

# **Entwicklung eines Festbettvergasers mit kombinierter Gleichstrom/ Gegenstromführung zur thermischen Nutzung von Biobrennstoffen**

**AiF-FV-Nr.: 11755**

**Forschungsstelle: Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA),  
Duisburg**

**Autoren/Ansprechpartner: Dipl.-Ing. W. Senger, Dr.-Ing. E. Erich**

**Die Arbeiten wurden im Rahmen des AIF-Forschungsvorhabens Nr. 11755 (Laufzeit: 01.10.98-30.09.00) durchgeführt und wurden aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ gefördert. Dem BMWi und der AIF wird für die Förderung gedankt.**

## **1 Einleitung**

Die verstärkte energetische Nutzung von Biomasse, insbesondere von Holz, ist eine der wesentlichen Säulen, um die Vorgaben und nationalen Verpflichtungen der Klimakonferenz von Kyoto zu erfüllen. Es ist eine der vordringlichen Aufgaben, durch eine Intensivierung der Forschung und Technologie(weiter)entwicklung, die energetische Nutzung des Rohstoffes Holz gegenüber den herkömmlichen, nicht CO<sub>2</sub>-neutralen Energieträgern konkurrenzfähig zu gestalten. Dabei sind insbesondere wirtschaftliche Verbesserungen der Anlagentechniken für die Verbrennung und Vergasung von Holz sowie die Verminderungen der Umweltbelastungen beim Einsatz von Gebraucht- und Restholz zu forcieren. Die wesentliche Aufgabe liegt in der Minimierung der Emissionen durch Maßnahmen zur Optimierung der Prozeßführung und der Rauchgasreinigung. Darüber hinaus sind Fragen zum Verwertungspotential der Rückstände zu klären. In parallelen Schritten sind Verfahren zur Aufbereitung und Behandlung von biogenen Brenn- und Reststoffen zu erproben.

Die energetische Verwertung nachwachsender Rohstoffe nutzt die während des Wachstums durch Photosynthese gebundene Energie, wobei das assimilierte CO<sub>2</sub> wieder freigesetzt wird. Insofern gelten nachwachsende Rohstoffe im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen CO<sub>2</sub>-neutral. Beim Einsatz fossiler Brennstoffe zur Energieerzeugung wird das über viele Jahrtausende aus der Atmosphäre entzogene CO<sub>2</sub> spontan freigesetzt. Zusätzlich werden durch den Einsatz nachwachsender Rohstoffe die Ressourcen an fossilen Brennstoffen geschont.

Unter nachwachsenden Rohstoffen wird ein breites Spektrum von Pflanzenarten, aber auch biogenen Reststoffen und Althölzern verstanden. Den mengenmäßig größten Stoffstrom der biogenen Brennstoffe stellen in

Deutschland auf absehbare Zeit die Althölzer. In den skandinavischen Ländern und in den osteuropäischen Ländern stellen Holz und Holzabfälle eine für die Zukunft wichtige Energiequelle dar. In verschiedenen Studien und Erhebungen der letzten Jahre wurde das Alt- und Restholzaufkommen in der Bundesrepublik Deutschland mit 4 bis 11 Millionen Tonnen pro Jahr beziffert.

Werden Alt- und Resthölzer bislang vornehmlich in Müllverbrennungsanlagen und Deponien entsorgt, so steht der Entsorgungsweg der Deponierung aufgrund der Vorgaben der TA Siedlungsabfall in absehbarer Zeit nicht mehr zur Verfügung. Daher ist es notwendig, unverzüglich Entsorgungs- oder besser Verwertungsalternativen zu schaffen. Die stoffliche Verwertung von Alt- und Restholz ist aufgrund der begrenzten Aufnahmekapazität des Marktes und der aus dem wachsenden Verbraucherbewusstsein entstehenden Qualitätsanforderungen an diese Werkstoffe begrenzt. Die Verbrennung in konventionellen Müllverbrennungsanlagen kann nicht als sinnvoll angesehen werden. Der Energieinhalt der Hölzer wird in diesen Anlagen nicht optimal genutzt, da Müllverbrennungsanlagen auf eine möglichst emissionsarme Beseitigung heterogener Abfallstoffe ausgelegt sind. Des Weiteren treten beim Einsatz von Holz Probleme durch den vergleichsweise hohen Heizwert, bezogen auf den Heizwert heterogen zusammengesetzter Abfälle, auf.

