

Teilprojekt V: Prozess-Simulation AER-Vergasung

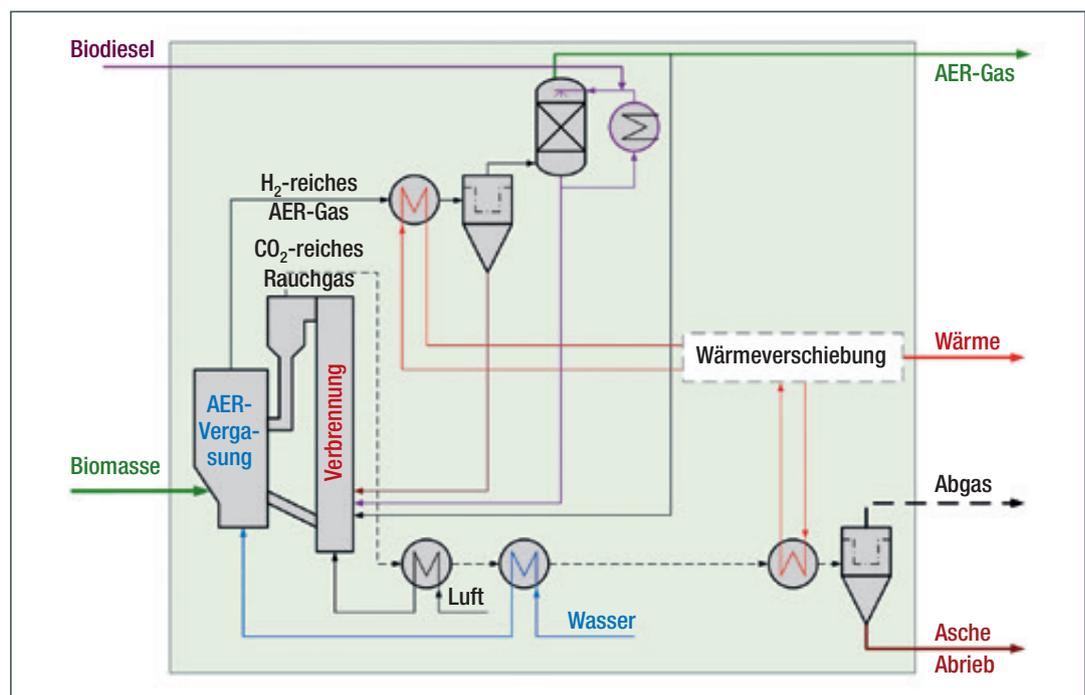
Ziel der Energiewende ist die nachhaltige Bereitstellung von Strom, Wärme und Kraftstoffen aus regenerativen Quellen. Insbesondere die Bereitstellung von regenerativen, chemischen Energieträgern stellt dabei eine große Herausforderung dar. Ein vielversprechender Ansatz zur nachhaltigen Erzeugung von chemischen Energieträgern ist die thermochemische Vergasung biogener Reststoffe (wie z. B. Gärreste).

Bei der thermochemischen Konversion mittels absorptionsunterstützter Wasserdampfreformierung (AER, Absorption Enhanced Reforming) wird aus fester Biomasse (z. B. Waldrestholz, biogene Reststoffe, Gärreste etc.) ein hochwertiges AER-Gas erzeugt [1]. Dieses ist aufgrund des hohen Wasserstoffanteils zur Erzeugung von Erdgassubstitut (SNG, Substitute Natural Gas) oder der Abtrennung von Wasserstoff (H_2) prädestiniert. SNG und Wasserstoff stellen chemische Sekundärenergieträger dar, die eine Speicherung der in der Biomasse enthaltenen Energie ermöglichen und vielseitig einsetzbar sind (z. B. Stromerzeugung, Verkehr). **Abbildung 1** zeigt ein Schema der AER-Biomassevergasung zur Erzeugung eines vorgereinigten AER-Gases aus Biomasse.

