

STROMERZEUGUNG AUS BIOMASSEN MIT IMBERT VERGASUNGSANLAGEN

Dipl.Ing. W.O. ZERBIN
IMBERT-Energietechnik GmbH & Co KG, 5354 Weilerswist,
Bonnerstr. 49
Bundesrep. Deutschland

Zusammenfassung

Ständig nachwachsende Biomassen wie Holz oder Holzabfälle sind eine ausgezeichnete Energiequelle zur Strom- und Wärmeerzeugung. Energie aus Biomassen ist wirtschaftlich und zuverlässig. Eine der interessantesten und umweltfreundlichsten Biokonversionsverfahren ist die Erzeugung von elektrischem Strom mittels Vergasung von Biomassen. Ein Kilogramm luftgetrocknetes Holz ergibt ca. 2,3 Nm³ Holzgas (Generatorgas). Der Verbrauch von lediglich 1,25 kg Holz zur Erzeugung von 1 kWh Strom zeigt die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens.

IMBERT Vergasungsanlagen werden in Größenordnungen von 10 bis 820 kWel. pro Vergasereinheit gebaut. Bei der parallelen Installation mehrerer Einheiten sind Anlagengrößen bis zu 10.000 kWel. möglich. Genauso ist es möglich, mehrere Motoren aus einer Vergasungsanlage zu speisen.

Unsere Erfahrung zeigen, daß Vergasungsanlagen in vielen Anwendungsfällen große Vorteile aufweisen, da sie speziell an die örtlichen Gegebenheiten angepaßt werden können.

Folgende Einsatzbereiche für IMBERT Vergasungsanlagen sind möglich:

- Erzeugung von Wärme z.B. in Kesseln, zur Trocknung, Unterhalt der Prozeßfeuerung in der keramischen Industrie etc.
- Speisung von Gasmotoren für mechanische Einzelantriebe
- Speisung von Gasmotoren/Elektrogeneratoren zur Stromerzeugung.

Investitionskosten

Die Kosten für IMBERT Anlagen variieren je nach Größe und Ausstattung. Im allgemeinen kann mit Investitionskosten zwischen 3.000 und 4.000 DM pro installierte kWel. gerechnet werden.

Vorbehandlung des Brennstoffes

Zur Aufarbeitung des Brennstoffes ist eine Fläche mit festem Boden in der Nähe der Vergasungsanlage erforderlich. Große Stämme werden zweckmäßig zur leichteren Handhabung in Längen von 1,50 bis 2,50 m zersägt und auf Durchmesser unter 20 cm gespalten.

Dazu eignen sich am besten eine Motorsäge und ein hydraulischer Spalter.

Frisches und nasses Holz sollte durch eine Zwischenlagerung im Freien vorgetrocknet werden. Der Lagerplatz sollte so groß gewählt werden, daß ein Holzhaufen für eine Wetter-Saison gelagert werden kann.

Das vorgetrocknete Holz wird sodann stückig mit Kantenlängen von 70 bis 40 cm und einem Volumen von ca. 150 cm³/Stück zerkleinert. Der vorbereitete

Brennstoff wird dann unter einem Wetterdach zwischengelagert. Hierzu ist ein fester Boden erforderlich, um zu verhindern, daß Steine, Erde oder Metallteile zwischen den Brennstoff geraten. Das zwischengelagerte Gut wird vorteilhaft mit einem Frontlader den Tagesbunkern vor der Vergasungsanlage zugeführt.

In der Regel wird der ~~Tagesbunker~~ zugleich als ~~Nachtrocknungseinrichtung~~ unter Nutzung der Auspuffgase des Motors ausgebildet, damit wird zugleich der thermische Gesamtwirkungsgrad der Vergasung verbessert.

Als Brennstoff ist ebenfalls lufttrockener Torf einsetzbar. Dabei muß aber darauf geachtet werden, daß der Brennstoff während der Vergasung auch das erforderliche Kohlenbett im Vergaser bildet.

IMBERT- Kraftanlagen und Blockheizkraftwerke auf der Basis Holzvergasung

IMBERT - V e r g a s u n g s a n l a g e :

Für die Beschickung ist vor dem Vergaser ein Tagesbunker mit hydraulischem Förderrohr angeordnet. Der Brennstoff wird aus dem Tagesbunker automatisch, lastabhängig der Vergasungsanlage zugeführt.

Die IMBERT-Holzgasanlage arbeitet als Sauggasanlage, d.h. während des Betriebes herrscht in der Anlage Unterdruck, der durch die Ansaugkraft des Motors entsteht. Um bei einer Mehrmotoranlage die Gasleitungswiderstände möglichst klein zu halten, werden die Rohrquerschnitte ausreichend groß bemessen.

