Holzgas-Blockheizkraftwerke für Holz und Holzabfälle – Konzepte – Technik – Betriebserfahrung

Dipl.-Phys. Wilfried Richter, Prof. Dr.-Ing. Udo Hellwig

1. Warum nach neuen Energieträgern suchen?

In der Energiepolitik sind für die Zukunft Ziele gesteckt, die keinen unmittelbaren wirtschaftlichen Gewinn erkennen lassen. Dazu gehört die Reduzierung der CO₂-Emissionen, um den Treibhauseffekt zu mindern und die Erschließung neuer Energiequellen, die notwendig sind, um langfristig die Energieversorgung zu sichern. Die Vorräte an fossilen Energieträgern sind begrenzt. Auf der Suche nach anderen Energieträgern bieten sich Reststoffe aus der Produktion an. Diese Reststoffe verfügen oft über einen ausreichenden Heizwert, so daß sich die energetische Nutzung lohnt. Auf der anderen Seite stellen sie ein Entsorgungsproblem dar, weil die Deponiekapazitäten nicht ausreichen bzw. ihre Deposition nach dem Gesetz nicht mehr erlaubt ist. Für neue Energieträger müssen neue Energiewandler entwickelt werden. Dabei sind Maschinen, die die hochwertige Energie Strom erzeugen, besonders interessant. Die erforderliche Technik für die Aufgaben der Zukunft muß rechtzeitig entwickelt sein, damit sie zur Verfügung steht, wenn sie gebraucht wird. Der für diese Entwicklung nötige Freiraum ist nur sehr begrenzt. Die Kriterien für die Förderung neuer Techniken sind nicht nach den langfristigen Notwendigkeiten ausgerichtet, sondern orientieren sich an dem kurzfristigen Erfolg. Hier sehen wir einen Interessenskonflikt, der kaum aufzuheben ist. Politisch wird in einem Vierjahreszyklus geplant, da für die Entscheidungsträger ein Erfolg ihrer Arbeiten danach nicht mehr zumutbar ist. In der Wirtschaft sind die Zyklen durch die Amortisationszeiten bestimmt. Langfristige Perspektiven zeichnen sich nur dort ab, wo der Profit absehbar ist. Ein Beispiel dafür ist der Ausbau des Erdgasnetzes und dessen Nutzung für die nächsten 50–70 Jahre.

Fast 90 % aller Blockheizkraftwerke werden zur Zeit mit Erdgas oder Heizöl befeuert. Feste Biomasse kommt kaum zum Einsatz. Das Marktsegment für BHKW's mit festen Brennstoffen erscheint den Motorenherstellern zu klein, um in die Entwicklung zu investieren. Dabei steht mit der heimischen Ressource Holz eine große Energiequelle zur Verfügung.

Allein in Brandenburg ist jährlich eine Holzmenge mit einem Energiepotential von 3500 GWh verfügbar. Der Anteil an Strom, der mit Holzgaserzeugern aus dem Holz gewonnen werden könnte, ist bestimmt durch den elektrischen Wirkungsgrad der Gesamtanlage. Mit dem heute schon realistischen Wirkungsgrad von 25% kann eine Stromausbeute von 875 GWh erreicht werden. Um dieses Potential auszunutzen, sind allein für Brandenburg Holzgas-Blockheizkraftwerk-Systeme mit einer Leistung von 150 MW notwendig. Das sind nur für Bran-

denburg mehr als 15% der im gesamten Bundesgebiet 1994 installierten BHKW-Kapazitäten mit einer Gesamtleistung von 900 MW. Der Markt ist vorhanden, und das bestätigen auch die Anfragen in unserem Haus.

2. Bezug der heutigen Technik zur Holzgasära in den 40er Jahren

Im II. Weltkrieg wurden Holzgaserzeuger eingesetzt, weil fossile Energieträger nicht verfügbar waren. Mit dem Ende des Krieges brach der Absatz von Gaserzeugern zusammen. Die Nachteile waren offensichtlich. Die Anlagen erforderten einen hohen Service und Wartungsaufwand bei geringer Leistung. So mußten z. B. alle 20.000 km die Motoren der LKW's überholt werden. Das entspricht einem Wartungsintervall von 600 h bei heutigen BHKW's. Die 50 Jahre alten technischen Lösungen sind heute nicht mehr akzeptabel. Um ein Holzgas-erzeuger-BHKW-System wirtschaftlich sinnvoll betreiben zu können, sind deutlich längere Standzeiten und Wartungsintervalle erforderlich.

