

Wirbelschicht-Wasserdampf-Vergasung in der Anlage Güssing (A);

Betriebserfahrungen aus zwei Jahren Demonstrationsbetrieb

1 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 drei Biomassekessel mit einer Leistung von 5 MW und 2*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 und des Kokes

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).

Beschreibung des FICFB-Vergasungsverfahrens

Die grundlegende Idee des FICFB-Vergasungssystems ist, die Vergasungsreaktion und die Verbrennungsreaktion räumlich zu trennen, um weitgehend stickstoffreies Produktgas zu gewinnen (siehe Abbildung 1).

Die endotherme Vergasung des Brennstoffes erfolgt in einer stationären Wirbelschicht. Diese ist über eine schräge Rutsche mit dem Verbrennungsteil, der als zirkulierende Wirbelschicht ausgeführt ist, verbunden. Dort wird der mit dem Bettmaterial transportierte, unvergaste Brennstoffanteil vollständig verbrannt. Das dadurch aufgeheizte Bettmaterial wird ausgetragen, abgeschieden und wieder in den Vergasungsteil gebracht. Die für die Vergasungsreaktion benötigte Wärme wird somit durch Verbrennen von mit dem Bettmaterial in den Verbrennungsteil gebrachtem Kohlenstoff erzeugt. Der Vergasungsteil wird mit Dampf, der Verbrennungsteil mit Luft fluidisiert und die Gasströme getrennt abgezogen. Dadurch wird ein annähernd stickstoffreies Produktgas mit Heizwerten über 12000 kJ/Nm^3 (trocken) erzeugt. Weitere Vorteile dieser Prozessvariante sind die kompakte Bauweise und, durch die Verwendung von Dampf als Vergasungsmedium, ein geringerer Teergehalt des Produktgases im Vergleich zur Vergasung mit Luft.