Die besondere Bauart des IMBERT-Vergasers bewirkt die selbsttätige schnelle Anpassung der Gaserzeugung an die Betriebserfordernisse. Es wird immer nur die für die Leistung benötigte Gasmenge erzeugt. Der im Vergaser eingefüllte Festbrennstoff trocknet, verschwelt zu Holzkohle und wird anschließend vergast, indem der Brennstoff durch sein Schwergewicht von der Einfüllöffnung zum Vergasungsherd absinkt. Die Trocknung und Verschwelung des Brennstoffes zur Holzkohle erfolgt kontinuierlich, durch die freiwerdende Prozeßwärme ohne äußere Wärmezufuhr. Für den Start des Vergasers ist unter dem Holz des Brennstoffschachtes im Vergasungsherd Holzkohle aufzufüllen. Mittels Papier oder Stroh und Streichhölzern wird die Holzkohle angezündet. Nach dem Anzünden braucht es nur eine kurze Zeit, bis die Gasproduktion einsetzt, da die Holzkohle sehr rasch mit der durch Düsen eintretenden Luft, dem Vergasungsmittel, reagiert. Die angezündete Holzkohle oxydiert mit der eintretenden Luft teilweise zu Kohlenoxyd - CO - zu einem brennbaren Gas, teilweise zu dem nicht brennbaren Kohlendioxyd - CO₂ -. Das Kohlendioxyd wird jedoch bei weiterem Durchströmen der glühenden Holzkohle zum Teil zu Kohlenoxyd reduziert, dadurch erhöhen sich die brennbaren Bestandteile des Gases. Der aus der Trocknung freiwerdende Wasserdampf und die Schwelgase müssen bei der absteigenden Vergasung ebenfalls die glühende Holzkohle durchströmen. Hier herrscht auch ~~bei der geringst möglichen Belastung des Vergasers~~ ~~- ein Viertel der Vollast -~~ eine so hohe Temperatur, daß der Wasserdampf teilweise in das brennbare Gas Wasserstoff - H₂ - und Sauerstoff - O₂ - zerlegt wird. Der freigewordene Sauerstoff verbindet sich wieder mit Kohlenstoff - C - zu dem brennbaren Gas CO. Das entstandene Wassergas - H₂ -, das Kohlenoxyd - CO - und das in geringen Mengen ebenfalls entstehende Methan CH₄ sind die brennbaren Hauptanteile im Holzgas. Der Rest, 10 % CO₂

und 50 % N₂, sind unbrennbar.

Für den einwandfreien Ablauf des vorstehenden Vergasungsprozesses ist der Feuchtigkeitsgehalt im Brennstoff von großer Bedeutung. Mit einem Feuchtigkeitsgehalt bis zu 25 Gew.-% im Holz wird mit IMBERT-Vergasern ein praktisch teerfreies Gas erzeugt, d.h. der in den Schwelgasen enthaltene Holzessig, Phenolanteil, Teer usw. wird zersetzt, verkrackt und in gut brennbare Gase umgewandelt.

Zur Erreichung eines teerfreien Gases ist eine hohe Temperatur im Vergaser erforderlich, die durch eine Mindestbelastung des Vergasers erreicht wird und notfalls durch Hinzuschaltung eines Gebläses mit Abbrand des überschüssigen Gases sicherzustellen ist.

Für das Anfahren der Holzgasanlage bis zum Starten des Motors bedarf es je nach Vergasergröße nur einer kurzen Zeit von einigen Minuten. Hierzu dient ein Anfachgebläse mit einer Abfackeleinrichtung.

Eine Unterbrechung bzw. Beendigung der Vergasung erfolgt durch Abschalten der Motoranlage bzw. der Gebläse. Wurde in der Vergasungsanlage eine entsprechende Temperatur erreicht, so setzt auch nach längeren Pausen, nach Zwischenschaltung des Sauggebläses, die Vergasung wieder unmittelbar ein.

Die Zusammensetzung des Gases aus IMBERT-Vergasern schwankt entsprechend der Belastung des Gaserzeugers und hat etwa folgende Volumenprozent:

CO = 18 - 23 %, H₂ = 15 - 20 %, CH₄ = 1,5 - 2,0 %, CO₂ = 10 - 15 %, N₂ = 47 - 52 %.