Bei der AER-Vergasung wird Biomasse im Vergasungsteil der Zweibett-Wirbelschicht mit Wasserdampf vergast, wobei durch die CO_2 -Absorption

des Bettmaterials ein H_2 -reiches AER-Gas entsteht. Der bei der Vergasung zurückbleibende Koks wird mit dem CO_2 -beladenen Bettmaterial in den Verbrennungsteil transportiert, wo die für die Vergasung notwendige Wärme durch die Verbrennung des Kokes mit Luft erzeugt wird. Das AER-Gas wird nach dem Vergaser gekühlt und in einem Filter von Staub und Flugkoks gereinigt, die anschließend dem Verbrennungsteil zugeführt werden. Anschließend wird das Gas in einem Biodiesel-Wäscher gekühlt und von Teeren gereinigt. Das Waschmedium wird dabei in einem Kreislauf geführt, wobei kontinuierlich belastetes Waschmedium im Verbrennungsteil entsorgt und durch frisches ersetzt wird. Das im Verbrennungsteil entstehende Rauchgas wird ebenfalls gekühlt und die Wärme zur Vorwärmung der Verbrennungsluft bzw. zur Erzeugung des Vergasungsmediums Wasserdampf verwendet. Nach einer weiteren Kühlung des Rauchgases werden der Bettmaterialabrieb und die Asche in einem Filter entfernt und das Gas in die Umgebung überführt. Die überschüssige Wärme aus AER-Gas und Rauchgas wird an ein anlageninternes Hochtemperatur-Wärmemanagement auf Thermoölbasis übergeben, das Wärme für Teilprozessschritte der Gasaufbereitung oder Fernwärmeauskopplung übergibt. In **Tabelle 1** sind die Energie- und Stoffströme der im Rahmen

Abb. 1: Schema der AER-Biomassevergasung zur Erzeugung eines vorgereinigten AER-Gases



Quelle: ZSW

des Projektes betrachteten AER-Gaserzeugung dargestellt. Im Fokus des Teilprojektes V „Prozess-Simulation AER-Vergasung“ stand die theoretische Untersuchung verschiedener Synthesegasaufbereitungspfade der AER-Biomassevergasung mit der Simulationssoftware IPSE pro [2].

Vorgehensweise

Bei der Untersuchung verschiedener Aufbereitungspfade des Produktgases der AER-Biomassevergasung wurde die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung mit einem Gasmotor (BHKW) als Referenzfall verschiedenen Varianten der Polygeneration von Erdgassubstitut und/oder Wasserstoff gegenübergestellt. Das Erdgassubstitut (H-Gas) sollte für eine Einspeisung in ein Mitteldrucknetz bei 16 bar vorliegen. Für den erzeugten Wasserstoff wurden eine Reinheit von 99,999 Vol.-% und ein Druck von 200 bar gewählt. Für die Erzeugung wurden vier unterschiedliche Gasaufbereitungsvarianten ausgewählt und als Gesamtprozessketten simuliert (Abb. 2).

Variante I betrachtete die Erzeugung von Strom und Wärme (KWK) durch Verbrennung des AER-Gases in einem Gasmotor und die Abwärmenutzung in einem ORC-Prozess (Organic-Rankine-Cycle). Durch die Nutzung der Abwärme des Gasmotors in einem ORC-Prozess kann die Stromausbeute aus dem AER-Gas zusätzlich erhöht werden. Aufgrund des hohen H₂-Anteils des AER-Gases wurde in der Simulation von einem elektrischen Wirkungsgrad des Gasmotors von 38,5 Prozent ausgegangen. Der elektrische Wirkungsgrad des ORC-Prozesses wurde mit 15 Prozent angenommen.

In **Variante II** wurde die Erzeugung von SNG und Wärme simuliert. Hierfür wurde das AER-Gas mit einem Aktivkohlefilter feingereinigt, um Schwefelverbindungen und weitere Schadstoffe zu entfernen, die den bei der Methansynthese verwendeten Katalysator schädigen können. Nach einer Kompression erfolgte die Methanisie-