Die Kontinuität der Entwicklung von Gaserzeugern ist abgerissen, da die billigen fossilen Energieträger diese Technik vollständig verdrängt haben. Die moderne Technik bietet aber Möglichkeiten in der Filtertechnik und beim Motorenmanagement, die den Holzgas-erzeuger wieder konkurrenzfähig machen. Die heutige Entwicklungsarbeit besteht darin, bewährte Gaserzeuger, die teerfreies Gas produzieren, mit den Verfahren der Brennstoffzuführung, der Filter- und Motorentechnik zu kombinieren.

3. Stand der Technik

Die kostengünstige und umweltfreundliche Produktion von Energie wird zunehmend auch für kleine und mittlere Betriebe gegenüber dem herkömmlichen Energiebezug eine zu prüfende Alternative. Bei der Holzgewinnung und -verarbeitung anfallende Reststoffe sind günstige Energieträger. Die Produktion von Wärme ist mit Holz recht einfach. Komplizierter ist die Stromerzeugung. Gerade im unteren Leistungsbereich bis 500 kW_{el} sind bisherige Anlagen (Dampf- und Gasturbinen) wenig effektiv. Bei der Suche nach Alternativen im Energiemanagement bietet sich der Holzgas-erzeuger für die dezentrale Energieerzeugung an. Entscheidend für die kommerzielle Nutzung einer Anlage ist aber deren Zuverlässigkeit und Sicherheit. Daher wurde im TSZ (Trainings- und Schulungszentrum Fürstenwalde) im Januar 1995 ein Projekt gestartet, in dem ein Holzgas-erzeuger im Dauerbetrieb unter den heutigen Bedingungen geste-

stet wird. Im ersten Betriebsjahr konnten Erfahrungen gesammelt, Daten und Bilanzen erfaßt und ausgewertet werden. Die wesentlichen Erwartungen wurden erfüllt, so daß nach einer weiteren Optimierung eine kommerziell lohnende Alternative in der Energieproduktion besteht.

Anlagen für die kommerzielle Nutzung mit den nötigen Gewährleistungen sind auf dem Markt nicht verfügbar. Es gibt bewährte Anlagen, die in strukturschwachen Ländern eingesetzt werden. Dort spielen Personalkosten und Umweltverträglichkeit, anders als hier, eine unwesentliche Rolle. Daher fehlen Automatisierung und Steuerungstechnik. Durch ihre solide Technik bieten solche Holzgasgeber aber eine gute Ausgangsbasis für die Weiterentwicklung nach den Erfordernissen am europäischen Markt.

Um diesen Entwicklungsprozeß in Gang zu bringen, wurde am TSZ (Trainings- und Schulungszentrum Fürstenwalde) ein Projekt begonnen, bei dem ein kleiner Gaserzeuger zunächst ohne Automatisierung für die Strom- und Wärmeproduktion eingesetzt wurde. Der Betrieb wird genau protokolliert und wissenschaftlich durch die Technische Fachhochschule Wildau begleitet. Den Gaserzeuger lieferte die Firma Fluidyne Ltd. (Auckland, NZ). Fluidyne ist auf dem Gebiet der Gaserzeugerentwicklung weltweit führend und besitzt seit 20 Jahren Erfahrungen mit der Produktion von Gaserzeugern.

Mit dem einjährigen Probetrieb einer 30 kW_{el} Anlage bestehend aus einem Fluidyne Gaserzeuger und einem MAN-BHKW ist die grundsätzliche Einsatzfähigkeit unter den herrschenden ökologischen und ökonomischen Bedingungen nachgewiesen. Die wesentlichen Kenngrößen (Massenstrom und Energiebilanz, Wirkungsgrad und Emissionen) der Anlage sind bekannt.

