

Jahresbericht 2001, 15. Dezember 2001

Optimierung eines Gleichstromvergaseres im industriellen Massstab für die Vergasung von feuchten Holzschnitzeln und Atholz und Entwicklung der trockenen Gasreinigung

Autor und Koautoren	Dr. B. Meyer, R. Mörgeli, H. Gürber
Beauftragte Institution	PYROFORCE Energietechnologie AG
Adresse	Reusseggstrass 17, CH-6020 Emmenbrücke
Telefon, E-mail, Internet-Adresse	041 - 420 44 33, welcome@pyroforce.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	32603 / 72501
Dauer des Projekts	17. Mai 1999 – 30. Juni 2002

ZUSAMMENFASSUNG

Im AC-Zentrum Spiez wurde eine Holzvergasungsanlage bestehend aus Holzschnitzellagerung und –transport, Gleichstromvergaser, trockener Gasreinigung, Fackel und Blockheizkraftwerk (BHKW) erstellt. Auf dieser Anlage sollte im Jahre 2001 ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt durchgeführt werden. Der Abschluss der Arbeiten wird jedoch erst Mitte kommenden Jahres erfolgen.

Im Mittelpunkt des Forschungs- und Entwicklungsprojektes steht die Entwicklung der trockenen Gasreinigung. Diese bestand ursprünglich aus einem Zyklon, einem Rohrbündelwärmetauscher, einer Dosiereinrichtung für pulverförmige Adsorptionsmittel, einem Gewebefilter und einer Waschkolonne. Letztere hat hauptsächlich die Aufgabe, das Gas vor der Verwendung im BHKW weiter abzukühlen. Eine besondere Herausforderung stellte die Optimierung der Betriebsweise des Gewebefilters und die optimale Wahl des Filtermaterials dar. Die Gasreinigung wurde zusätzlich durch einen Koaleszenzfilter auf der Druckseite des Gebläses zwischen der Gasreinigung und dem BHKW ergänzt.

In der Anlage traten Probleme mit einer kurzfristig stark schwankenden Gaszusammensetzung und der Kondensation von teerartigen Stoffen in den Filtern der Gasstrasse des BHKW's auf. Es ist offensichtlich, dass diese Teere vor allem während dieser kurzen aber sehr deutlichen Konzentrationsschwankungen auftreten. Diese führte zu Betriebsunterbrüchen. Inzwischen konnte der Vergaserbetrieb dahingehend optimiert werden, dass diese Spitzen weitgehend vermieden werden können. Die aktuellen Erfahrungen lassen einen baldigen, erfolgreichen Abschluss der Arbeiten erwarten.

Projektziele

Bei der Holzvergasung wird durch einen thermischen Prozess ein brennbares Gas (Holzgas) aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz gewonnen. Dieses Gas muss gekühlt und gereinigt werden. Danach kann es in einem Verbrennungsmotor zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt werden. Diese Methode der Energieerzeugung ist nahezu CO₂-neutral. Die nachhaltige Energieerzeugung und die Nutzung heimischer Energiequellen stehen im Zentrum der Bemühungen um die Holzvergasung.

Im Jahre 1999 reichten die PYROFORCE Energietechnologie AG, die CT Umwelttechnik AG und die Elektrowatt Engineering AG, als damalige Schweizer Vertretung der Jenbacher AG (Österreich), gemeinsam ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt für eine Vergasungsanlage mit trockener Gasreinigung und BHKW ein. Das Projekt sollte im Jahr 2001 abgeschlossen werden. Aus verschiedenen Gründen konnte der Abschlusstermin nicht eingehalten werden. Einer dieser Gründe war der langwierige Prozess zur Erlangung einer ausreichenden Zuverlässigkeit der Arbeitsweise der Gesamtanlage.

