

Vermessung und Bewertung einer kleinen Festbettvergasungsanlage für Holzhackschnitzel

Autor: Prof. Dr. –Ing. Stefan Beer, Fachhochschule Amberg-Weiden, Fachbereich Maschinenbau/Umwelttechnik, Kaiser-Wilhelm-Ring 23, 92224 Amberg, Tel.: 09621-482-227, Fax: 09621-482-145, e-mail: s.beer@fh-amberg-weiden.de

1. Einführung und Zielsetzung

Seit einiger Zeit findet eine Renaissance der Holzvergasungstechnologie statt. Insbesondere die Neufassung des Gesetzes für erneuerbare Energien (EEG) vom August 2004 bewirkte ein starkes Interesse von landwirtschaftlichen und kommunalen Betreibern an kleinen dezentralen Vergasungsanlagen, vgl. /1,2/. Eine Reihe von Herstellern bietet inzwischen kleine bis mittlere Festbettvergasungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung (unterer spez. Heizwert multipliziert mit dem Brennstoffmassenstrom) von ca. 90 – 1000 kW_{th} an. Diese Anlagen befinden sich in völlig unterschiedlichen technologischen Entwicklungsstadien, von der per Hand zu bedienenden bis hin zur voll automatisierten Anlage. Während es sich bei der Vergasungstechnologie meistens um Gleichstromvergaser handelt, werden bei der Gasreinigung (Abscheidung von Kondensat, Staub und Teer) unterschiedliche Verfahren eingesetzt (Wäscher mit Wasser oder RME oder Schüttschichtfilter). Die motorische Nutzung kann sowohl in Gasotomotoren als auch mit Zündstrahldieselmotoren erfolgen, wobei sich als Zündöl besonders Rapsöl eignet, das nicht „EEG-schädlich“ ist.

Das Ziel der Untersuchung ist, den Stand der Technik und die Wirtschaftlichkeit bei kleinen dezentralen Vergasungsanlagen aus der Sicht eines Betreibers zu bewerten und weiterhin aus der praktischen Betriebserfahrung heraus Ansätze für die Weiterentwicklung der Anlagentechnik zu definieren. Zusätzlich sollte überprüft werden, inwieweit ein vorhandener Zündstrahldieselmotor, ursprünglich ausgelegt für den Betrieb mit Biogas, für das Schwachgas der Vergasungsanlage geeignet ist.

Auf die Grundlagen der Vergasungstechnik wird hier nicht eingegangen, dazu sei auf /3/ verwiesen.

2. Anlagenbeschreibung

Zunächst wurde im Jahr 2002 eine Ausschreibung durchgeführt und über 20 Hersteller im In- und Ausland um Angebotsabgabe gebeten. Allerdings wurden strenge Kriterien bzgl. Gaszusammensetzung, Heizwert des Gases, Kaltgaswirkungsgrad des Vergasers und Partikel- bzw. Teergehalt (definiert nach dem European Tar Protocol) gestellt. Von 20 angeschriebenen Herstellern im In- und Ausland hat nur eine deutsche Firma ein Angebot abgegeben und die Einhaltung der Forderungen garantiert. Die Anlage besteht aus einem Gleichstromfestbettvergaser (autotherme Vergasung mit Luft, Zweitluftzufuhr im Rostbereich) ,siehe Abb. 1,2 mit einer Feuerungswärmeleistung von 90 kW_{th}, einer Gaskühlstrecke (Luftkühlung und Sprühkühlung) und einem mehrstufigen Wäscher (Desintegrationswäscher) mit Wasser als Waschmittel. Das gereinigte und gekühlte Holzgas verlässt den Wäscher über einen Tropfenabscheider und wird mit ca. 30 – 40 °C und mit Feuchtigkeit gesättigt zum BHKW gefördert. In der Holzgasleitung befindet sich ein kalibriertes Venturirohr zur Volumenstrombestimmung.

Die Brennstoffzufuhr erfolgt über eine motorisch angetriebene Drehschleuse, die im Versuchsbetrieb per Hand beschickt wird. Die eingefüllten Hackschnitzelportionen werden jeweils gewogen.