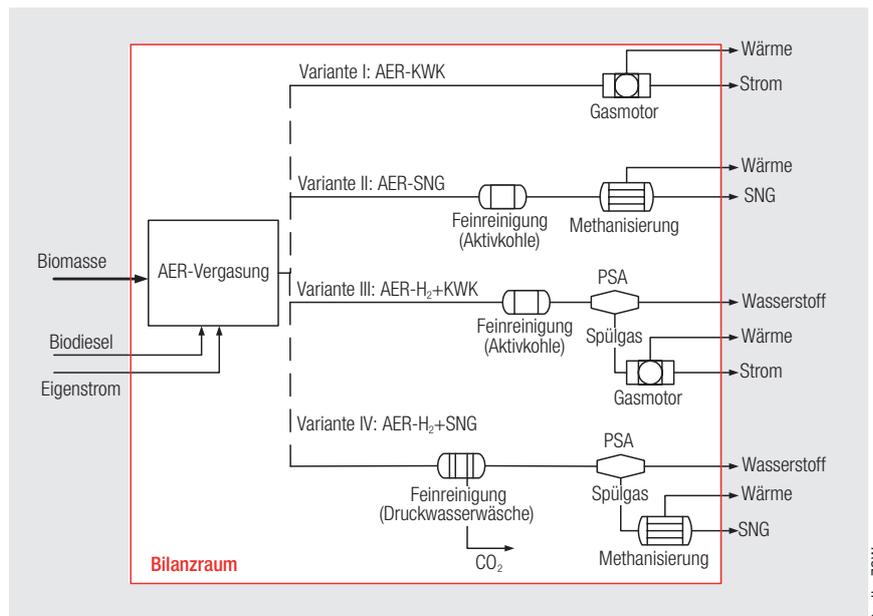


Abb. 2: Übersicht über die untersuchten Varianten der Gasaufbereitung von AER-Gas

... rung des Synthesegases bei 7 bar. Bei der Simulation der Methanisierung wurde ein wandgekühlter Festbettreaktor mit Nickel als aktive Komponente des Katalysators betrachtet. Dabei wurde angenommen, dass die ablaufenden Reaktionen bis zum thermodynamischen Gleichgewicht reagieren. Der chemische Wirkungsgrad der Methanisierungseinheit errechnete sich zu 84 Prozent.

Für die Erzeugung von Wasserstoff, Strom und Wärme in **Variante III** wurde das AER-Gas zunächst ebenfalls mittels Aktivkohle feingereinigt. Anschließend erfolgte nach einer Kompression eine Wasserstoffabtrennung mit einer Druckwechseladsorption (PSA, Pressure Swing Adsorption). Die Druckwechseladsorption ist ein physikalisches Verfahren zur Trennung von Gasgemischen unter Druck mit-

Tabelle 1: Energie- und Stoffströme der Synthesegaserzeugung der simulierten AER-Biomassevergasung

Feuerungswärmeleistung (vor Trocknung)	10 MW
	ca. 2.500 kg/h Holz
AER-Gasleistung	7,68 MW
	ca. 2.200 m ³ /h (NTP)
Zusammensetzung AER-Gas nach Teerwäscher	
H ₂	67 Vol.-% _{tr}
CO ₂	11 Vol.-% _{tr}
CO	9 Vol.-% _{tr}
CH ₄	11 Vol.-% _{tr}
H ₂ O	10 Vol.-%
Wärmeüberschuss	ca. 1 MW
Verbrauch Biodiesel für Teerwäscher	ca. 20 kg/h
Verbrauch Bettmaterial Kalkstein (CaCO ₃)	ca. 250 kg/h
Bedarf Frischwasser	ca. 500 kg/h
Eigenstrombedarf AER-Gaserzeugung	295 kW
Asche- und Bettmaterialabrieb (CaO)	ca. 200 kg/h

tels Adsorption, bei dem neben dem gewünschten Reingasstrom ein Spülgasstrom mit den abgetrennten Gaskomponenten entsteht. Aus dem heizwertreichen Spülgasstrom wurde analog zu Variante I Strom in einem Gasmotor erzeugt und die Abwärme in einem ORC-Prozess genutzt.

Variante IV untersuchte die Erzeugung von Wasserstoff, SNG und Wärme. Bei dieser Variante erfolgte nach einer Kompression die Feinreinigung des AER-Gases durch Druckwasserwäsche mit integrierter CO₂-Abtrennung. Anschließend erfolgte nach erneuter Kompression die Wasserstoffabtrennung mittels Druckwechseladsorption (PSA), wobei nur genau so viel Wasserstoff abgetrennt wurde, dass noch genug Wasserstoff im Spülgas verblieb, um es vollständig zu methanisieren. Daher wurden bei dieser Variante nur etwa 45 Prozent des Wasserstoffs abgetrennt.