Anhand der Erfahrungen, die nach der Inbetriebsetzung der Anlage gesammelt werden konnten, wurden signifikante Verbesserungen vorgenommen. Die Gasreinigung wurde systematisch optimiert. Aus technischer Sicht steht dem erfolgreichen Abschluss des Projektes nun nichts mehr im Wege. Die Verbesserung der Anlage bis zur Eignung für einen sicheren Betrieb ohne ständige Beaufsichtigung, die Optimierung des Betriebes in ökonomischer Sicht und die Durchführung des vorgeschlagenen Messprogrammes bleiben weiterhin die Ziele des Projektes. Das Erreichen dieser Ziele ist durch einen 150-Stunden-Dauertest zu belegen.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Nach der Fertigstellung der Anlage, wurde diese für ausführliche Tests und Optimierungsaufgaben in Betrieb gesetzt. Aufgrund von ersten Erfahrungen wurden wichtige Verbesserungen vorgenommen. Die Funktion und Effizienz des Gewebefilters wurde durch Variation der Eingangstemperatur, der Menge an dosiertem Adsorptionsmittel und der Dauer und Frequenz der Abreinigungsimpulse mit Stickstoff optimiert. Verschieden Filtergewebe wurden getestet und eine optimale Lösung gefunden. In der Folge wurde am 5. Juni 2001 ein Langzeitversuch begonnen. Dabei traten noch periodisch (ca. vier mal pro 24 Stunden) auftretende Unregelmässigkeiten des Vergaserbetriebes auf, die wohl zeitlich begrenzte Abschnitte mit erhöhten Teerkonzentrationen verursachten. Dies führte zu einer Störung des BHKW-Betriebes. Aus diesem Grund wurde der Test nach etwas mehr als 60 Stunden beendet. Da diese Periode messtechnisch genau verfolgt wurde, sollen die dabei gewonnenen Ergebnisse hier exemplarisch dargestellt werden. Die Fahrweise des Vergasers wurde in der Folge geändert. Dadurch konnten diese Störungen drastisch reduziert werden.

Anlagebeschreibung

Die Anlage besteht in der Reihenfolge des Stoffflusses aus den Abschnitten „Schnitzzellagerung, Transport und Trocknung“, „Schnitzeldosierung, Vergasung und Ascheaustrag“, „Gasreinigung und -kühlung“ und „Gasnutzung“.

Die Schnitzel werden aus dem Schnitzelsilo zum Vergaser gefördert. Im Vergaser werden sie thermisch zum brennbaren Holzgas und zu Asche umgesetzt.

Das heisse Gas wird zunächst in einem Wärmetauscher abgekühlt. Der Wärmetauscher wird in regelmässigen Zeitabständen durch Ausblasen mit Stickstoff abgereinigt. Daraufhin wird ein Aditiv

in den Gasstrom dosiert, um kondensierbare Kohlenwasserstoffe zu binden. Das beladene Adsorptionsmittel wird danach in einem Schlauchfilter abgeschieden. In einem Wäscher wird das Gas anschliessend weiter gekühlt. Das gereinigte Gas gelangt nun entweder zur direkten Verbrennung auf eine Fackel oder zur Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie zum BHKW.

Nach den hier beschriebenen Versuchen wurde die Anlage durch einen Koaleszenzfilter ergänzt, der sich zwischenzeitlich sehr gut bewährt.