Das Kühl- und Waschwasser wird in einem Sedimentationsprozess von Partikeln gereinigt, gekühlt und im Kreislauf gefahren. Überschüssiges Wasser wird über eine Wasseraufbereitungsanlage (Flockung, Sedimentation, Aktivkohlereinigung des Klarlaufs, Batchbetrieb) an die Kanalisation abgegeben. Der eingedickte Anteil (Ruß- und Staubpartikeln, Flockungshilfsmittel und organische Verbindungen) wird wieder dem Brennstoff zugegeben.

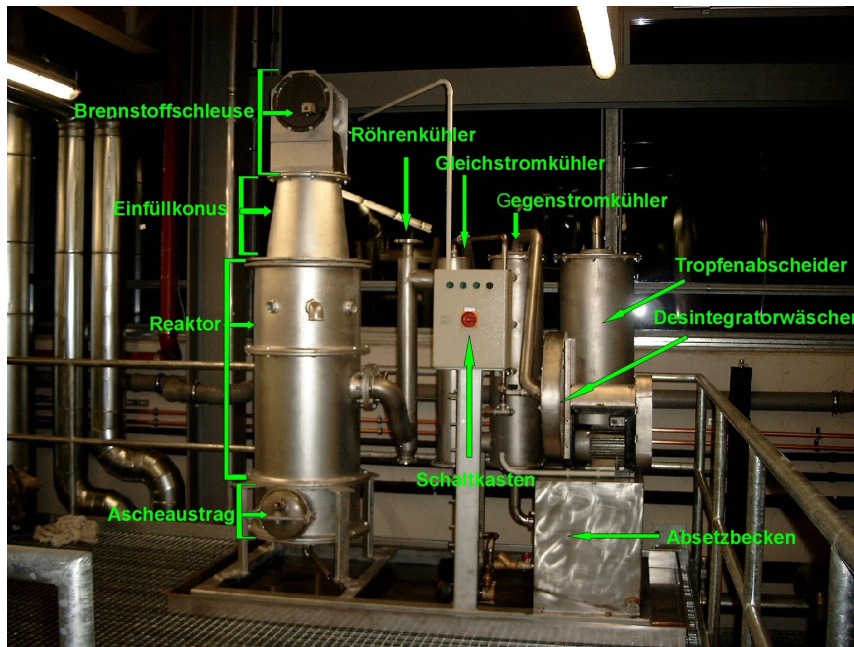


Abb. 1: Holzvergasungsanlage im Labor für Erneuerbare Energien an der FH Amberg-Weiden

Die wesentlichen Daten des Prüfstands sind in Tab. 1 zusammengefasst.

| | | |
|---|-----------|--------------------|
| Lüftung | 2.600 | Nm ³ /h |
| Gasproduktion | 70 – 75 | Nm ³ /h |
| Unterer Heizwert der Hackschnitzel | 16.880 | kJ/kg |
| Unterer Heizwert des Gases (gesättigt) | ca. 4.500 | kJ/Nm ³ |
| spez. Brennstoffverbrauch | 1 – 1,5 | kg/kWh |
| Typische Temperaturen: | | |
| Vergaseraustritt | bis 350 | °C |
| Nach Gasreinigung | ca. 45 | °C |
| Typische Holzgaszusammensetzung: | | |
| H ₂ | 14,5 | % |
| CO | 19,0 | % |
| CO ₂ | 10,5 | % |
| CH ₄ | 1,50 | % |
| N ₂ | 54,5 | % |