Glg. 1:

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

Tabelle 2: Ermittelte Energetische Wirkungsgrade der untersuchten Gasaufbereitungsvarianten des AER-Gases

Prozess Produkte	AER-KWK Strom+Wärme	AER-SNG SNG+Wärme	AER-H ₂ +KWK H ₂ +Strom+Wärme	AER-H ₂ +SNG H ₂ +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

Quelle: ZSW

Tabelle 3: Wirkungsgrade und Eigenstromverbrauch der simulierten AER-Gasaufbereitungsketten

Eigenstromverbrauch AER-Synthesegaserzeugung	295 kW
Eigenstromverbrauch Gasaufbereitung Variante I	176 kW
Eigenstromverbrauch Gasaufbereitung Variante II	377 kW
Eigenstromverbrauch Gasaufbereitung Variante III	679 kW
Eigenstromverbrauch Gasaufbereitung Variante IV	657 kW
El. Wirkungsgrad Gasmotor	38,5 %
El. Wirkungsgrad ORC-Prozess	15 %
Chemischer Wirkungsgrad Methanisierung	84 %
Trenneffizienz Druckwechseladsorption Variante III	70 %
Trenneffizienz Druckwechseladsorption Variante IV	45 %

Quelle: ZSW

Ergebnisse

Für die Simulation der AER-Gasaufbereitungspfade wurden mit Hilfe der Simulation optimale Verschaltungen und Betriebsparameter der unterschiedlichen Gasreinigungs- bzw. Gastrennprozesse ermittelt. Anschließend wurden mit Hilfe der Simulation für jede Variante die Massen- und Energiebilanzen gelöst und somit die Basis für die Ermittlung der energetischen Nutzungsgrade der unterschiedlichen Varianten gelegt.

Tabelle 2 zeigt die errechneten, energetischen Wirkungsgrade $\eta_{en,ges}$ der jeweiligen Gesamtkette der Produkte bezogen auf die eingesetzte Biomasse gemäß Glg. 1.

Die in **Tabelle 2** angegebenen energetischen Wirkungsgrade basieren auf den in **Tabelle 3** aufgeführten Randbedin-

gungen. Die in **Tabelle 2** angegebenen energetischen Gesamtwirkungsgrade liegen für alle untersuchten Varianten über 80 Prozent und bedeuten eine effiziente Nutzung der eingesetzten Biomasse. Die Simulationen haben gezeigt, dass das AER-Gas vielseitig einsetzbar ist und sich für die effiziente Erzeugung chemischer Sekundärenergieträger eignet. Diese bieten den Vorteil der räumlich und zeitlich entkoppelten Endenergieerzeugung, was bei immer weiter steigendem Anteil fluktuierender, erneuerbarer Energie einen wesentlichen Vorteil für das Energiesystem der Zukunft darstellt. Sämtliche Simulationsergebnisse wurden den Projektpartnern von TP VIII zur Durchführung einer ökonomischen und ökologischen Analyse der AER-Biomassevergasung zur Verfügung gestellt. ■

Literaturverzeichnis:

- [1] Brellocks, J.; Steiert, S.; Specht, M.; Poboss, N.; Buchholz, D.: Biomass to Gas – Energetische Nutzung biogener Reststoffe mit AER-Technologie. Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“. 2013, Bd. 12, S. 32-43.
- [2] Pröll, T.; Hofbauer, H.: Development and Application of a Simulation Tool for Biomass Gasification Based Processes. International Journal of Chemical Reaction Engineering. 2008, Bd. 6:A89.

Die Autoren

Dipl.-Ing. Stefan Steiert,
Dipl.-Ing. Jochen Brellocks,
Dr. Michael Specht

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

Kontakt:

Stefan Steiert
 Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)
 Industriestr. 6
 70565 Stuttgart
 Tel.: 0711 7870-257
 E-Mail: stefan.steiert@zsw-bw.de
 Internet: www.zsw-bw.de