

# Hochtemperaturvergasung von vorbehandelter Biomasse in einem Flugstromvergaser – Inbetriebnahme einer 100 kW Versuchsanlage

Michael Kremling, Ludwig Briesemeister, Hartmut Spliethoff, Matthias Gaderer

Lehrstuhl für Energiesysteme, TU München  
Boltzmannstraße 15, D-85748 Garching  
Telefon: +49 89 289 16275, Fax: +49 89 289 16271

[michael.kremling@tum.de](mailto:michael.kremling@tum.de)

[www.es.mw.tum.de](http://www.es.mw.tum.de)

## 1 Motivation

Die Vergasung von Biomasse bietet gegenüber der direkten thermischen Verwertung (Verbrennung) eine Vielzahl von energetischen Nutzungsmöglichkeiten und das Potential von Emissionsminderungen. Das entstehende Produktgas kann direkt zur Stromerzeugung (BHKW, Mikrogasturbine, Brennstoffzelle) genutzt oder katalytisch aufbereitet und als SNG oder BtL-Treibstoff gespeichert werden [1]. Für nahezu alle Anwendungen ist ein teerfreies Gas erforderlich. Stand der Technik im Bereich der Biomassevergasung ist die Wirbelschichtvergasung. Da die Betriebstemperatur hierbei auf  $< 950\text{ °C}$  limitiert ist, enthält das entstehende Produktgas i. d. R. eine große Menge an Teer. Dies führt zur Notwendigkeit einer Produktgasreinigung /-nachbehandlung. Der zusätzliche apparative Aufwand erhöht die Kosten.

Der neue Ansatz ist die Nutzung eines Flugstromvergasers (Stand der Technik in der Kohlevergasung) zur Vergasung von Biomasse. Die Temperatur in einem Flugstromvergaser erreicht bis zu  $1500\text{ °C}$ . Damit ist das entstehende Produktgas weitestgehend teerfrei und hat einen sehr geringen Methangehalt [2]. Um die Biomasse in einem Flugstromvergaser einsetzen zu können, muss diese homogen, trocken und als Pulver vorliegen. Holzartige Biomassen können mittels Torrefizierung (TF) und anschließender Mahlung nutzbar gemacht werden. Für nasse und inhomogene Biomassen kann die hydrothermale Karbonisierung (HTC) angewendet werden. Durch HTC kann jede Art von Biomasse zu einem hochwertigen homogenen Brennstoff aufbereitet werden. Somit können auch bisher wenig oder gar nicht genutzte Biomassen, die nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion stehen (z. B. Grasgrünschnitt, Laub, landwirtschaftliche Reststoffe), eingesetzt werden. Mit diesem Ansatz erschließt sich daher ein bisher nicht genutztes Potential.

Grundsätzlich wurde schon gezeigt, dass die Flugstromvergasung von Biomasse gegenüber der Wirbelschichtvergasung konkurrenzfähig sein kann [3]. Aktuell wird in verschiedenen Projekten der Einsatz von Biomasse-Flugstromvergasern vor allem zur Erzeugung von BtL-Treibstoffen in Bioraffinerien verfolgt (Bioliq, BioTFuel, BioDME) [4]. Untersuchungen im Technikumsmaßstab sind bekannt aus [5], [6]. Der Einsatz von Biokohle aus der hydrothermalen Karbonisierung sowie generell die Vergasung von vorbehandelter Biomasse im Flugstromvergaser zur Stromerzeugung im mittleren Leistungsbereich ist hingegen bisher nicht oder nur wenig untersucht und soll daher im Fokus dieser Arbeit stehen.