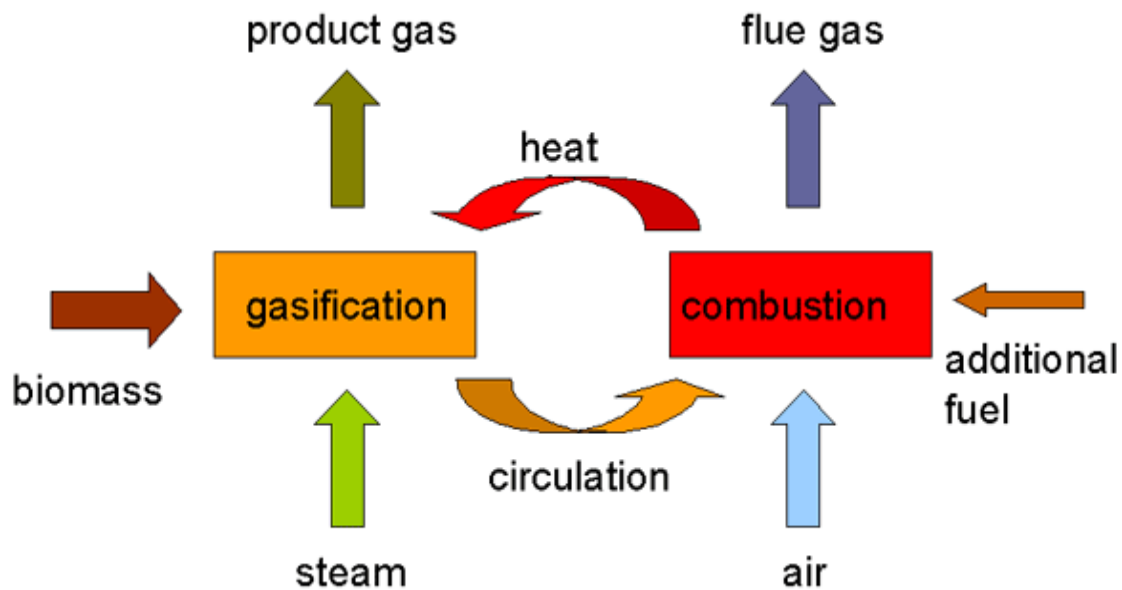


Abbildung 1: Prinzip des FICFB-Vergasungssystems

2 Projektumfeld

Ein wesentlicher Schlüssel für die erfolgreiche Durchführung eines derartigen Projektes ist die enge Zusammenarbeit von Anlagenbauern, Anlagenbetreibern und Forschung. Um dieses Projekt von der Idee bis zum fertigen Produkt zu realisieren, schloss sich die Repotec Umwelttechnik GmbH als Anlagenbauer mit Wissenschaftlern der TU-Wien und den Betreibern EVN AG und Güssinger Fernwärme GmbH zum Kompetenznetzwerk RENET - Austria zusammen. (siehe auch <http://www.renet.at>).

Ziel von RENET Austria ist es, neue, wirtschaftlich und technisch ausgereifte Systeme der Kraft - Wärme -Kopplung auf Basis der Biomassevergasung zu entwickeln.

