

Zweibett-Wirbelschichtvergasung in Güssing (A) mit 2MW_{el}/4,5MW_{th}; Konzept, Betriebserfahrungen und Wirtschaftlichkeit

1 Abstract

In the town of Güssing the use of renewable energy is reality since years. In the area of Güssing one of the largest biomass district heating plants and a RME plant is situated. Only the energy in form of electricity was missing. For this reason a biomass CHP on basis of steam-gasification process was realised. The building of the plant started in 2000 and commissioning started in September 2001. Till end of August 2002 more than 1800 hours of operation were counted. In April 2002 the gas engine was started. The results of the biomass CHP showed that the gasifier works as designed. The gas composition, the tar content of the product gas and the efficiency is in the range as planned.

With the help of this system the necessary scale up of the pilot plant (100 kW_{th}) at TU Vienna, to a large-scale, commercial installation (8MW_{th}) has been achieved.

2 Zusammenfassung

Nachhaltige Energiewirtschaft ist für die Stadt Güssing seit Jahren Realität. Eines der größten Fernwärmenetze und eine RME Anlage wurden bereits in Güssing errichtet. Zur Deckung des Energiebedarfes fehlte nur noch die Elektrizität. Daher wurde im Jahr 2000 ein Biomassekraftwerk auf Basis der Wirbelschichtdampfvergasung errichtet. Die Inbetriebnahme erfolgte im September 2001 und bis Ende August 2002 wurden 1800 Betriebsstunden des Vergasers inkl. Gasreinigung erreicht werden. Im April 2002 wurde der Gasmotor in Betrieb genommen. Die Ergebnisse dieser Demonstrationsanlage zeigen, dass der Vergaser wie geplant funktioniert, die Gaszusammensetzung, der Teergehalt des Produktgases und der Wirkungsgrad der Anlage innerhalb des geplanten Bereiches liegen. Mit Hilfe dieser Anlage wurde der notwendige Scale-up Schritt von der Technikumsanlage an der TU Wien (100 kW_{th}) zu einer kommerziellen Anlage (8MW_{th}) erreicht.

3 Hintergrund

Die Stadt Güssing erstellte im Jahr 1990 ein neues Energiekonzept. Schwerpunkt des Energiekonzeptes war die Substituierung von fossilen Brennstoffen durch erneuerbare heimische Energieträger. Der erste Schritt war eine Evaluierung des bestehenden Energieverbrauchs. Anschließend wurde das Einsparungspotenzial an Energie genutzt (verbesserte Wärmedämmung, effizientere Straßenbeleuchtung etc.). Der zweite Schritt war die Errichtung eines Fernwärmenetzes basierend auf der Nutzung von Biomasse. Die Lieferung der Biomasse erfolgt durch den burgenländischen Waldverband. Derzeit sind zwei Biomassekessel mit einer Leistung von 5 MW und 3 MW in Betrieb. Der dritte Schritt war die Errichtung einer RME-Anlage zur Erzeugung von Biodiesel aus Raps. In dieser Anlage wird mehr Biodiesel erzeugt, als die Gemeinde Güssing an flüssigen Treibstoffen verbraucht. Somit versorgt sich die Gemeinde Güssing mit Wärme und Treibstoffen vollständig aus regionalen Energieträgern. Die Energieform, die noch fehlte war Elektrizität. Aus diesem Grund beschloss die Stadt Güssing ein Biomassekraftwerk zu errichten.

Um die Stromerzeugung aus Biomasse auch in kleinen, dezentralen Kraftwerken zu ermöglichen, wurde ein neuer Kraftwerkstyp realisiert. Als zentraler Schritt wird ein Vergasungsverfahren angewandt, das besonders beim Einsatz als Kraft-Wärme-Kopplung Vorteile gegenüber Verbrennungsverfahren bietet. Dieser neue Kraftwerkstyp wurde erstmalig in Güssing gebaut.

Die Vergasung ist ein Verfahrensschritt, bei dem ein Einsatzstoff thermisch (d.h. durch Erhitzung) zersetzt (= Pyrolyse) und daraus ein Produktgas gewonnen wird.