Aufgrund des relativ niedrigen Heizwertes von Holz im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen sollten lange Transportwege aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten vermieden werden. Daher bietet sich die direkte Verwertung in kleinen und mittleren Unternehmen der Holzver- und bearbeitenden Industrie an. Diese Anlagen sind so zu konzipieren, dass ein kontinuierlicher Betrieb ohne zusätzliches Personal gewährleistet werden kann.

Um den Energieinhalt des anfallenden Holzes technisch und wirtschaftlich optimal zu nutzen, werden dezentrale Anlagen benötigt, die eine energetisch optimale und emissionsarme thermische Verwertung des homogenen Brennstoffes garantieren. Für die Realisierung eines solchen Konzeptes stehen die Verbrennungstechnik und die Vergasungstechnik zur Verfügung. Bei der thermischen Verwertung von Holz besitzt die Vergasungstechnik gegenüber der Verbrennung prinzipielle Vorteile, da aus dem produzierten Schwachgas mit einem Gasmotor oder einer Gasturbine direkt Strom erzeugt werden kann. Der dabei erreichbare Wirkungsgrad ist wesentlich größer als bei einem Dampfkraftprozess.

Bei Vergasern treten bislang allerdings Schwierigkeiten bei der direkten Nutzung des entstehenden Schwachgases auf. Das maßgebliche Problem ist der hohe Gehalt an hochmolekularen organischen Verbindungen im Schwachgas.

Ziel dieses von der AiF geförderten Forschungsvorhaben Nr.: 11755N „Entwicklung eines Festbettvergasers mit kombinierter Gleichstrom-/Gegenstromführung zur thermischen Nutzung von Biobrennstoffen“ war die Entwicklung eines Vergasungsverfahrens, mit dem die Prinzipien der Gegenstrom- und Gleichstromvergasung kombiniert wurden. Die Verschaltung erfolgte so, dass die jeweiligen Stärken dieser beiden Verfahren genutzt werden können und ein Produktgas erzeugt wird, das für die direkte motorische Nutzung ohne aufwendige Gasreinigung geeignet ist.

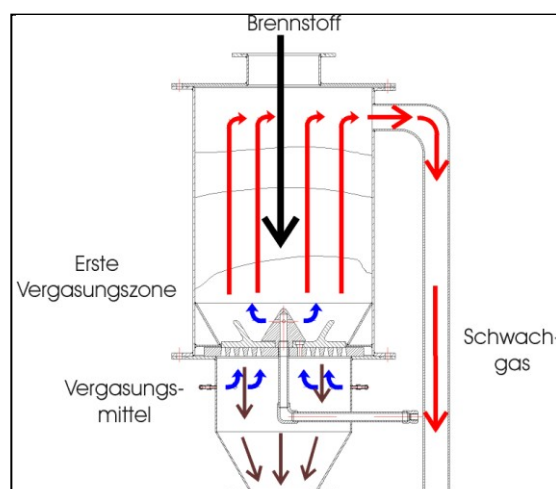
Ausgangspunkt für die Auslegung und Konstruktion des Kombi-Vergasers und seiner Anlagenkomponenten waren in erster Linie die Ergebnisse thermodynamischer Gleichgewichtsbetrachtungen und Stoffbilanzen. Auf der

Grundlage dieser Berechnungen erfolgte die detaillierte Konstruktion der Vergasungsanlage sowie die Auslegung aller zusätzlich benötigten Aggregate. In einem ersten Schritt wurde der Gegenstromreaktor des Kombi-Vergasers aufgebaut und ausführlichen Versuchsläufen unterzogen. Die Erfahrungen aus diesen Versuchen waren sehr wertvoll, da das Auslegungsmodell bezüglich der Brennstoffleistung, der Schwachgaszusammensetzung und des entstehenden Kokes bestätigt wurde. Aufgrund der Verfahrensführung entstand beim Betrieb des Gegenstromvergaser der erwartete hohe Kondensatanfall, der bei der Konzeption der Gasaufbereitung berücksichtigt und während des Betriebes optimiert wurde. Beim Kombi-Vergaser sollte die Kondensatmenge aufgrund der dort vorliegenden thermodynamischen Zustände geringer ausfallen, dafür sollte sich aber ein erhöhter Staubgehalt ergeben. Aus diesem Grund wurde in die Gasreinigungsstrecke des Kombi-Vergasers zusätzlich ein Zyklonabscheider integriert.