3 Beschreibung des Kraftwerkes

3.1 Anlagendaten

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

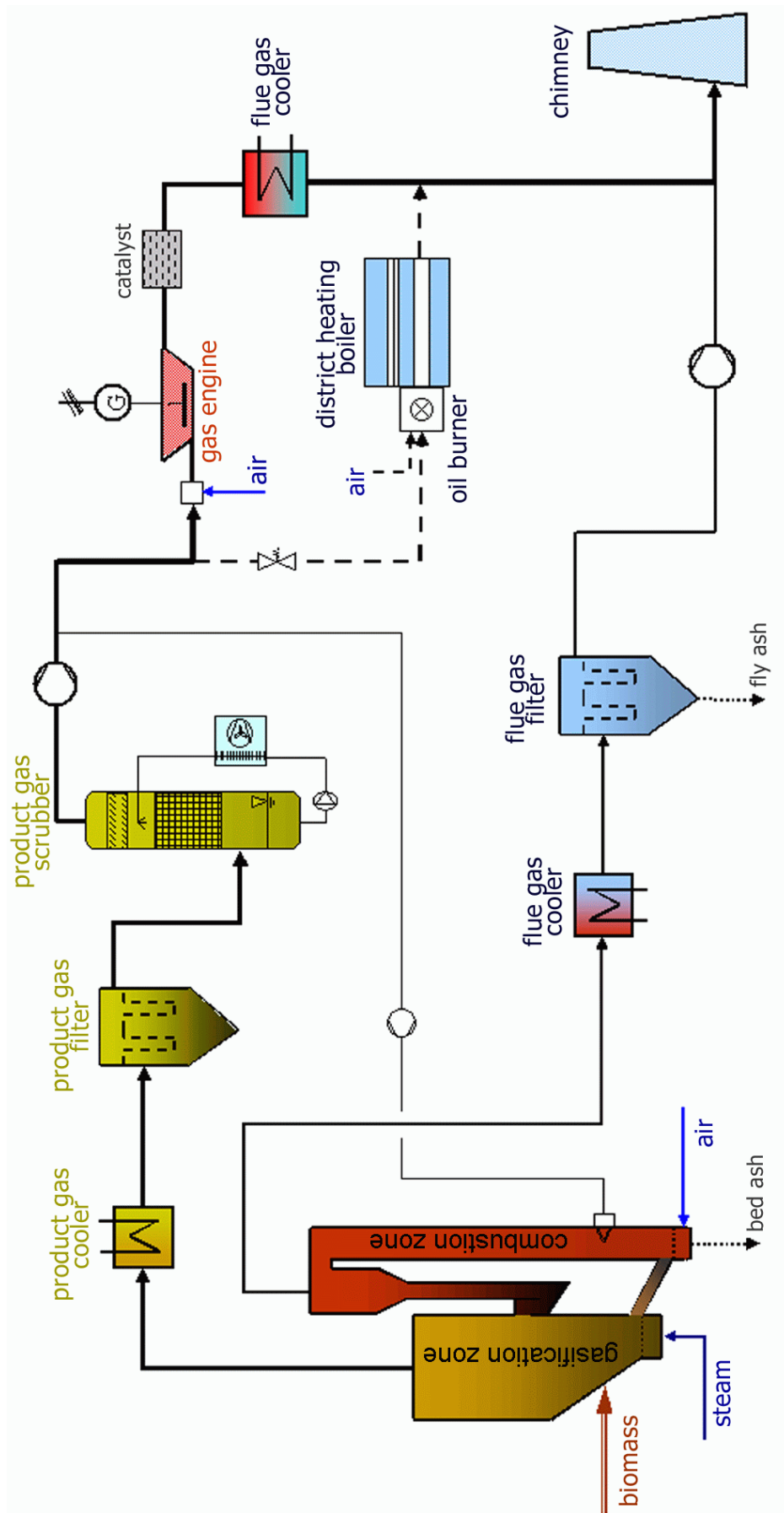


Abbildung 2: Fließbild der Demonstrationsanlage

3.2 Beschreibung der einzelnen Anlagenkomponenten

3.2.1 Brennstoff

Als Biomasse kommt Holzhackgut mit einer durchschnittlichen Feuchtigkeit von ca. 20-30 Gew.% und einem Heizwert (Hu) von ca. 16,4 kJ/kg zum Einsatz.

3.2.2 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.

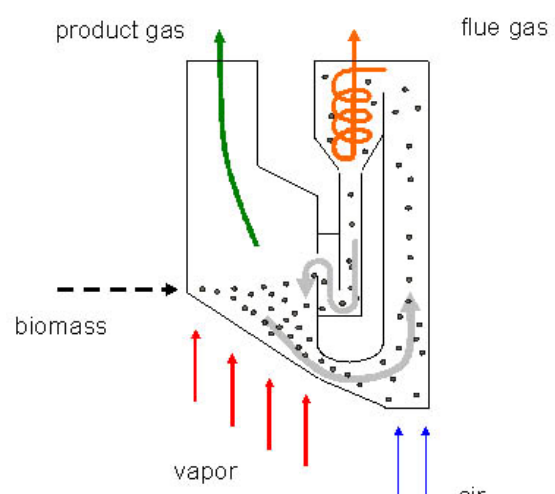


Abbildung 3: FICFB - Reaktor

Der Vergasungsteil wird durch den eingebauten

Düsenboden mit überhitztem Wasserdampf fluidisiert. Nicht vergaste Bestandteile der Biomasse (Holzkoks) wandern mit dem Bettmaterial über einen fluidisierten Verbindungskanal in die Brennkammer. Diese ist als expandierende schnelle Wirbelschicht, die mit vorgewärmter Luft betrieben wird, ausgebildet. Dort verbrennen die nicht vergasten Bestandteile (Koks), wodurch sich das Bettmaterial wieder aufheizt. Die Temperatur in der Brennkammer beträgt ca. 950°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 Anfahrbrönnner, 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 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.

3.2.3 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 brennbaren 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 im Verbrennungsteil des Vergasers entsorgt. Das anfallende Kondensat wird zur Dampferzeugung genutzt.

Rauchgasweg

Die Rauchgaskühlung erfolgt über 3 Wärmetauscher-Stufen:

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

Das mit ca. 950 °C aus der Nachbrennkammer 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.

3.2.4 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. 40%) 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 das Kondensat aus dem Produktgaswäscher eingesetzt.

4 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.

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 Juni 2003 wurden insgesamt 5800 Stunden Vergasungsbetrieb und 3600 Stunden Gasmotorbetrieb absolviert.

Während des Demonstrationsbetriebs 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.