Tab. 1: Daten der Anlage

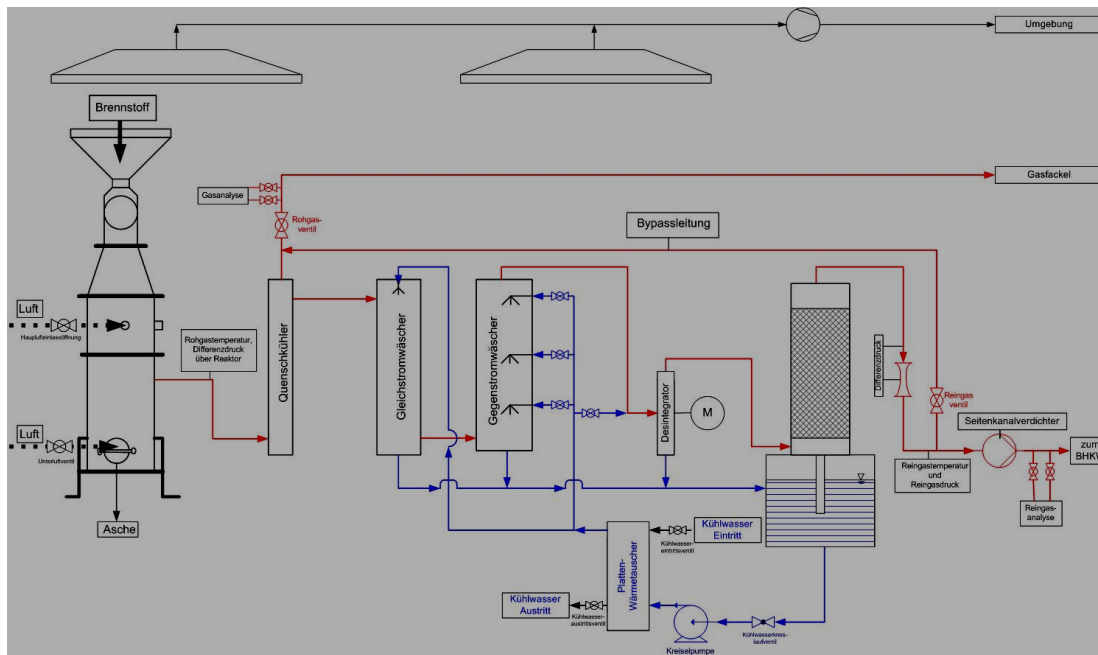


Abb.2: Verfahrensfliessbild der Holzvergasungsanlage

Im Verfahrensfliessbild (Abb. 2) ist vor dem BHKW ein Seitenkanalverdichter angebracht, der die Aufgabe hat, während der Versuchsfahrten einen möglichst gleichmäßigen Holzgasvolumenstrom aufrecht zu erhalten. Für den rein kommerziellen Betrieb der Anlage wäre er nicht notwendig gewesen. Allerdings können dann Schwankungen im Holzgasvolumenstrom auftreten.

Erwähnenswert sind auch die vorgesehenen Sicherheitsvorkehrungen. Während des An- und Abfahrbetriebes, bzw. bei Störungen wird das Holzgas über einen Bypass zu einer mit Propan befeuerten Fackel geführt und vollständig verbrannt. Dadurch werden Geruchsbelästigungen bzw. Emissionen an Kohlenmonoxid (CO) vermieden. Weiterhin sind über der Holzvergasungsanlage Kohlenmonoxidsensoren und Absaugeinrichtungen angebracht, die bei möglichen Störungen schädliche Gase sicher ableiten. Das Betriebspersonal trägt zusätzlich CO-Warngeräte.

Vor dem BHKW (Hubraum 3,3 l, 4 Zylinder, 1500 U/min, max. el. Leistung 25 kW im reinen Rapsölbetrieb) befindet sich ein Nulldruckregler und ein Gasmischer, der über die Vorgabe der elektrischen Leistung geregelt wird. Im Holzgasbetrieb wird die Rapsölmenge auf die Leerlaufeinspritzmenge begrenzt und eine max. el. Leistung von etwa 20 kW erreicht. Die einzige notwendige Modifikation am Motor selbst war eine Optimierung des Zündzeitpunkts. Die 3 wesentlichen brennbaren Anteile im Holzgas sind CO, H₂ (Wasserstoff) und CH₄ (Methan), wobei CO überwiegt. CO weist im Vergleich zu CH₄ deutlich niedrigere Flammgeschwindigkeiten auf, was zu einem langsameren Abbrand des Gasgemisches im Motor führt. Andererseits weist H₂ eine deutlich erhöhte Flammgeschwindigkeit gegenüber CO und CH₄ auf, was zur klopfenden Verbrennung führen kann, vgl. /3/. Zur Lösung des Problems wurde der Motor mit einer Brennkammerdruckindizierung an einem Zylinder versehen und der Einspritzzeitpunkt des Zündstrahls variiert, siehe Abb. 4.