## 2 Auslegung der Versuchsanlage

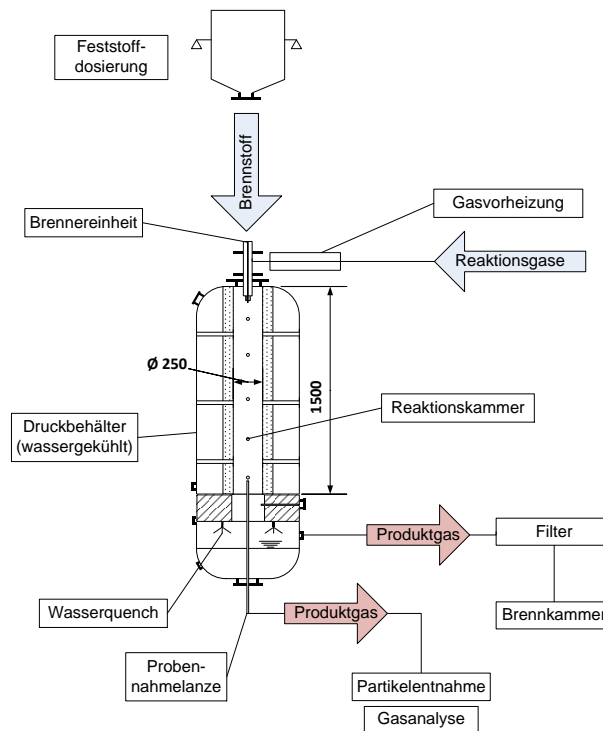
Um die Vergasung von vorbehandelter Biomasse in einem Flugstromvergaser untersuchen zu können, wurde am Lehrstuhl für Energiesysteme eine 100 kW Versuchsanlage ausgelegt und errichtet. Ziel ist es eine gute Gasqualität und einen möglichst hohen Kaltgaswirkungsgrad zu erreichen. Außerdem sollen Erfahrungen hinsichtlich des Asche- / Schlackeverhaltens im Vergaser gesammelt sowie der Einfluss der Vorbehandlung auf die Vergasungseigenschaften betrachtet werden. Eine Anforderung an die Anlage war auch ein möglichst industrienahe Design, um den Prozess so realistisch wie möglich abzubilden. Daher wird die Anlage autotherm betrieben. Die für die Vergasung notwendige Energie kommt aus der Teilverbrennung des Brennstoffes in einem Brenner. Außerdem verfügt die Anlage über eine in der Industrie übliche speicherprogrammierbare Steuerung (Siemens S7). Die wichtigsten Betriebsparameter der Anlage sind in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1:** Betriebsparameter

Betriebsweise	autotherm (mit Brenner)
Temperatur:	bis 1500 °C
Druck:	0 bis 5 bar g
Brennstoffleistung:	100 kW (+/- 25 %)
Vergasungsmedium:	Luft, O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>
Versuchsbetrieb (ohne Brennstoffnachfüllung)	ca.10 h

Abbildung 1 zeigt ein vereinfachtes Verfahrensfliessbild mit allen wichtigen Komponenten dargestellt. Der zylindrische Reaktionsraum hat einen Durchmesser von 0,25 m und eine Länge von 1,5 m. Die Dimensionen wurden anhand reaktionskinetischer Berechnungen festgelegt. Als Auslegungsbrennstoff wurde eine

HTC-Kohle aus durchschnittlich über das Jahr anfallenden Reststoffen (z. B. Grasgrünschnitt, Laub) herangezogen [7].



**Abbildung 1:** vereinfachtes Verfahrensfliessbild der Versuchsanlage

Die Anlage verfügt über eine pneumatische Dichtstromförderung (10–25 kg/h). Die Biomasse wird zusammen mit dem jeweiligen Vergasungsmedium (Luft, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Dampf) über den Brenner eingebracht. Die Temperatur im Reaktionsraum liegt je nach Betriebsweise bei 1000 °C – 1500 °C. Daher besteht dieser aus einer Ausmauerung mit mehreren Schichten Feuerfestmaterial. Das Produktgas wird in einem Wasserquench abgekühlt und anschließend in einer Fackel verbrannt. Damit der Prozess auch bei Überdruck bis 5 bar betrieben werden kann, besteht der Außenmantel aus einem Druckbehälter. Der Vergaser hat eine Gesamthöhe von ca. 3,5 m und einen Durchmesser von 0,8 m. Um den Vergaser vor Versuchsbetrieb auf Temperatur zu bringen, sind in die Ausmauerung elektrische Heizer (32 kW, bis 1.100 °C) integriert.

Eine bedeutende Rolle für den stabilen Versuchsbetrieb und die wissenschaftliche Aussagekraft spielt die Planung der Messtechnik. Mit einer gekühlten Lanze können Gas- und Partikelproben in verschiedenen Höhen aus dem Reaktionsraum entnommen werden. Für die Gasanalyse sind zwei getrennte

Messsysteme vorgesehen. Ein Online-Gasmessschrank misst kontinuierlich in Echtzeit die Hauptgaskomponenten ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{O}_2$ ). Dieser Gasmessschrank dient vor allem der Prozesssteuerung und -überwachung. Zusätzlich erfolgt eine Gasanalyse mit einem GC/WLD. Sämtliche Kühl- und Quenchwasserströme werden erfasst. Somit kann die Energie- und Massenbilanz geschlossen werden. Die Flamme des Brenners wird zusätzlich zu einem Flammenwächter auch mit einer Feuerraumkamera überwacht. Damit können qualitative Aussagen zum Flammenbild in Abhängigkeit des Brennerdesigns getroffen werden.

### 3 Inbetriebnahme der Versuchsanlage

Die Anlage besteht aus verschiedenen Funktionseinheiten, die über eine gemeinsame Steuerung verfügen. Eine Ansicht der Bedienoberfläche ist in Abbildung 2 dargestellt.