Die Inbetriebnahme des kombinierten Gleichstrom-/ Gegenstromvergaser verlangt die Abstimmung des Anfahrverhaltens der beiden Reaktorkomponenten. Neben dem Ziel eines stabilen stationären Betriebsverhaltens ist das Erreichen eines optimalen Betriebszustandes eine Herausforderung an die Prozessführung. Das dazu notwendige Wissen konnte während der durchgeführten Versuchsfahrten ständig verbessert und die Anlagentechnik kontinuierlich weiterentwickelt werden.

## 2. Der kombinierte Gegenstrom- / Gleichstromvergaser

Das erarbeitete Konzept zur kombinierten Gleichstrom-/ Gegenstromführung ist im Bild 1 dargestellt. Der Brennstoff wird über ein Förderband dem Aufgabesystem zugeführt. Als Aufgabesystem wird eine Doppelpendelklappe eingesetzt, die das unkontrollierte Eindringen von Luft verhindern soll. Der Gegenstromreaktor (Durchmesser 600 mm, Höhe 900 mm) ist aus einem hochwarmfesten Stahl gefertigt, an dessen unteren Ende ein Rost (Rostfläche  $0,125 \text{ m}^2$ ) mit einer Rütteleinheit eingebaut wurde. Die Zufuhr des Vergasungsmittel erfolgt mittels Druckgebläse über eine Ringleitung und/oder durch die Rütteleinheit in dem Reaktor (Erste Vergasungszone). Der Reaktor wird bei einer Temperatur von ca.  $750 \text{ }^\circ\text{C}$  in der Oxidationszone betrieben. Das Produktgas wird am Kopf des Reaktors mit einer Temperatur von ca.  $250 \text{ }^\circ\text{C}$  abgezogen. Der Gegenstromreaktor ist durch ein Doppelpendelklappensystem vom Gleichstromreaktor getrennt. Durch dieses Doppelpendelklappensystem wird der im Gegenstromreaktor entstehende Koks dem Gleichstromreaktor zugeführt. Das am Kopf des Gegenstromreaktors abgezogene Schwachgas wird in den Gleichstromreaktor geführt (Durchmesser 216 mm, Höhe 400 mm), der auch aus hochwarmfestem Stahl gefertigt ist.



Der Gleichstromreaktor ist ebenfalls mit Rost und Rüttler ausgerüstet. Dem „Koks“ wird im Gleichstromreaktor nochmals Vergasungsmittel zugegeben, so dass Temperaturen von 800-900 °C am Feinrost entstehen. Das Schwachgas aus dem Gegenströmer wird durch diese heiße Zone geleitet, wobei die hochmolekularen Kohlenwasserstoffe gecrackt und der Restkohlenstoff im „Koks“ vergast werden.

Nach der Crackzone wird das Schwachgas durch die Schwachgasleitung aus dem Reaktor abgezogen und später einem Gasmotor zugeführt. Während der Versuche war statt des Gasmotors ein Gasbrenner installiert. Die durch den zweiten Rost fallende Asche verlässt durch ein Ascheschleusensystem, welches das Eindringen von Falschluff verhindert, den Reaktor am Boden.

Um die notwendige Kühlung auf eine Temperatur zwischen 40 - 60 °C für einen Gasmotorbetrieb darstellen zu können, wird das Schwachgas auf ca. 40 °C in einem Wärmeübertrager abgekühlt.

Hinter dem Saugzuggebläse befindet sich der Gasbrenner, der eine emissionsarme Verbrennung der Gase sicherstellt. Dem Gasbrenner ist ein weiterer Wärmeübertrager nachgeschaltet, in dem die Energie aus dem Abgas in Heizwärme umgewandelt werden kann.

Die Anlage wird zentral über eine SPS gesteuert. Zur Erfassung der Meßdaten wurden am Gegen- und Gleichstromreaktor im Inneren mehrere Thermoelemente und Druckaufnehmer und die Reaktormäntel mit zusätzliche Thermoelemente versehen. Die erforderliche online - Analytik des Schwachgases auf CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> und N<sub>2</sub> erfolgt mit einem Prozess-Gaschromatographen.