Vergasung von Biomasse:

Man kann den Vergasungsvorgang in folgende wesentliche Schritte unterteilen:

⇒ Aufheizphase

- Trocknung des Einsatzproduktes (Biomasse), d.h. Verdampfung des im Einsatzprodukt enthaltenen Wassers zu Wasserdampf
- Entgasung der flüchtigen Bestandteile des Einsatzproduktes

⇒ Reaktionsphase

- Chemische Reaktion der entgasten Bestandteile incl. Wasserdampf

Bei der Vergasung von Biomasse laufen in der Reaktionsphase 3 Schlüsselreaktionen ab:

- $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$
- $C + CO_2 \rightarrow 2CO$
- $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$

Je nach Gleichgewichtslage, Kinetik und Verweilzeit für die einzelnen Reaktionen ist das entstehende Produktgas hauptsächlich aus folgenden Gaskomponenten zusammengesetzt:

H_2O , CO , H_2 , CO_2 , CH_4

Daneben entstehen auch noch kleine Mengen von Nebenprodukten (z.B. C_2H_4 , C_2H_6) und unerwünschten Bestandteilen (z.B. Teer, NH_3 , H_2S). Durch das speziell angewandte Verfahren der Vergasung mit Wasser (anstatt Luft) erfolgt eine weitgehend primäre Teerreduzierung. Weiteres entsteht ein Produktgas mit hohem Heizwert (ca. 1/3 von Erdgas), da das Gas praktisch N_2 -frei ist.

Der im Vergaser nicht vergaste Kohlenstoff (Koks) wandert mit dem Bettmaterial in die Brennkammer und wird dort mit dem zugeführten Luftsauerstoff verbrannt (exotherme Reaktion).

Die Vergasungsreaktionen sind endotherm; die dazu benötigte Wärme wird vom Sand aus der Brennkammer zur Verfügung gestellt.

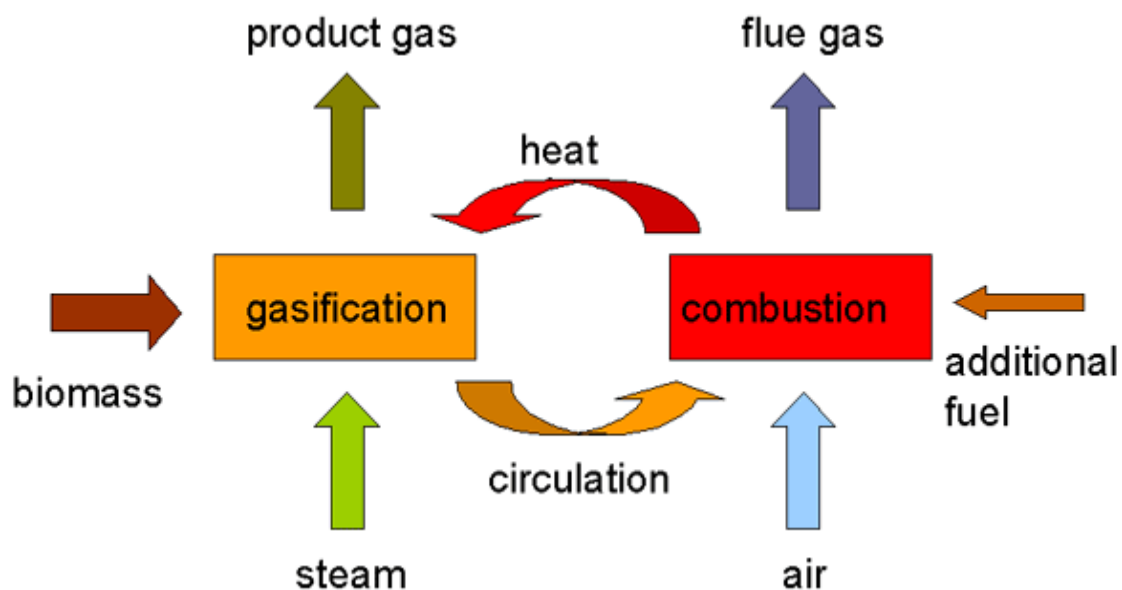


Abbildung 1: Prinzip des FICFB-Vergasungssystems

4 Projektumfeld

Um dieses ehrgeizige Projekt von der Idee bis zum fertigen Produkt zu realisieren, schloss sich die AE Energietechnik als Anlagenbauer mit Wissenschaftlern der TU-Wien und den Betreibern EVN und Güssinger Fernwärme zum Kompetenznetzwerk RENET - Austria zusammen. Grundstein dieser Kooperation war die im April 1999 gegründete ARGE „Kompetenznetzwerk Energie aus Biomasse“. Die ARGE hat ihr Forschungsprogramm im Rahmen der Förderrichtlinien von Industriellen Kompetenzzentren und Kompetenznetzwerken „K_{IND}/K_{NET}“ beim Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit eingereicht. Am 6. Dezember 1999 wurden in feierlichem Rahmen die Verträge der ARGE mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, mit dem Land Burgenland und mit dem Land Niederösterreich unterzeichnet und so der Start für das 1. Industrielle Kompetenznetzwerk Österreichs gelegt.