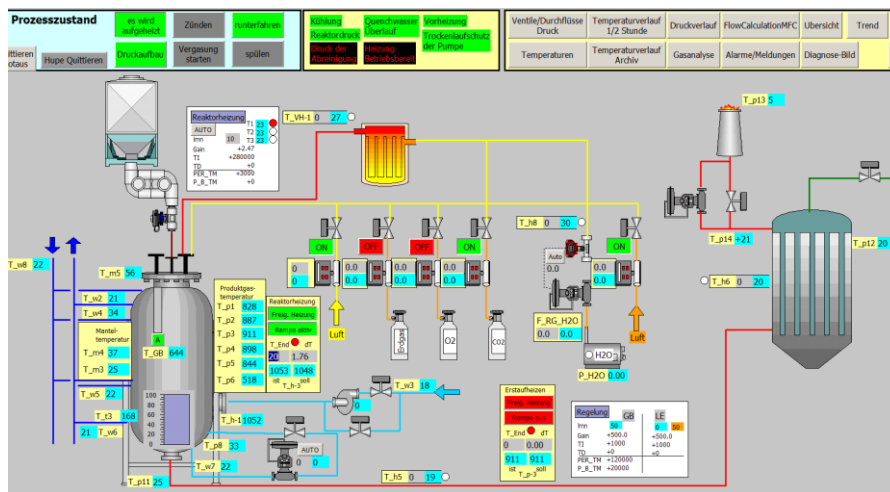


Abbildung 2: Bedienoberfläche der Anlagensteuerung

Die einzelnen Einheiten (z.B. Gasdosierung, Quench, Fackel,...) wurden zunächst jeweils separat in Betrieb genommen und getestet. Die Anlage verfügt über eine redundant ausgeführte Hardware-Sicherheitskette, die bei Überschreitung kritischer Parameter (Druck, Temperatur) die Anlage in einen betriebssicheren Zustand bringt. Die Erstaufheizung wurde mit einem 100 kW Erdgasbrenner durchgeführt. Dazu wurde eine vom Hersteller der Ausmauerung vorgegebene Aufheizkurve abgefahren. Diese Erstaufheizung lief über einen Zeitraum von 84 h und beinhaltete Haltephasen bei verschiedenen Temperaturen. Die erforderliche Endtemperatur betrug  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$  und wurde erreicht. Während dieser Erstaufheizung konnten auch sämtliche andere Komponenten im Zusammenspiel erfolgreich getestet werden. Nach dem Abkühlen

wurde die elektrische Heizung in Betrieb genommen und damit die Reaktionsraumwand auf eine Temperatur von 900°C gebracht. Das Konzept der in der Ausmauerung liegenden elektrischen Heizung zum Anfahren [7] hat über mehrere Tage seine Funktion wie geplant erfüllt. Damit sind die wichtigen Schritte zur Gesamteinbetriebnahme gemacht.

## **4 Ausblick**

Aktuell erfolgt die Installation und Inbetriebnahme der Gasanalysestrecke sowie die Kopplung der pneumatischen Dosierung mit dem Vergaser. Anschließend kann der erste Betrieb im Vergasungsmodus (mit Luft als Vergasungsmedium) durchgeführt werden. Dies ist für Anfang 2015 geplant. Die Arbeiten zur Auslegung, Konstruktion und Bau eines Brenners für die Vergasung mit O<sub>2</sub> dauern aktuell noch an. Aussagekräftige Versuchsergebnisse werden für Mitte 2015 erwartet.

## **5 Literatur**

- [1] Kaltschmitt M.; Hartmann H.; Hofbauer H.: Energie aus Biomasse (2009)
- [2] Higman C.; Burgt M.: Gasification (2008)
- [3] Tremel A.; Becherer D.; Fendt S.; Gaderer M.; Spliethoff H.: Performance of entrained flow and fluidised bed biomass gasifiers on different scale, in: Energy Conversion and Management 69 (2013) 95-106
- [4] Trippe F.: Techno-Ökonomische Bewertung alternativer Verfahrenskonfigurationen zur Herstellung von Biomass-to-Liquid (BtL) Kraftstoffen und Chemikalien, Dissertation (2013)
- [5] Drift A., Boerrigter H., Coda B., Cieplik M.K., Hemmes K.: Entrained flow gasification of biomass (2004)
- [6] Weiland F., Hedman H., Marklund M., Wiinikka H., Öhrman O.: Pressurized Oxygen Blown Entrained-Flow Gasification of Wood Powder, in: Energy & Fuels (2013), 27, 932-941
- [7] Kremling M., Briesemeister L., Spliethoff H., Gaderer M.: High-Temperature Biomass Gasification in an Entrained Flow Reactor, in: Proceedings European Biomass Conference and Exhibition (2014)

Die Arbeiten laufen im Rahmen der Nachwuchsgruppe „Thermische Nutzung von Biomassen in Hochtemperaturprozessen“ (FKZ 22023911) der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e. V. Das Projekt ist gefördert durch das BMEL.