Die Sicherheitstechnik der Anlage ist so ausgeführt, dass beim Überschreiten einer Temperatur von 800 °C am Reaktormantel zunächst eine Warnung auf dem Bildschirm des Prozessleitrechners erfolgt. Bei Reaktormanteltemperaturen von > 1000 °C wird die Anlage automatisch abgeschaltet. Zudem besteht die Möglichkeit, die Anlage mit CO<sub>2</sub> zu fluten. Im weiteren sind diverse Notausschalter installiert, die bei Betätigung zur direkten Abschaltung der Anlage führen.

Der Kombi-Vergaser mit einer Feuerungswärmeleistung von 100 kW wurde

Anfang 2000 in Betrieb genommen, getestet und optimiert.

### **2.1 Die Vorteile des Verfahrens**

Die zweistufige Verfahrensauslegung erlaubt eine variable Temperaturführung an den Rosten und ist in der Wahl des Vergasungsmittels flexibel. So ist es z.B. möglich, den Gegenströmer (erste Vergasungsstufe) mit Luft zu betreiben und in der zweiten Vergasungsstufe, dem Gleichströmer Sauerstoff einzusetzen, um einen höheren Wirkungsgrad zu erzielen. Eine weitere Variationsmöglichkeit besteht beim Verhältnis der Volumenströme an Vergasungsmittel im Gleichströmer und im Gegenströmer, wodurch die Reststoffqualität verschiedener Einsatzmaterialien optimiert werden kann.

Der Kombi-Vergaser erlaubt durch seine einfache Konstruktion einen wirtschaftlichen Betrieb. Die Konzeption der Verschaltung eines Gegenstromreaktors mit einem Gleichstromreaktor ermöglicht die Nutzung der Vorteile der jeweiligen Verfahren:

1. Das Scale-up des Gegenstromreaktors auf höhere Leistungen wird einfacher.
2. Ein breites Spektrum von stückigem Brennstoff ist im Gegenstromvergaser einsetzbar.
3. Der Teergehalt im Schwachgas wird durch thermisches Cracken im Gleichstromvergaser einfacher. Die Nachvergasung des festen, kohlenstoffhaltigen Rückstandes im zweiten Reaktor erhöht den Heizwertes des Schwachgases. Der Input des zweiten Reaktors besteht bereits aus zwei homogenisierten Stoffströmen, dem Schwachgasstrom und der festen organische Substanz, die schon teilweise zersetzt ist. Im Vergleich zu einem einstufigen Prozess ist der Reaktorbetrieb gleichmäßiger und der Wirkungsgrad der thermischen Zersetzung höher.
4. Durch die zwei getrennten Vergasungszonen kann in jeder Zone entsprechend der Produkthanforderungen ein anderes Vergasungsmittel zugegeben werden.

### **2.2 Aufbau und Inbetriebnahme des Kombi-Vergasers**

Die im Rahmen des AiF-Projektes 11755 N aufgebaute kombinierte Vergasungsanlage ist in Bild 2 dargestellt. Der Aufbau der Gesamtanlage wurde durch die für die Vorversuche aufgebaute erste Stufe erheblich vereinfacht. Es musste nur noch die zweite Stufe installiert werden und die Gasreinigung sowie die Steuerung angepasst werden.



Nach Abschluss des Aufbaus folgte die Kalt-Inbetriebnahme die in verschiedene Abschnitte eingeteilt wurde.

1. Funktionstest aller mechanischen Baugruppen
2. Überprüfung aller elektrischen und elektronischen Elemente sowie der Anzeige auf dem Prozessrechner in der Leitwarte.
3. Funktionstest der SPS.
4. Überprüfung der Steuerung des Kompressors, des Saugzuges, der Schleusensysteme, der Rüttler und des Förderbandes.
5. Dichtigkeitsprüfung der Anlage. Um die Dichtigkeit der Anlage zu testen, wird mit dem Kompressor ein Überdruck von 60 mbar erzeugt. Um den Kompressor nicht zu überlasten, wird dieser Überdruck am offenen System erzeugt, d. h. die Luft wird durch die Anlage gedrückt. Bei anstehendem Druck wird dann die Anlage auf Undichtigkeiten überprüft.
6. Kalibrierung des WLD / GC.