Ziel von RENET Austria ist es, neue, wirtschaftlich und technisch ausgereifte Systeme der Kraft - Wärme -Kopplung auf Basis der Biomassevergasung zu entwickeln. Das Kompetenznetzwerk ist ein offenes Netzwerk. Dies bedeutet, dass sowohl in den beiden Kompetenzknoten Güssing und Wr.Neustadt als auch an anderen Biomasseanlagen (z.B. Biogasanlage, RME Anlage) Forschung und Entwicklung durchgeführt werden kann. Ebenso besteht die Möglichkeit zur Errichtung weiterer Kompetenzknoten.

5 Beschreibung des Kraftwerkes

5.1 Anlagendaten

Art der Anlage	Demonstrationsanlage	
Brennstoffwärmeleistung	8000	kW
Elektrische Leistung	2000	kW
Thermische Leistung	4500	kW
Kaltgaswirkungsgrad	72	%
Gesamtwirkungsgrad	81,3	%

Biomass Gasification Power Plant

FLOW DIAGRAM

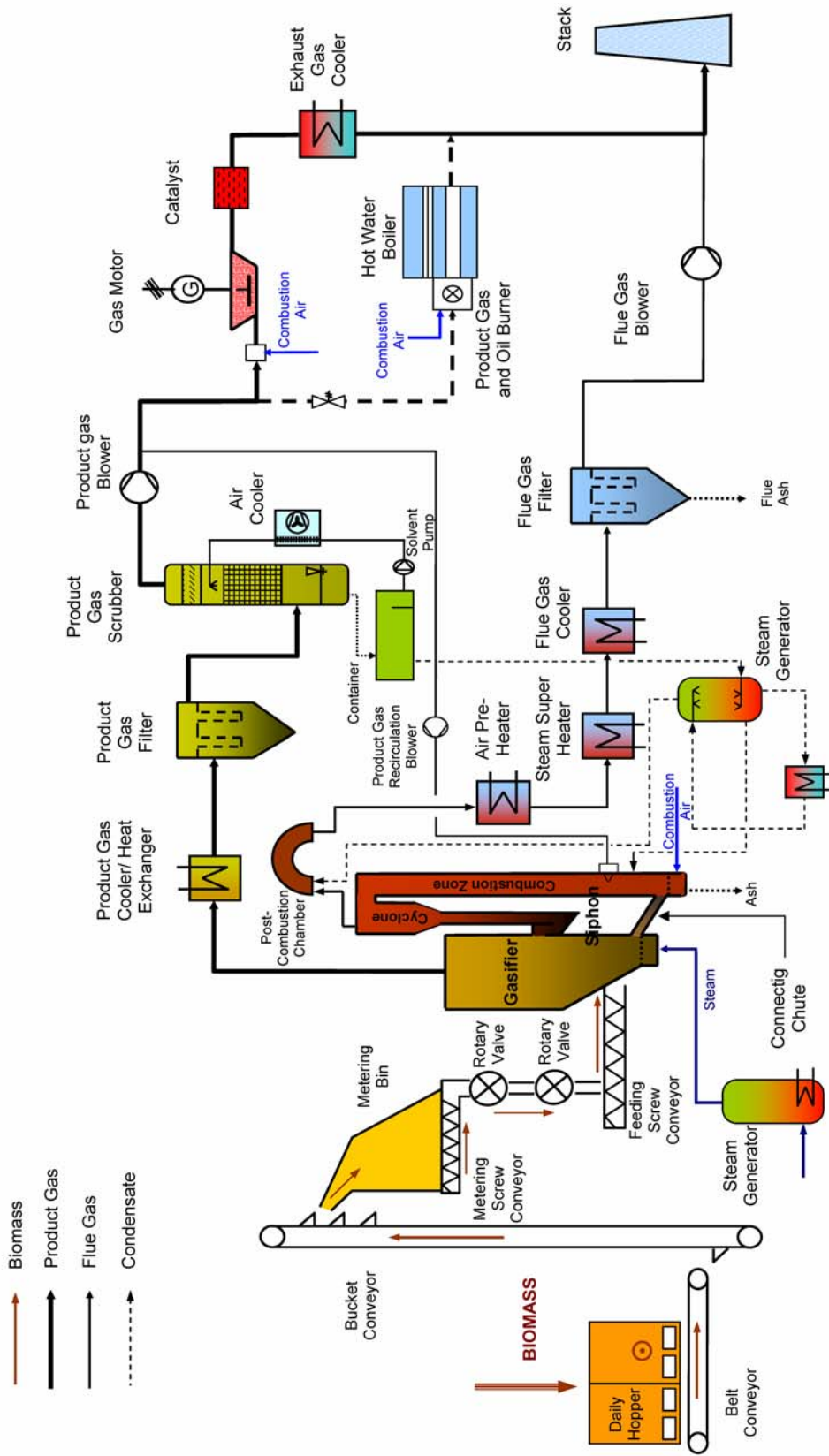


Abbildung 2: Fließbild der Demonstrationsanlage

5.2 Beschreibung der einzelnen Anlagenkomponenten

5.2.1 Brennstoff

Als Biomasse kommt getrocknetes Holzhackgut mit einer durchschnittlichen Feuchtigkeit von ca. 20 Gew.% und einem Heizwert (Hu) von ca. 16,4 kJ/kg zum Einsatz. Das Brennstoffspektrum soll während der Versuchs- und Optimierungsphase der Anlage erweitert werden.

5.2.2 Vergasertechnologie

Der Holzgaserzeuger dient zur Herstellung des angestrebten brennbaren Produktgases aus der Biomasse mit möglichst hohem Heizwert und möglichst gleichbleibender Qualität.

Der Gaserzeuger besteht aus zwei Kammern (Abbildung 3), dem Vergaser (stationäre Wirbelschicht) und der Brennkammer (zirkulierende Wirbelschicht). Biomasse wird in den Vergasungsteil aufgegeben, wobei sich in kurzer Zeit heißes Bettmaterial von der Brennkammer mit dem Brennstoff vermischt. Die im Sand gespeicherte Wärmeenergie wird auf die Biomasse übertragen und es finden die Vergasungsreaktionen überwiegend bei 900°C statt.