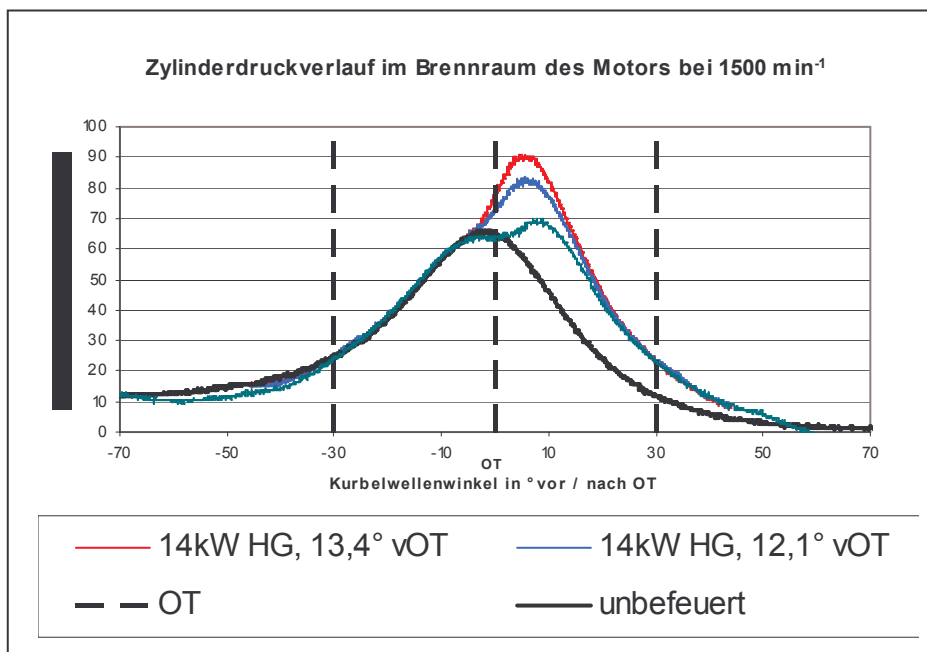


Abb. 3: Variation des Einspritzzeitpunkts im Zündstrahlbetrieb mit Holzgas

Als optimaler Einspritzzeitpunkt konnte für diese Maschine 13,4° vor dem oberen Totpunkt ermittelt werden.

3. Vermessung der Anlage

Durch die Vermessung der Anlage sollte in erster Linie die Motorverträglichkeit des produzierten Holzgases nachgewiesen werden und in zweiter Linie sollten Energie- und Massenbilanzen des Systems aufgestellt werden. Die Vermessung wurde in verschiedenen Leistungsstufen (gekennzeichnet durch die elektrische Leistung am Generator des BHKWs) durchgeführt, wobei die Ergebnisse nur auszugsweise wiedergegeben werden. Die Details sind in /5,6,7/ nachzulesen.

Die Versuchsergebnisse sind in den Abb. 4 und 5 dargestellt.

| | | Producer gas | | Clean gas | |
|--------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Gas quality | | El. Capacity 10 KW | El. Capacity 16 kW | El. Capacity 10 KW | El. Capacity 16 kW |
| | | particles c _p | 15 | 50 | 7 |
| tar c _t | [mg/Nm ³] | 166 | 401 | 11 | 12 |

Abb. 4: Teer- und Partikelgehalt im Holzgas bezogen auf den normierten, trockenen Zustand

Bisher wurden im Messbetrieb etwa 100 Betriebsstunden mit der Anlage gefahren wobei anhand der erzielten Messwerte nachgewiesen wurde, dass die zugesicherten Eigenschaften ohne Probleme eingehalten werden konnten. Sowohl die Staub-, als auch die Teerwerte im gereinigten Holzgas lagen unterhalb von 10 mg/m³_{n,t}, was als motorverträglich gilt.