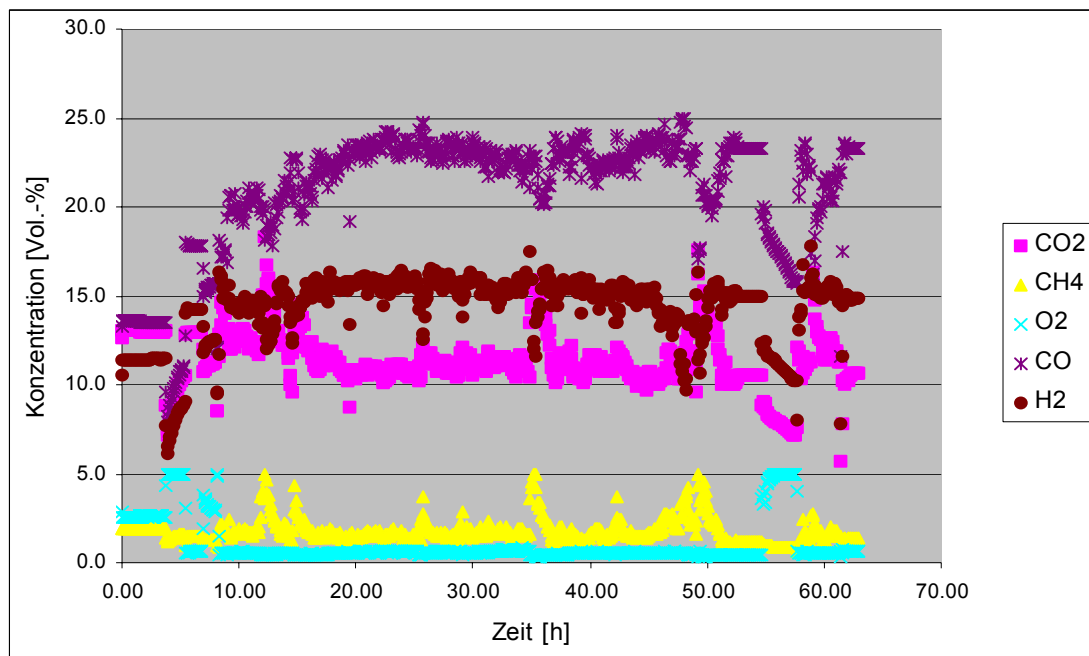
Durchführung des Dauertest

Die Versuche wurden mit Industrieholzschnitzeln durchgeführt (atro 25%). Der Test wurde mit der Zündung des Vergasers am Montag, 6. Juni 2001 um 6⁰⁰ gestartet. Bis zur Umschaltung auf die Gasreinigung, sieben Stunden später, wurde das erzeugte Gas direkt auf der Fackel verbrannt. Dann wurde die Gasreinigung eingeschaltet. Dreissig Minuten später wurde das BHKW gestartet. Kurzfristige Betriebsunterbrüche wurden durch BHKW-Ausfälle aufgrund von Störungen des Vergaserbetriebes verursacht. Nach ca. 60 Stunden wurde der Test aufgrund von Problemen mit dem BHKW abgebrochen.

Ergebnisse

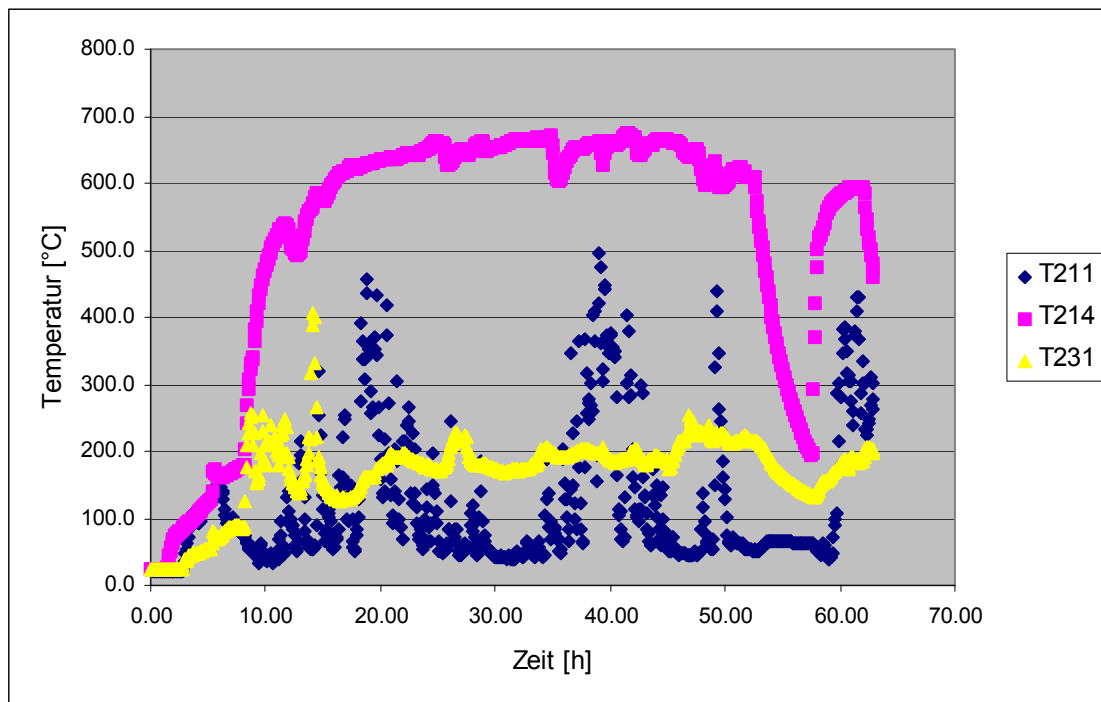
Die nachfolgende Figur 1 zeigt den Verlauf der Konzentrationen von Wasserstoff (H_2), Methan (CH_4), Kohlenmonoxid (CO), Sauerstoff (O_2) und Kohlendioxid (CO_2) im Reingas. Jeder Datenpunkt ist der Mittelwert aus 150 Einzelwerten (5 Min à 30 Messungen/Min).

Der Reingaswirkungsgrad nach 30 Stunden berechnet sich daraus zu ca. 78 %. Somit wäre ein Ziel des Projektes, nämlich dasjenige eines **Reingaswirkungsgrad von über 75 % erreicht**.