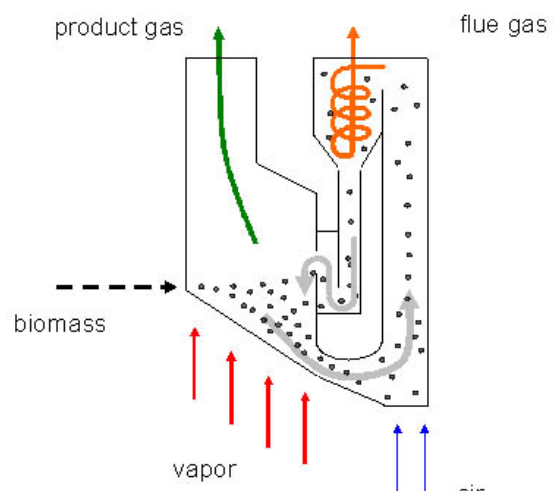


Abbildung 3: FICFB - Reaktor

Der Vergasungsteil wird durch den eingebauten

Düsenboden mit überhitztem Wasserdampf fluidisiert. Nicht vergaste Bestandteile der Biomasse (Holzkoks) wandern mit dem Bettmaterial über einen ebenfalls mit Wasserdampf fluidisierten Verbindungskanal in die Brennkammer. Diese ist als expandierende schnelle Wirbelschicht, die mit vorgewärmter Luft betrieben wird, ausgebildet. Dort verbrennen die nicht vergasteten Bestandteile (Koks), wodurch sich das Bettmaterial wieder aufheizt. Die Temperatur in der Brennkammer beträgt ca. 970°C. Um die oben genannte Vergasungstemperatur zu regeln, wird ein gewisser Anteil des im Vergaser produzierten Gases in der Brennkammer als Stützfeuer verbrannt und/oder ein Zusatzbrennstoff verwendet. Um den Vergaser anfahren zu können, ist in der Brennkammer ein Anfahrbrannter, der mit Öl gefeuert wird, installiert.

Das Rauchgas aus der Brennkammer wird in einem Heißgaszyklon entstaubt, die abgeschiedenen Partikel werden über einen Siphon in den Vergasungsteil zurückgefördert. Das entstaubte Rauchgas gelangt in die Nachbrennkammer, wodurch die zur Erreichung der

garantierten Abgasemissionswerte notwendige Verweilzeit gewährleistet ist. Die im Verbrennungsteil anfallenden groben Inertbestandteile der Biomasse (Bettasche) werden ausgeschleust, gekühlt und in einen abgedeckten Container verfüllt.

5.2.3 Gasreinigungstechnologie

Produktgasweg

Das Produktgas tritt mit ca. 890 °C aus dem Vergaser aus und wird im anschließenden Produktgaskühler auf ca. 150 °C abgekühlt. Die dabei gewonnene Wärme wird als Fernwärme genutzt. Eine hohe Gasgeschwindigkeit und hohe Rohrwandtemperatur verringert eine Verschmutzungsneigung.