4.1 Ergebnisse

4.1.1 Vergaser

Der wichtigste Parameter des Vergasers ist der Bettmaterialumlauf. Durch das umlaufende Bettmaterial wird die für die Vergasungsreaktionen notwendige Wärme vom Verbrennungsteil in den Vergasungsteil transportiert. Um die geplante Temperaturdifferenz zwischen den beiden Zonen zu erreichen ist ein Umlauf von 50 kg Bettmaterial /kg Brennstoff notwendig.

Die Temperaturdifferenz zwischen Verbrennungs- und Vergasungsteil liegt wie geplant bei ca. 100°C. Die Ergebnisse der Kaltmodellversuche und die darauf basierende Anlagenplanung wurden so eindrucksvoll bestätigt.

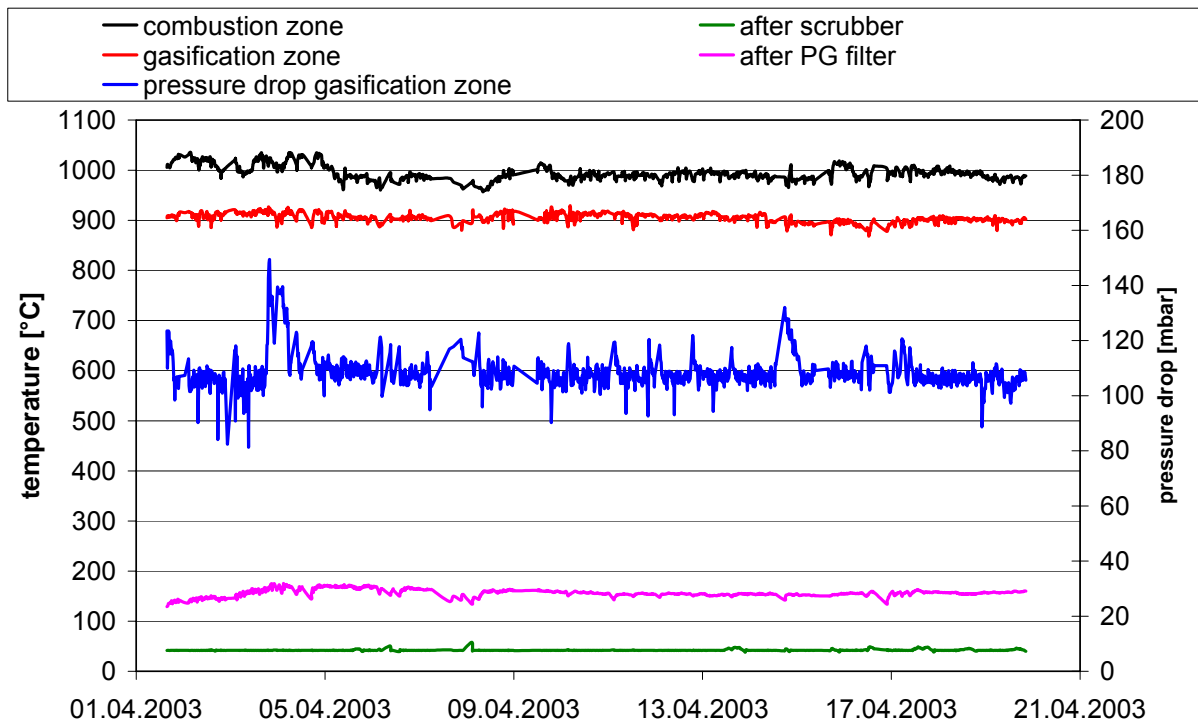


Abbildung 4: Temperaturen im Vergaser und in der Gasreinigungsstrecke

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 100kW_{th} 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:

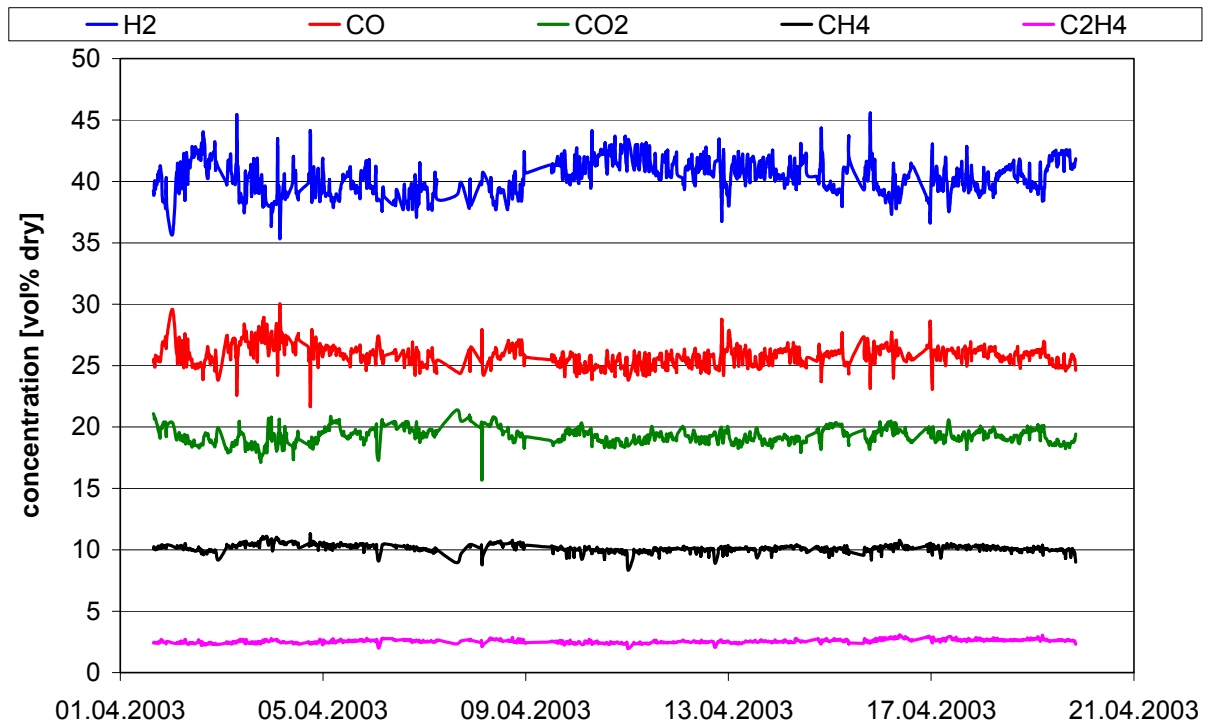


Abbildung 5: Gaskonzentrationen

4.1.2 Gasreinigung

Die Gasreinigung im BHKW Güssing besteht aus zwei Stufen. Im Schlauchfilter werden die Partikel und im Wäscher die Teere abgeschieden. Beide Stufen erreichen den geplanten Abscheidegrad und arbeiteten bis dato ohne größere Probleme. Die Konzentrationen der Schadstoffe vor und nach der Gasreinigung sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Teer	1,5-2,5 g/Nm ³ nach Reinigung: < 50 mg/Nm ³
Staub	10-20 g/Nm ³ nach Reinigung: < 5 mg/Nm ³
Ammoniak	1000 - 2000 ppm nach Reinigung: < 800 ppm
Schwefelwasserstoff	50-150 ppm

4.2 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 ($12\text{MJ}/\text{Nm}^3$). Die Teerkonzentration im Produktgas beträgt $1,5\text{-}2,5\text{ g}/\text{Nm}^3$, 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 Umlaufraten 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.

Der Produktgasfilter, 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 Volllast der Anlage möglich, welches als entscheidender Vorteil anzuführen ist.

Der Gasmotor konnte ohne größere Probleme in Betrieb genommen werden und brachte die von Jenbacher garantierte Leistung von 1500kW . Derzeit wird die Leistungssteigerung auf 2000kW durchgeführt.

5 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.