Bei den Fragen und Detaillösungen wurde grundsätzlich der Kontakt zu Firmen und Instituten gesucht, die über spezielle Kenntnisse verfügen. Damit wird die Entwicklung von Komponenten vermieden, die bereits auf dem Markt verfügbar sind. Durch die Kontakte wurden kommerzielle und wissenschaftliche Partner gefunden, die mit ihrem Wissen und ihren Produkten für die Weiterentwicklung der Gaserzeugertechnik genutzt werden können.

4. Voraussetzung für den kommerziellen Einsatz von Holzgasgebern

Durch die wirtschaftlichen und umweltrelevanten Veränderungen in der Bundesrepublik ist die Nutzung von Holzgasgebern für die Energieproduktion eine Alternative zur konventionellen Energieerzeugung geworden. Die Holzgasgeber-Anlagen müssen für den erfolgreichen Einsatz folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Leistungsklasse: 300–500 kW Stromproduktion entsprechend einer Feuerungsleistung von 1,5–2,3 MW
- Automatische Prozeßüberwachung und kontinuierlicher Betrieb
- Wartungs- und Bedienungsaufwand max. 1 Std./Tag
- Entsorgungskonzept für die Rückstände: Kon-

densat, Ruß und Asche

- Einhaltung der Emissionsgrenzwerte für die Abgase
- Spezifischer Anlagenpreis von max. 4500 DM/kW_{el}

5. Betriebserfahrungen

Am TSZ ist seit Juni 1995 ein Holzvergaser in Betrieb. Die Anlage, bestehend aus einem Gleichstromvergaser und BHKW, liefert pro Stunde 28 kW Strom und 48 kW Wärme. Der Strom wird ins Netz eingespeist und mit der Wärme werden Schulungsräume und Büros beheizt. Die Anlage wird in der Tagesschicht gefahren und hat inzwischen mehr als 800 Betriebsstunden erreicht. Begleitet wird der Dauertest durch Untersuchungen der Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit.

5.1 Technische Daten der Maschinen

Holzgasgeber 'Pacific Class' Hersteller Fluidyne, Auckland NZ

Typ	Festbettvergaser, absteigend
Brennstoff	Holz, stückig
Feuchte	mac. 30 %
Verbrauch	30–45 kg/h
Gasproduktion	25–100 Nm ³ /h
Energieproduktion	35 kW _{el} im Saugbetrieb
Filter	Gravitationsabscheidung, Zyklon, Festbettfilter mit Spänen

BHKW MAN NAR 50 M

Leistung	42 kW _{el} , 73 kW _{th} (mit Erdgas im Magermix)
Verfahren	Gas-Otto-Motor/4 Takt
Hubraum/Zylinder	5,7 Liter, 6 Zyl. Reihe
Kompression	1:12,5
Nenn Drehzahl	1500 Rpm

Die folgende Skizze verdeutlicht das Anlagensystem. Das Holzgas entsteht in dem Reaktor. Oberhalb der Vergasungszone befindet sich der Brennstoffbunker, in dem das Holz getrocknet und pyrolysiert wird. Nach der Vergasung wird das Gas von Partikeln gereinigt und gekühlt. Dafür werden Gravitationsfilter, Zyklone und Festbettfilter eingesetzt. Gekühlt wird mit Röhren-

Bild 5.1: Schema der Fluidyne Gaserzeugeranlage am TSZ Fürstenwalde

kühlern. Dem Gas wird am Mischer die für die Verbrennung im Motor erforderliche Luft beigemischt und dann angesaugt. Parallel zur Gasleitung des Motors ist das Startgebläse installiert. Die Startzeit beträgt 5 Minuten. In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten Kenndaten aus dem Dauertest des Holzgaserzeuger-Blockheizkraftwerk-Systems vorgestellt.