Die Entstaubung erfolgt im Produktgasfilter. Als Abreinigungsmedium wird Inertgas (Stickstoff) verwendet. Der abgeschiedene Staub wird wegen seines Gehaltes an organischen Substanzen in die Brennkammer des Gaserzeugers rückgeführt (Flugkoksrückführung).

Im Gaswäscher wird das Produktgas weiter auf die für den Gasmotor zulässige Temperatur gekühlt, und gleichzeitig wird der dabei kondensierende Teer und anfallendes Kondenswasser abgeschieden. Als Waschmedium wird ein organisches Lösungsmittel eingesetzt. Ein Teil des mit Teer beladenen Waschmediums wird aus dem System ausgeschleust und durch frisches Medium ersetzt, um die Teerkonzentration im System in bestimmten Grenzen zu halten. Ebenso wird das anfallende Wasser vom Boden des Wäschersumpfes abgezogen. Das ausgeschleuste Waschmedium wird gemeinsam mit dem Kondensat im Verbrennungsteil des Vergasers entsorgt.

Rauchgasweg

Die Rauchgaskühlung erfolgt über 3 Wärmetauscher-Stufen:

1. Die 1. Stufe wird zum Vorwärmen der in der Brennkammer benötigten Verbrennungsluft verwendet (LUV0)
2. Die 2. Stufe dient zum Überhitzen des aus dem Verdampfer kommenden Sattdampfes. (Überhitzer)
3. Die 3. Stufe dient zur Ausnutzung der restlichen Wärme im Rauchgas und wird zur Erzeugung von Fernwärme genutzt (Rauchgaskühler)

Das mit ca. 900 °C aus der Brennkammer austretende Rauchgas wird dabei auf ca. 150°C abgekühlt.

Die Rauchgasreinigung erfolgt mit dem Rauchgasfilter. Dieser ist als Gewebefilter ausgebildet, wobei die Abreinigung des Staubes mit Druckluft erfolgt. Mit dem Rauchgasgebläse wird der im Rauchgasweg entstehende Druckverlust überwunden und der

in der Brennkammer notwendige Unterdruck aufrechterhalten. Die Rauchgase werden gemeinsam mit dem Abgas des Gasmotors bzw. des Produktgasbrenners über den Kamin abgeleitet.

5.2.4 Gasnutzungstechnologie

Elektrische Energieerzeugung

Die Umsetzung der im Produktgas enthaltenen Energie in elektrische Energie erfolgt in einem Gasmotor nach dem 4-Takt-Prinzip (Otto-Motor) mit direkt angekuppeltem Generator. Die im Generator erzeugte Energie wird in das lokale Netz eingespeist. Die durch die notwendigen Kühlungen (Gasgemisch, Motoröl, Motorkühlwasser) anfallende Wärme wird in den Rücklauf des Fernwärmenetzes eingebunden.

Thermische Energieerzeugung (Fernwärme)

Die nutzbare Wärme aus Produktgas, Rauchgas, Motorabgas, Motorabwärme, Produktgasbrennerabgas wird zur Erzeugung des erforderlichen Prozessdampfes, zur Vorwärmung der Verbrennungsluft und zur Erzeugung von Fernwärme genutzt.

Der Großteil der Wärmemenge (ca. 2/3) wird aus den heißen Abgasen nach dem Motor produziert und über den Abgaskühler dem Fernwärmenetz direkt zugeführt, während die Wärmemenge aus dem Produktgaskühler und dem Rauchgaskühler über einen Fernwärme-Zwischenkreis dem Fernwärmenetz zugeführt wird.

Der Prozessdampf wird in einem Dampferzeuger, der mit Heißwasser aus dem Fernwärme-Zwischenkreis beheizt wird, erzeugt und anschließend überhitzt. Als Speisewasser für die Dampferzeugung wird derzeit aufbereitetes Trinkwasser eingesetzt. In Zukunft ist es geplant, das Kondensat, welches im Produktgaswäscher anfällt zur Dampferzeugung zu nutzen.

6 Projektstatus und Betriebserfahrung

Der Baubeginn für die Demonstrationsanlage Biomasse-Kraftwerk Güssing war am 4. September 2000. Die feierliche Eröffnung fand im Rahmen des österreichischen Biomassetages am 20. September 2001 statt. Am 27. September 2001 erfolgte der erste erfolgreiche Demonstrationsversuch mit der Produktion von Holzgas!