Ein wesentlicher Faktor für den wirtschaftlichen Betrieb des BHKW Güssing ist die Verfügbarkeit der Anlage. Die Verfügbarkeit ist definiert durch das Verhältnis von produzierter elektrischer Energie durch die maximal mögliche produzierte elektrische Energie. Die Entwicklung der Verfügbarkeit über den Zeitraum des letzten Jahres ist in Abbildung 6 dargestellt.

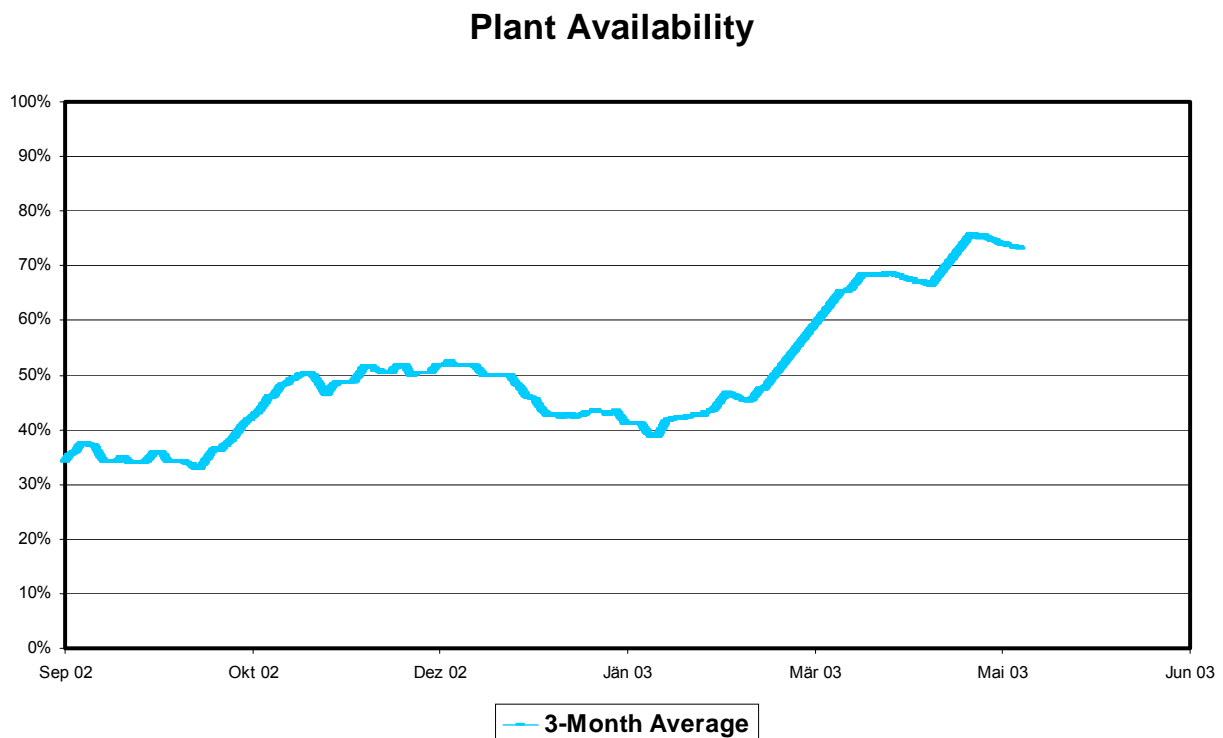


Abbildung 6: Verfügbarkeit

6 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 im April 2002 wurde der Gasmotor in Betrieb genommen. Bis Ende Juni 2003 wurden 3600 Betriebsstunden des Vergasers inkl. Gasmotor erreicht. 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 ($100 \text{ kW}_{\text{th}}$) zu einer kommerziellen Anlage (8 MW_{th}) erreicht. Zugleich wird die Forschung und Entwicklung von RENET Austria so weit fortgeführt, dass der Anlagenbauer ein wirtschaftliches Biomassekraftwerk auf den Markt bringen kann.

7 Acknowledgement

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, dem Land Burgenland und dem Land Niederösterreich für die finanzielle Unterstützung.