Parameter	Einheit	Wert
Energie		
Spezifische Daten (Mittelwerte)		
BHKW Leistung el.	/kW	28
BHKW Leistung therm.	/kW	48
Gaserzeuger		
Feuerungsleistung	/kW	125
Leistung therm.	/kW	38
Brennstoff	Holz (unbehandelt)	
Brennstoffverbrauch	/kg/h	31 (wf)
Brennstoffverbrauch	/kg/kWh	1,1 (wf)
Stromkennzahl		0,59
Wirkungsgrade		
Wirkungsgrad elektrisch		– 0,22
Wirkungsgrad thermisch		– 0,38
Wirkungsgrad gesamt	–	0,60
(Wirkungsgrade bezogen auf den Brennstoffeinsatz bzw. Gesamtanlage)		
Brennstoffeuchte	/%	10
Heizwert Hu (wf)	/kJ/kg	17500

Austrag bezogen auf den Brennstoff (wf)

Asche Summe	1,8 %
Kondensat	5,4 %
(neutral durch Aktivkohle)	

BHKW Abgasmessung

Gaskomponente	Wert	TA Luft
CO ₂	17,95 %	
CO	2450 [*] mg/m ³	650
Nox	106 mg/m ³	500
SO ₂	0 mg/m ³	400

^{*}Senkung unterhalb TA-Luft techn. möglich

Kondensatanalysen

Stoff	Einheit	Wert	Limit
Absetzbare Stoffe	mg/l	0,3	6,0
pH-Wert		8,8	9,5
CSB	mg/l	1900	
CSB (gereinigt [*])	mg/l	100	600
Cyanide	mg/l	0.013	0,2
Phenole	mg/l	108	
Phenole (gereinigt [*])	mg/l	63	75

^{*} mit Aktivkohle

Analyse von Holzgas mit Kapillargaschromatograph nach DIN 51 872

Labor: GASAG Berliner Gaswerke AG, Probenahme Nov.'95

Kenndaten bei der Probenahme:

Holzgasproduktion: 72 m³/h

Vollast = 100 m³/h

Leistung elektrisch: 20 kW (Netzeinspeisung)

Komponente Vol %

Stickstoff	49
Kohlenmonoxid	17
Wasserstoff	15
Kohlendioxid	12
Methan	1,7
Ethen	0,3
Summe der höheren Kohlenwasserstoffe	<0,1
(Rest H ₂ O)	ca. 5)
Heizwert (Hu)/kJ/m ³	4530

Tabelle 5.1: Kenndaten des Fluidyne Gaserzeugeranlage am TSZ Fürstenwalde

6. Energiebilanz

Aus der Energiemenge des eingesetzten Brennstoffs kann mit einem Gaserzeuger und BHKW mehr als 20 % Strom erzeugt werden. In dem Energieflußdiagramm sind die möglichen Potentiale aufgeführt. Ob eine vollständige Ausnutzung sinnvoll ist, muß der Planer im Einzelfall entscheiden. Bei entsprechendem Wärmebedarf, z. B. Trocknung in Tischlereien, ist die BHKW-Technik und die Nutzung der Gaserzeugerabwärme zu empfehlen.

In einem anderen Fall ist evtl. die reine Stromerzeugung sinnvoll. Dabei sind die Investitionen wesentlich geringer. Auch ist die reine Stromerzeugung bei sonst ungenutzten Brennstoffen trotz des geringen Gesamtwirkungsgrades ökologisch vertretbar.

Die Wirkungsgrade des Holzgas-BHKW's erscheinen in diesem Diagramm kleiner als die bekannten Werte für

Bild 6.1: Energiebilanz eines Holzgaserzeuger-BHKW-System

Erdgas-BHKW's. Tatsächlich sind die Wirkungsgrade von Holzgas- und Erdgas- BHKW's aber fast gleich. Im direkten Vergleich muß, wie bei Erdgas, der Heizwert und die Menge an Holzgas als Basis der Berechnung gewählt werden. Für den mechanischen Wirkungsgrad bedeutet dies: $22 \% / 0,64 = 34 \%$ Wirkungsgrad für das BHKW. Tatsächlich wird z. Zt. von der Demonstrationsanlage ein Wirkungsgrad von 22 % entsprechend 34 % erreicht.