Der elektrische Gesamtwirkungsgrad der Anlage liegt bei knapp 20 %, wobei ca. 18 – 20 kW elektrische Leistung in das Stromnetz eingespeist werden und etwa 50 kW als thermische Nutzleistung anfallen. Dieser Anteil könnte bei Bedarf noch etwas gesteigert werden. Die Emissionen des Zündstrahlmotors verbessern sich im Vergleich zum reinen Betrieb mit Rapsöl vor allem bei Partikeln und bei NO_x, jedoch stellt sich aufgrund der Ventilüberschneidung des Motors ein höherer CO-Gehalt ein, der jedoch wirkungsvoll durch einen Oxidationskatalysator vermindert werden kann.

| | flow | | LCHV | | capacity | |
|--------------|--------------|--------------------|-------|--------------------|----------|----|
| gas | 40,55 | Nm ³ /h | 5,044 | MJ/Nm ³ | 57 | kW |
| rapeseed-oil | 1,85 | kg/h | 38793 | kJ/kg | 20 | kW |
| wood chips | 17,24 | kg/h | 16880 | kJ/kg | 81 | kW |
| air | 25,77 | kg/h | | | | |

| | difference | |
|---------------|-------------|------|
| massbalance | 0,00 | kg/h |
| energybalance | -24 | kW |

| | |
|--|---|
| el. efficiency (gas and rapeseedoil) | |
| <u>23,5</u> | % |
| el. efficiency (woodchips and rapeseedoil) | |
| 17,9 | % |
| efficiency of gasifier: | |
| 70,3 | % |

Abb. 5: Massen- und Energiebilanz bei einer el. Leistung von 18 kW

4. Ausblick

Wesentliche Probleme traten nur im Bereich der Peripherie (Brennstoffschleuse, Gasleitung, Armaturen, Kodensatanfall) und bei der Automatisierung auf, wohingegen sich der Vergaser selbst als problemlos erwies. Derzeit wird die Anlage weiter automatisiert und es wird versucht, durch innovative Methoden den Heizwert des erzeugten Gases zu verbessern sowie das belastete Waschwasser möglichst effizient aufzubereiten. In Zusammenarbeit mit dem Hersteller des Vergasers und einem weiteren Kooperationspartner aus der Motortechnik wird derzeit eine modularisierte, voll automatisierte Vergasungsanlage entwickelt.

Natürlich können mit einer Laboranlage, die aus Kostengründen nur teilweise automatisiert ist, keine Langzeiterfahrungen im Bereich mehrerer 10.000 Betriebsstunden gewonnen werden. Daher wird angestrebt, Anlagen kommerzieller Betreiber wissenschaftlich zu begleiten und die gewonnenen Daten zu publizieren, um damit eine gesicherte Entscheidungsgrundlage für zukünftige Investoren aber auch für Genehmigungsbehörden zu schaffen.

Literaturverzeichnis

- 1) Noch viele Erschwernisse, Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, 32, 13.8.2005
- 2) Holzgas: Technik kommt vorsichtig in Fahrt, TOPAGRAR, 5, 2005
- 3) Karl, J.: Dezentrale Energiesysteme, München, Wien, Oldenbourg, 2004
- 4) Spitz, M.: Kraftgas aus Holz zur alternativen Verwendung in Zündstrahl-Dieselmotoren, Dissertation, Universität Kaiserslautern, 1999
- 5) Meyer, B.: Aufbau, Inbetriebnahme und Erprobung einer Biomassevergasungsanlage, Diplomarbeit, FH Amberg-Weiden, 2004
- 6) Lechner, R.: Aufbau, Inbetriebnahme und Entwicklung eines motorischen Konzepts zur Nutzung von Holzgas und Pflanzenöl im Zündstrahlbetrieb, Diplomarbeit, FH Amberg-Weiden, 2004
- 7) Pfeiffer, T.: Untersuchung verschiedener Verfahren der Rauchgasreinigung bei der Vergasung von Biomasse, Diplomarbeit, FH Amberg-Weiden, 2004