Figur 1: Verlauf der Konzentrationen von Wasserstoff (H_2), Methan (CH_4), Kohlenmonoxid (CO), Sauerstoff (O_2) und Kohlendioxid (CO_2) im Reingas

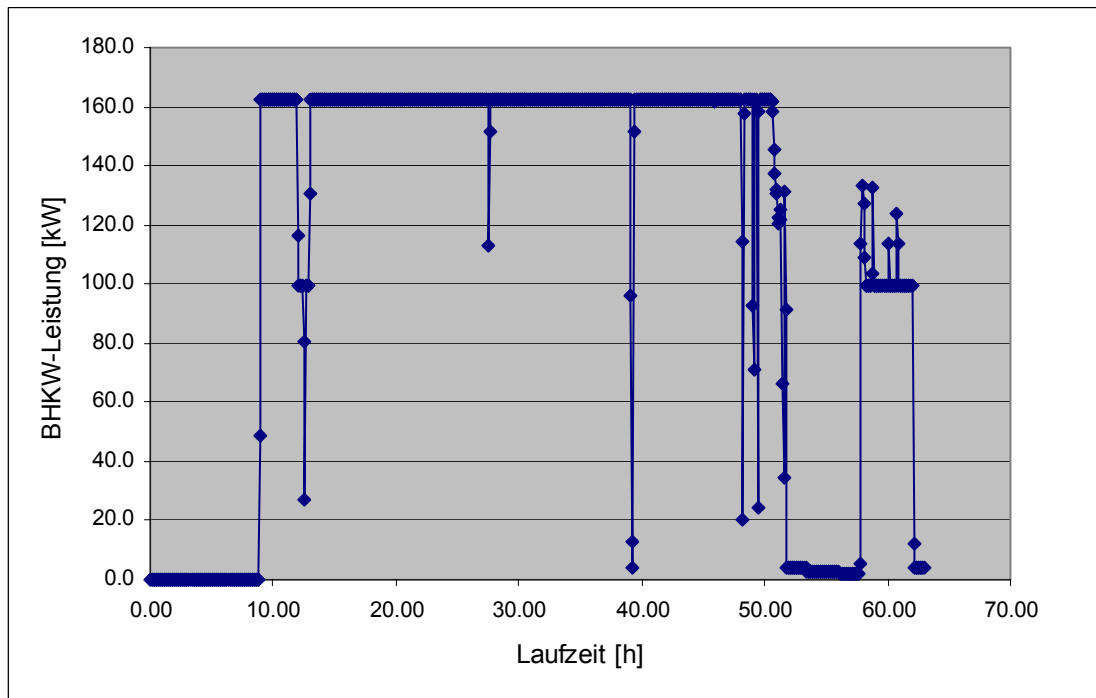
Die Figur 2 zeigt den Verlauf der Temperaturen des Vergaserkopfes (T211), des Rostes (T231) und des Rohgases (T214). Die Temperatur des Rohgases steigt nach der Inbetriebnahme des BHKW's kontinuierlich an und stabilisiert sich nach ca. 24 Stunden bei 670 °C. Der Verlauf der Rohgastemperatur widerspiegelt sich sehr genau in demjenigen des Kohlendioxidgehaltes (CO₂) des Reingases. Mit steigender Rohgastemperatur ist eigentlich aufgrund des relativ hohen Energieanteils, der den Vergaser in Form von Wärme verlässt, mit einem sinkenden Rohgaswirkungsgrad zu rechnen. Dies wird durch den steigenden Kohlendioxid-Gehalt bestätigt. Die Luftüberschusszahl hätte also reduziert werden können.



Figur 2: Verlauf der Temperaturen des Vergaserkopfes (T211), des Rostes (T231) und des Rohgases (T214)

Die Temperatur des Vergaserkopfes (T211) schwankt aufgrund der diskontinuierlichen Befüllung des Vergasers. Sie sinkt, wenn der Vergaserkopf mit Schnitzeln gefüllt ist.

Die Figur 3 zeigt den Verlauf, der während des Versuches durch das BHKW erzeugten elektrischen Energie. Die Betriebsunterbrüche sind erkennbar. Nach dem Unterbruch nach Stunde 52 wurde die Leistung reduziert.



Figur 3: Ins öffentliche Stromnetz zurückgespeiste elektrische Energie.

