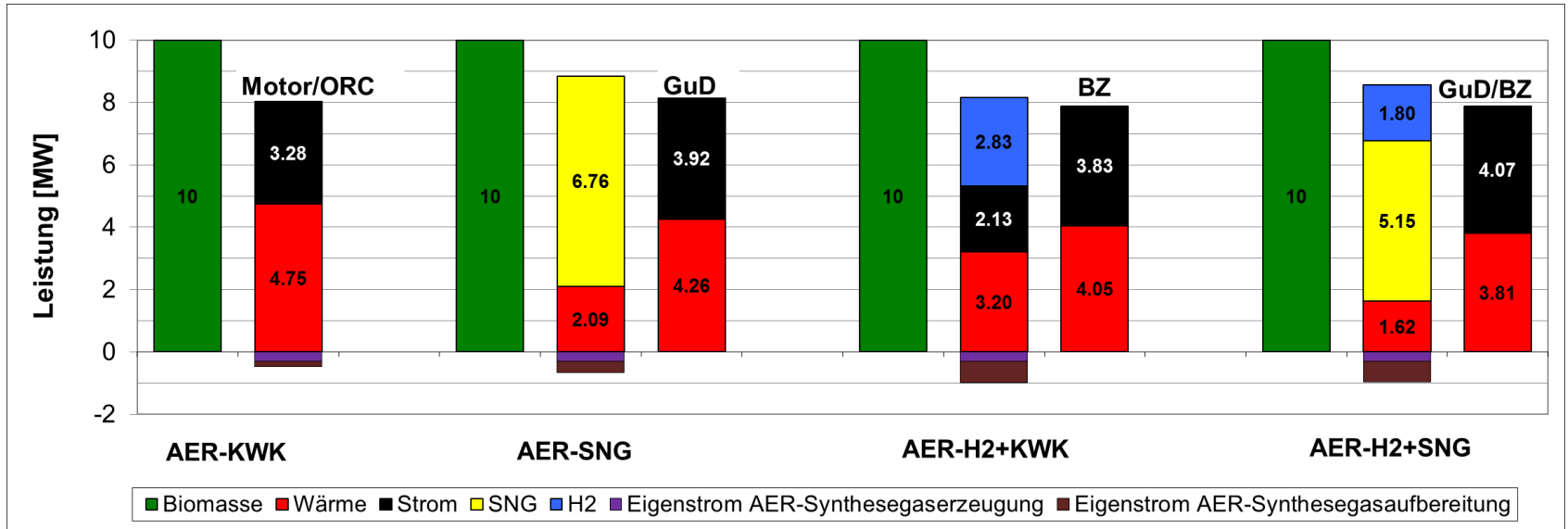
Simulationsergebnisse Wirkungsgrad

Energetischer Wirkungsgrad :

$$\eta_{en,ges} = \frac{\sum P_{Produkte}}{\sum P_{Edukte}} = \frac{P_{el,Gasmotor} + P_{el,ORC} + P_{th,Wärme} + P_{chem,SNG} + P_{chem,H_2}}{P_{chem,Biomasse,wet,lhv}}$$

Prozess Produkte	AER-KWK Strom+Wärme	AER-SNG SNG+Wärme	AER-H2+KWK H2+Strom+Wärme	AER-H2+SNG H2+SNG+Wärme
$\eta_{en,ges}$	0.803	0.885	0.816	0.857
$\eta_{en,Strom}$	0.328		0.213	
$\eta_{en,Wärme}$	0.475	0.209	0.320	0.162
$\eta_{en,SNG}$		0.676		0.515
η_{en,H_2}			0.283	0.180

Simulationsergebnisse Endenergie



Annahmen Endenergieerzeugung:

GuD-Kraftwerk (SNG, 16 bar): $\eta_{el} = 58\%$, $\eta_{th} = 32\%$

Brennstoffzelle (H₂, 200 bar): $\eta_{el} = 60\%$, $\eta_{th} = 30\%$

- „Nachverstromung“ energetisch vergleichbar mit AER-KWK
- „Nachverstromung“ bietet Möglichkeit der Energiespeicherung
- Räumliche und zeitliche Entkopplung Vergasung und Endenergieerzeugung
- Gesamtwirkungsgrad nur hoch bei hoher Wärmenutzung

Zusammenfassung und Ausblick

- Simulation und Auswertung Gasaufbereitung AER-Vergasung erfolgt
 - Verschiedene Varianten verglichen
 - AER-Synthesegas vielseitig einsetzbar
 - AER-Technologie aufgrund Flexibilität für Bioraffinerie geeignet
 - Daten für systemanalytische Bewertung in TPVIII stehen zur Verfügung
-
- Simulationsergebnisse basieren auf Einsatz Waldrestholz
 - Für weiterführende Simulationen in b2g-Bioraffinerie-Konzepten muss Umsatzverhalten von Gärresten bei AER-Biomassevergasung experimentell bestimmt und modelliert werden

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

FKz 03SF0357: gefördert durch



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