Der untere Heizwert des Gases liegt bei lufttrockenem Holz je nach Wassergehalt zwischen 4.830 - 5.460 KJ/Nm³ - ~~1.150 - 1.300 Kcal/Nm³~~.

Eine Füllung mit trockenem oder schwerem Brennstoff reicht naturgemäß länger als eine Füllung mit feuchtem oder leichtem Brennstoff. Gleich trockenes Hartholz und Weichholz ergeben dem Gewicht nach gleich viel und praktisch auch gleich gutes Holzgas. Die Holzart kann eine besondere Anpassung des Vergasers erfordern, da die Holzkohlenbildung nicht bei allen Hölzern gleich verläuft. Sollen Weichholz und Hartholz vergast werden, so wird zweckmäßig daraus eine Mischung gebildet, um die Holzkohlenbildung im Vergaser zu begünstigen.

Zur Erreichung eines teerfreien Gases und einer Verkrackung der schweren Kohlenwasserstoffe ist Voraussetzung, daß der Brennstoff die erforderliche stückige Kohle in der Reduktionszone bildet.

Holz hat einen Aschegehalt von ca. 0,8 Gew.-% bezogen auf die Trockensubstanz. Ein Teil dieser Asche und etwas Kohlenstaub wird mit dem Gasstrom ausgetragen, der größte Teil der Asche und etwas Kohlenstaubabrieb aus der Rostbewegung fällt durch den Rost im Vergaser in den darunter angeordneten geräumigen Aschensammelraum. Der Rost wird durch eine mechanische Einrichtung bewegt, um die Entaschung aus dem Kohlenbett zu begünstigen.

Die Asche wird von Zeit zu Zeit durch eine gasdichte Entnahmeluke entnommen. Da bei dem Befüllen des Vergasers nicht ausgeschlossen werden kann, daß Fremdkörper wie kleine Steine und Metallteile in den Vergaser geraten,

sind für die Kontrolle, Erneuerung des Kohlenbettes und zugleich für die Entfernung von Fremdkörpern gasdichte Revisionsluken angeordnet.

Das erzeugte Gas durchströmt nach dem Vergaser eine Multizyklonanlage, in der der Grobstaub weitgehend abgeschieden wird.

Das so vorgereinigte Gas wird sodann zur Kühlung einem Gaswäscher bzw. Kondensator zugeführt, in dem das Gas unter den Taupunkt gekühlt wird. Bei der Kühlung und Kondensation dient der verbliebene Feinstaub als Kondensationskern und wird zum größten Teil mit dem Kondensat abgeschieden. Da bereits im Vergasungsprozeß die schweren Kohlenwasserstoffe und umweltbelastenden Reststoffe weitgehend beseitigt wurden, kann das Kondensat mit dem Kohlenstaubschlamm in den Abwasserkanal abgeleitet werden.

Im nachfolgenden Elektrofilter wird das Gas nachgereinigt. Hier werden die feinen Wassertröpfchen und der im Gasstrom noch mitgerissene Feinstaub nahezu vollkommen ausgeschieden. Die Verminderung der Feuchtigkeit im Gas trägt zur Erhöhung des Heizwertes bei. Die Entfernung des Feinstaubes wirkt sich vorteilhaft auf die Lebensdauer der Motoren aus. Für die Wartungszeiten bzw. für die kurzzeitige Spülung der Niederschlagsflächen und Elektroden im Filter mit Spülwasser wird das Gas während des Betriebes durch einen Bypass am Filter vorbeigeleitet, so daß während dieser Zeiten keine Abschaltung der Motorenanlage erforderlich wird.

Für das Anfahren der Motoren werden die Gaszuführungsleitungen und das Gasgebläse zu den Motoren so angeordnet, daß für den Start des Motors das Gas in der Nähe des Gas-Luftmischers zur Verfügung steht.

Entsprechende Regel-, Steuer- und Überwachungseinrichtungen gewährleisten einen kontinuierlichen, weitgehend selbsttätigen Ablauf des Vergasungsprozesses.

Gas-Saugmotoren und Elektrogeneneratoren mit oder ohne Wärmerückgewinnung:

Gasmotoren erreichen nur mit genügend gekühltem Gas einen günstigen Füllungsgrad, insofern ist die Gaskühlung für die Motorleistung von Bedeutung.