Zusätzlich zur Gasanalyse mit dem On-Line-Messgerät wurden Proben zur Bestimmung der Konzentrationen von Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Chlorwasserstoff im Roh- und im Reingas durchgeführt. Als Nebenwert wurde die Feuchtigkeit gemessen. Es wurden 3 Messungen jeweils im Roh- und im Reingas durchgeführt. Die Werte sind in Tabelle 1 aufgeführt:

Tabelle 1: Ergebnisse von Probenahme und nasschemischer Analyse im Roh- und im Reingas

Messstelle	Zeit nach Zündung [h]	Sulfid als H ₂ S [mg/m ³]	Chlorid als HCl [mg/m ³]	Ammoniak als NH ₃ [mg/m ³]
Rohgas	30	< 0.010	5.16	132.9
Reingas	30	< 0.008	1.62	165.6
Rohgas	33	< 0.011	0.23	70.0
Reingas	33	< 0.004	0.81	57.1
Rohgas	35	< 0.004	0.51	97.0
Reingas	35	< 0.004	0.41	33.2

Die Feuchtigkeit im Rohgas betrug nach ca. 33 h 8.1 Vol.-% und im Reingas 4.3 Vol.-%. Die Feuchtigkeit des Rohgases entspricht dem erwarteten Wert bei einer Holzfeuchte von 25 % atro und einem guten Vergasungswirkungsgrad. Der Wasserdampfanteil des Reingases resultiert aus einer Abkühlung auf ca. 30 °C.

Schlussfolgerungen und Verbesserungen

Der Vergaser arbeitet im Allgemeinen sehr effizient. Es wird ein Kaltgaswirkungsgrad von über 75 % erreicht. Die Hohe Rohgastemperatur von ca. 650 °C ist auf die effiziente Isolation des Reaktors zurückzuführen. Die hohe Konstanz der gefahrenen Motorenleistung beweist, dass die Gesamtanlage sehr gut funktioniert. Es werden nun Massnahmen ergriffen um die kurzfristigen, deutlichen Einbrüche der Rohgasqualität zu verhindern. Aufgrund der Erfahrungen aus zahlreichen Versuchen wurde beschlossen, dass der Vergaser nach einem längeren Stillstand sorgfältiger wiederangefahren werden muss, damit sich ein gleichmässiges Glutbett bildet. Beginnende Störungen des Bettaufbaus kündigen sich durch einen Anstieg der Luftüberschusszahl an.

Die Ammoniakkonzentration bewegt sich bei bis zu 50 % des Wertes, der aus einem 100%-igen Transfer des Holzstickstoffes in das Rohgas resultieren würde. Ammoniak wird, wie aus der Literatur bekannt ist, ausschliesslich aus dem Stickstoff des Holzes gebildet. Der Wäscher ist nicht für die Abscheidung von Ammoniak ausgelegt. Daher ist die Ammoniakabscheidung auch nicht sehr ergiebig. Es ist Gegenstand weiterer Untersuchungen, ob die Ammoniakkonzentration für einen schonenden BHKW-Betrieb deutlich reduziert werden muss (ca. Faktor 5 -10). Dies würde vor allem zur Schonung des Motorenöls beitragen.

Die Gasreinigung scheidet Chlorverbindungen gut ab und zwar umso besser, je höher die Eingangskonzentration ist. Die Eingangskonzentration nimmt mit der Zeit deutlich ab.

Die Gasreinigung wurde durch einen Koaleszenzfilter auf der Druckseite des Gebläses ergänzt. Dieser soll als letzter Reinigungsschritt Aerosole aus dem gereinigten und gekühlten Gas abscheiden. Der Filter bewährt sich bereits gut.

Nationale Zusammenarbeit

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird in Kooperation der Firmen PYROFORCE Energietechnologie AG, CT Umwelttechnik AG, Elektrowatt Engineering AG sowie der Jenbacher AG durchgeführt. Das Projekt hat deshalb einen stark kooperativen Charakter. Unterstützt wird das Projekt ausserdem durch Herr Dr. B. Meyer. Die Beteiligung weiterer interessierter Institutionen ist nicht geplant, aber auch nicht auszuschliessen.

Bei der Realisierung der Vergasungsanlage am AC-Zentrum Spiez konnte eine sehr professionelle Zusammenarbeit mit dem vom Bundesamt für Armeematerial und mit den Standortdiensten des Zentrums aufgebaut werden.

Internationale Zusammenarbeit

Eine internationale Zusammenarbeit findet zur Zeit nicht statt. Da die „Vergasergemeinde“ jedoch sehr international ist, wird diese für die Zukunft angestrebt.

Bewertung 2001 und Ausblick 2002

Die Arbeiten am beschriebenen Projekt haben sich deutlich verzögert. Die technischen Probleme, die noch zu lösen waren, sind aber nur ein Grund hierfür. Die vorliegenden Ergebnisse und der Erfolg der inzwischen eingeführten Verbesserungen lassen erwarten, dass der Abschluss der Arbeiten mit der Durchführung des 150-Studentests kurz bevorsteht. Das Ziel wird sein, diesen noch im Jahre 2001 durchzuführen. Der Schlussbericht soll bis zum 30. Juni 2002 vorliegen.