Schon in den ersten Monaten nach Inbetriebnahme konnte die Anlage die in sie gesetzten Erwartungen übertreffen. Bis Ende April waren bereits über 1300 Stunden Vergaserbetrieb absolviert und damit die Dauerbetriebsfähigkeit der Anlage nachgewiesen. Umfangreiche Analysen des Produktgases zeigten eine gleichmäßige Gasqualität und bestätigten die problemlose Funktion der Gasreinigung.

So konnte noch im April 2002 auch der Gasmotor in Betrieb genommen und damit die Stromgewinnung aufgenommen werden.

Bis Ende August 2002 wurden insgesamt 1800 Stunden Vergasungsbetrieb und 250 Stunden Gasmotorbetrieb absolviert.

In den zwei Jahren Demonstrationsbetrieb wird die Anlage auf ihre Dauerfunktionsfähigkeit untersucht und weiter optimiert. Es werden diverse Parametervariationen durchgeführt um den Einfluss dieser Parameter (Vergasungstemperatur, Dampf-Brennstoff Verhältnis, Wäschertemperatur, etc.) auf die Funktionsfähigkeit und optimalen Betrieb zu untersuchen.

Weiters wird wissenschaftlich untersucht inwieweit das entstehende Gas als Synthesegas verwendet werden kann. Ziel dieser Arbeit ist es aus Biomasse synthetisches Ergas, Methanol oder Treibstoffe herzustellen. Damit wäre auch eine Umsetzung der Biomasse zu anderen Energieträgern, bzw. Chemikalien möglich, wodurch die Wirtschaftlichkeit zukünftiger Anlagen erhöht wird.

6.1 Ergebnisse des Vergasers

Die Temperaturdifferenz zwischen Verbrennungs- und Vergasungsteil ist sehr niedrig. Dies ist ein Zeichen, dass der Umlauf an Bettmaterial hoch ist. Die Ergebnisse der Kaltmodellversuche und die darauf basierende Anlagenplanung wurden so eindrucksvoll bestätigt.

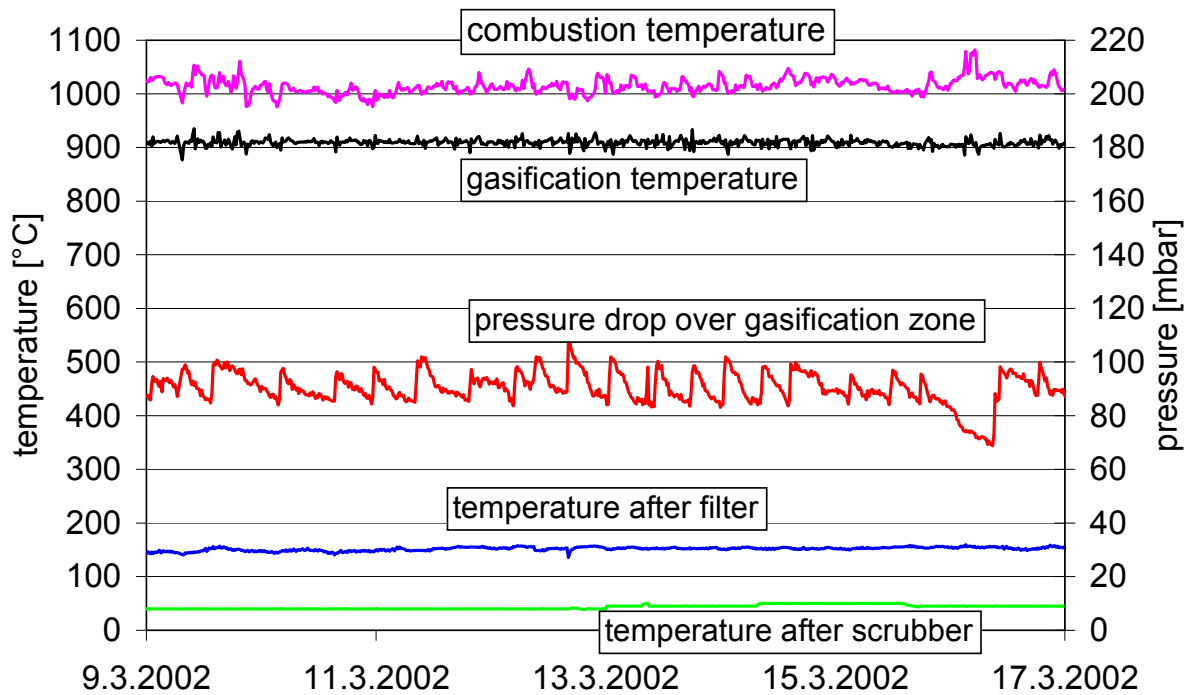


Abbildung 4: Temperaturen im Vergaser und in der Gasreinigungsstrecke

Bestätigt wurde auch das Regelkonzept der Anlage. Die gleichmäßige Gasproduktion und die konstante Gaszusammensetzung schaffen optimale Voraussetzungen für einen effizienten Motorbetrieb. Die Gaszusammensetzung selbst spiegelt die an der 100kWth Technikanlage gemachten Erfahrungen wieder:

Wasserstoff	30-45	vol%
Kohlenmonoxid	20-30	vol%
Kohlendioxid	15-25	vol%
Methan	8-12	vol%
Stickstoff	1-3	vol%

In Abbildung 5 ist die trockene Gaszusammensetzung der Demonstrationsanlage dargestellt:

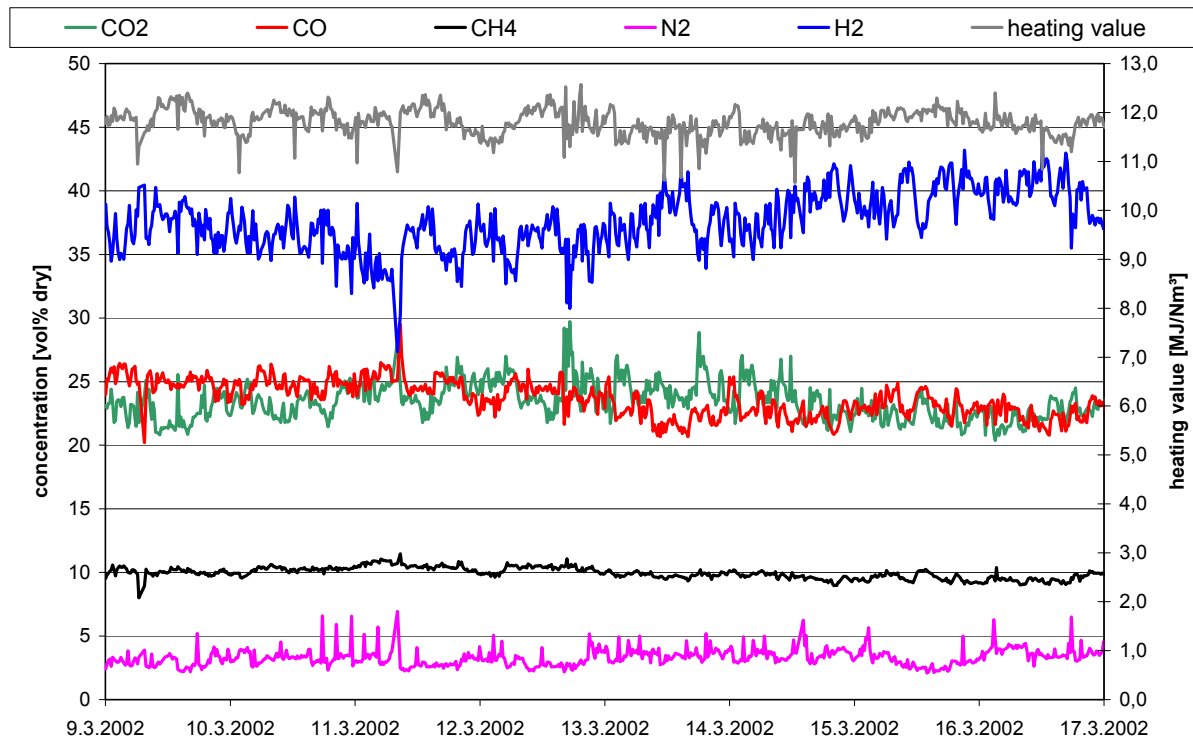


Abbildung 5: Gaskonzentrationen und Heizwert

6.2 Erfahrungen

Der Vergaser liefert die in der Pilotanlage ermittelten Gaszusammensetzungen. Durch die Dampfvergasung wird ein fast stickstoffreies Produktgas erzeugt, welches im Vergleich zur Luftvergasung einen hohen Heizwert aufweist (12MJ/Nm^3). Die Teerkonzentration im Produktgas beträgt $2\text{-}3\text{ g/Nm}^3$, welches, bezogen auf den Energieinhalt des Gases, einen äußerst niedrigen Teergehalt darstellt.

Als Bettmaterial wird ein Katalysator verwendet. Das verwendete katalytische Bettmaterial erreicht die für einen stationären Betrieb geforderten Umlaufzeiten zwischen Vergasungs- und Verbrennungsteil und weist einen äußerst niedrigen Abrieb auf.