7. Wirtschaftlichkeit

Generelle Einschätzungen sind schwierig. Die Anlagen werden individuell konzipiert. In der Regel kann aber bei entsprechendem Brennstoffaufkommen eine wirtschaftlich mögliche Konzeption gefunden werden. Für die Einschätzung sind folgende Punkte wichtig:

- Investitionen für die Gesamtanlage
- Einsparung der Strombezüge von dem EVU
- Brennstoffkosten besonders interessant bei belasteten Hölzern, d. h. bei negativen Brennstoffpreisen
- Wärmenutzung
- Grad der Automatisierung. In der Regel ist bei kleinen Anlagen ($< 100 \text{ kW}_{\text{el}}$) Handbetrieb oder eine Halbautomatik sinnvoll. Nur größere Maschinen können durch ihren Ertrag die Mehrkosten für eine Automatisierung erwirtschaften.

Gerade die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung hat gezeigt, daß es sinnvoll ist, größere Einheiten von Gaserzeugern zu bauen. Beim up-scaling der Vergaser treten in der Regel Probleme auf. So ist es wichtig, trotz der notwendigen größeren Rostfläche das horizontale Temperaturprofil der Zonen zu erhalten. Dies ist mit der Entwicklung des Mega-Class-Gasifiers auf der Basis des bewährten Pacific-Class-Gasifiers gelungen.

Um die Wirtschaftlichkeit zu verdeutlichen, wurde für den Fluidyne-Mega-Class-Gasifier eine Kalkulation nach einem möglichen Einsatzszenario berechnet und in der folgenden Tabelle aufgeführt:

7.1 Kostenspezifikation

Position	Einheit	Wert
7.1.1 Technische Daten		
7.1.1.1 Holzgaserzeuger		
Feuerungsleistung	KW	2300
Gasproduktion	m^3/h	1380
Heizwert Holz (Wasserfrei)	kJ/kg	15000
Heizwert Generatorgas	kJ/m^3	4500
Chem. Leistungspotential	kW	1725
Brennstoffverbrauch	kg/h (wf)	552
Holzgasproduzent Wärme	kW	345
Wirkungsgrad Gaserzeuger		0,64
7.1.1.2 BHKW		
Wirkungsgrad el.		0,22
Wirkungsgrad th.		0,38
Leistung el. (Generatorgas)	kW	506
Leistung th. (Generatorgas)	kW	874
7.1.2 Einsatzszenario		
Einsatztage/Jahr	Tage/a	315

Verfügbarkeit		0,85
Betriebsstunden	h/tag	24
Betriebsstunden	h/a	6426

Brennstoffverbrauch	kg/h	662
Brennstoffverbrauch	t/a	4256
(bei 20 % Wassergehalt)		

Prod. Energiemenge el.	MWh	3251
Prod. Energiemenge th.	MWh	5616
Strompreis	DM/MWh	168
Wärmepreis	DM/MWh	65

Stromertrag	DM	546261
Wärmeertrag	DM	365061
Ertragssumme	DM	911322

7.1.3 Investition

Gaserzeuger	DM	770000
BHKW	DM	1245000
Gesamtkosten	DM	2015000
spez. Invest. Kosten	DM/ kW_{el}	3980

7.1.4 Betriebskosten

spez. Personal Kosten	DM/h	50
Arbeitszeit	h/Tag	1,5
Personal	DM	23625
spez. Servicekosten	DM/ MWh_{el}	50
Service	DM	162577
Kondensatabnahmegebühr	DM/ m^3	25
Kondensatmenge	% Br. st.	15
Kondensatentsorgung	DM	15962
Aschabnahmegebühr	DM/t	1000
Aschemenge	% Br. st. (wf)	2
Ascheentsorgung	DM	85131
Brennstoffannahme	DM/t	-50
Brennstoffaufbereitung	DM/t	50
Brennstoff	DM	0,00
Betriebskosten gesamt	DM	287296
verfügbare Kapitalkosten	DM	624025
Annuität	%	31
KreditZinssatz (8%)	%	8
Tilgung	%	23
(Amortisation)	Jahre	(4,3)

Verfasser

Dipl.-Phys. Wilfried Richter
MHB GmbH, Fürstenwalde

Prof. Dr.-Ing. Udo Hellwig
Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Tel. 03375/507-170