Zur Kalibration des WLD / GC wurde ein Prüfgas hergestellt, das der Gaszusammensetzung des Schwachgases entspricht. Das Prüfgas besteht aus 15 % H<sub>2</sub>, 10 % CO<sub>2</sub>, 20 % CO, 5 % CH<sub>4</sub> und 50 % N<sub>2</sub>. Mit diesem Gas wurden dann Chromatogramme aufgenommen und den Flächen unter den Peaks eine Konzentration zugeordnet. Eine Überprüfung der Gasbrennerfunktionen konnte nicht durchgeführt werden, da der Brenner ohne Stützfeuerung arbeitet und nur mit Schwachgas betrieben werden kann. Nach der Kalt-Inbetriebnahme wurde abschließend die Anlage isoliert.



Bild 3: Gasreinigung und Brenner

### 3 Ergebnisse

Im Rahmen dieser durch die AiF geförderten Forschungsvorhaben wurde ein Verfahren konzipiert, aufgebaut und getestet, in dem die Prinzipien der Gegenstrom- und der Gleichstromvergasung kombiniert sind. Die Verschaltung erfolgt so, dass im ersten Reaktor die Vorteile der Gegenstromvergasung (gutes scale up Vermögen, breites Stückigkeitsspektrum) und im zweiten Reaktor die Vorteile der Gleichstromvergasung (geringer Gehalt an hochmolekularen Kohlenwasserstoffen, hohe Kohlenstoffumsetzung) genutzt werden.

Im Rahmen des Untersuchungsprogramms wurden die Betriebsbedingungen ermittelt, unter denen ein praktisch von hochmolekularen Kohlenwasserstoffen freies Produktgas erzeugt werden kann. Mit diesem Gas ist der Betrieb eines Gasmotors möglich.

Die Ergebnisse der Versuche können wie folgt zusammengefasst werden:

- Brennstoffdurchsatz in stationären Betrieb ca. 25 kg/h
- Temperaturen im 1. Reaktor 750 °C bis 800 °C
- Sauerstoffgehalt in der Schwachgasleitung 0,4 bis 0,8 % bei ca. 250 °C
- Temperaturen im 2. Reaktor 800 °C bis 1000 °C
- Heizwert des Schwachgases bis 5 MJ/m<sup>3</sup>

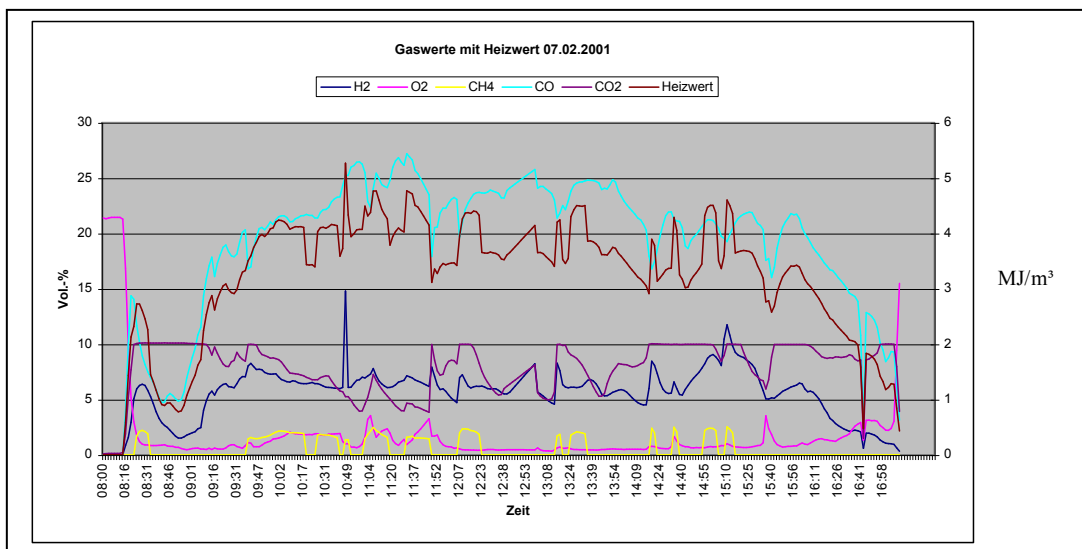


Bild 4: Gaswerte

Um diese Technik in einem Unternehmen wirtschaftlich betreiben zu können, müssen noch weitere Anstrengungen zur Erhöhung der Standzeit und der Betriebssicherheit unternommen werden. Daneben besteht noch Potential in der Steigerung des Heizwertes und der Leistung der Anlage.