Der zur Produktgaskühlung nachgeschaltete Wärmetauscher zeigte am Beginn des Betriebes aufgrund des häufigen An- und Abfahrens Foulingerscheinungen. Diese konnten aber durch Änderung der Fahrweise weitestgehend beseitigt werden. Ein weiteres Problem gab es mit Heißgaskorrosion am Wärmetauscherkopf, wodurch dieser umgebaut werden musste. Dieser wurde nun zweigeteilt ausgeführt, in einen oberen Teil aus warmfestem Material und einem Teil aus dem bereits verwendeten Material.

Der Precoatfilter, obwohl es derzeit noch sehr wenig Erfahrung auf diesem Gebiet gibt, funktioniert problemlos. Es kam zu keinen Verklebungen, auch ist die Abreinigung unproblematisch.

Der nachgeschaltete Wäscher liefert ausgezeichnete Reingaswerte für Teer. Der rückstandsfreie (Teer und Kondensat) Betrieb gestaltete sich anfangs aufgrund der höheren Feuchte der eingesetzten Biomasse (15 Gew.% bis zu 30 Gew.%) problematisch, da mehr Kondensat als geplant im Wäscher anfiel. Durch Einbau eines Kondensatverdampfers wurde dieses Problem gelöst. Damit ist auch bei höheren Biomassefeuchten ein rückstandsfreier Betrieb bei Vollast der Anlage möglich, welches als entscheidender Vorteil anzuführen ist. Die angestrebte Ammoniakabscheideleistung wurde noch nicht erreicht. Allerdings ist noch nicht klar, welche Ammoniakkonzentration der Gasmotor im Dauerbetrieb verträgt. Nach bisherigen Erfahrungen der Firma Jenbacher löst sich Ammoniak im Schmieröl des Motors und verringert dessen Schmierfähigkeit. Die genauen Mechanismen werden noch untersucht. Die ersten Proben des Schmieröls nach 100 Betriebsstunden ergaben noch keine messbare Abnahme der Schmierfähigkeit. Folgeuntersuchungen werden hier Klarheit bringen.

Der Gasmotor konnte ohne gröbere Probleme in Betrieb genommen werden und brachte die erwartete Leistung. Allerdings stehen Langzeiterfahrungen noch aus. Dem Gasmotor ist in einem Teilstrom des Abgases ein Abgaskatalysator nachgeschaltet. Nach Ende der Demonstrationsphase soll mittels diesem der von der Behörde vorgeschriebene Wert von $650\text{mg}/\text{Nm}^3$ für CO eingehalten werden können.

7 Wirtschaftlichkeit

Obwohl die Biomasse KWK-Anlage in Güssing als Erstanlage zu Demonstrations- und Versuchszwecken geplant wurde, ist Dank der Förderung der Investitionskosten durch WIBAG (Fördermittel des Landes Burgenland und der EU), KKA (Fördermittel des österreichischen Umweltministeriums und FFF (Fördermittel des Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie) auch ein wirtschaftlicher Betrieb möglich. Die Anlage muss mindestens 6000 Betriebsstunden pro Jahr Strom und Wärme liefern, damit sie wirtschaftlich betrieben werden kann.

Die Investitionskosten des Kraftwerkes betragen 10.686.540 Euro. Davon wurden 58,6 % gefördert. Die Investitionskosten waren bei dieser Anlage relativ hoch, da es sich um eine Demonstrationsanlage handelt. Eine Kopie der Anlage würde nach jetzigem Stand des Wissens ca. 8.000.000 Euro kosten.

Die Betriebskosten werden durch die Optimierung in den zwei Jahren Versuchs- und Demonstrationsbetrieb deutlich sinken. Es ist außerdem geplant nach den zwei Jahren Demonstrationsbetrieb die Anlage im BoSP- Betrieb zu fahren, wodurch auch die Personalkosten deutlich sinken werden. Für den Brennstoff (Waldhackgut/Industriehackgut) gibt es langfristige Lieferverträge. Der Preis dafür ist in diesen Verträgen festgelegt und beträgt derzeit durchschnittlich 11,6 Euro/MWh.

In Österreich gibt es relativ gute Einspeisevergütungen für elektrischen Strom aus Biomasse. Im Fall Güssing werden 123,5 Euro/MWh eingespeisten elektrischen Strom vergütet. Der spezifische Erlös aus dem Wärmeverkauf betrug im Jahr 2001 39,2 Euro/MWh.

Mit Hilfe dieser Anlage wurde der notwendige Scale-up Schritt von der Technikumsanlage an der TU Wien zu einer kommerziellen Anlage erreicht. Zugleich wird die Forschung und Entwicklung von RENET Austria so weit fortgeführt, dass der Anlagenbauer ein wirtschaftliches Biomassekraftwerk auf den Markt bringen kann.