Unter günstigen Brennstoffbedingungen wurden mittlere Kolbendrücke bei mittelschnelllaufenden Motoren bis zu 5,6 bar erreicht. In der Praxis kann unter Berücksichtigung europäischer Aufstellbedingungen, Aufstellhöhe bis 500 m, Lufttemperatur 20 C, relative Luftfeuchte 60 %, bei Einsatz von Holzgas aus IMBERT-Vergasungsanlagen mit folgenden mechanischen Motorleistungen gerechnet werden:

		mittl. Kol- bendruck PE in bar	je 1.000 cm ³ Hubvolumen PS Leistung	je 1.000 cm ³ Hubvolumen kW Leistung
Saugmotor	1.000 U/min	5,40	6,0	4,40
Saugmotor	1.200 U/min	5,35	7,15	5,25
Saugmotor	1.500 U/min	5,30	8,85	6,50
Saugmotor	1.800 U/min	5,25	10,0	7,35

Mit zunehmendem mittleren Kolbendruck steigt der Wirkungsgrad von Verbrennungskraftmaschinen. Der thermische Wirkungsgrad von Gas-Saugmotoren entspricht ca. 29 bis 31 %. Mit dem Kühlwasser werden ca. 28 - 31 % und mit den Auspuffgasen ca. 26 - 30 % Energie abgeführt, die Abstrahlungsverluste betragen ca. 8 bis 10 %.

Für die Standfestigkeit und Lebensdauer von Motoren ist unter anderem neben dem mittleren Kolbendruck die Umdrehungs- und die Kolbengeschwindigkeit von Bedeutung.

Gegenüber Dieselmotoren sind die Kolbendrücke bei Gasmotoren verhältnismäßig gering, so daß Gasmotoren mit höheren Umdrehungs- und Kolbengeschwindigkeiten betrieben werden können. Die Lebensdauer von Gasmotoren liegt bei gleicher Umdrehungs- und Kolbengeschwindigkeit erheblich über der Lebensdauer von Dieselmotoren.

Welche Maschine zu wählen ist, sollte nach den Aufstellungsbedingungen und den vorgesehenen Betriebszeiten bestimmt werden. Für Dauerläufer sind zweckmäßig Langsamläufer, für Teilzeitbetrieb zweckmäßig Schnellläufer einzusetzen. Spezifisch auf die Leistung bezogen sind schnelllaufende Motoren preiswerter als langsamlaufende, dagegen ist hinsichtlich der Lebensdauer zu erwarten, daß langsamlaufende Saugmotoren eine längere Standzeit haben als Schnellläufer.

Für den Betrieb von Elektroaggregaten ist es vorteilhaft, einen hohen Gleichlauf zu erreichen. Zusätzliche Schwungmassen am E-Generator oder Motor erleichtern diesen Gleichlauf, insbesondere bei stoßartigen Belastungen der Stromerzeugungsanlage.

~~Hotzgas-Anlagen lassen ohne technische Schwierigkeiten Zuschaltungen bis 15 % der Nennleistung zu.~~

Gasmotoren-Elektroaggregate können sowohl für den Inselbetrieb als auch für das Parallelfahren zu einem vorhandenen zentralen Stromnetz eingerichtet werden.

Bei der Umwandlung der mechanischen Energie der Gasmotoren in elektrische Energie mit Elektrogeneratoren entstehen Verluste, die je nach dem $\cos \phi$ und je nach Generatorleistungsgröße zwischen 1 und 15 % liegen können. Kleine Generatoren haben einen schlechteren Wirkungsgrad als Generatoren mit großen

Leistungen. Z.B. liegt der Wirkungsgrad im Bereich von 100 kWel. $\cos \phi$ 0,8 bei ca. 90 % / 1.500 U/min, und im Bereich von 250 kWel. bei ca. 93 % / 1.500 U/min.

Eine Aufteilung der Gesamtleistung auf mehrere Stromerzeugungseinheiten ist oft von Vorteil, um im Schwachlastbetrieb, der z.B. oft nachts gegeben ist, nicht die Gesamtanlage im Verschleiß zu fahren. Damit kann in der Regel auch besser den Betriebserfordernissen und dem Wartungsdienst entsprochen werden.

Zu beachten ist, daß für eine Anlage mit mehreren Motoren die Vergasungsanlage in ihrer Regelfähigkeit entsprechend ausgelegt wird.

Schaltanlage:

Die Schaltanlagen werden üblich wie bei Dieselmotoren-Kraftstationen gestaltet.

Montage und Installation:

Alle Anlagenteile sind als Bauelemente vorgesehen zur Montage und Installation auf bauseitig zu errichtenden Fundamenten. Bei dem Einsatz von Wasser zur Gaskühlung wird ein Wasservordruck von 5 bar vorausgesetzt.

Wir bieten ebenso Anlagen vormontiert in einem Standard-Container an. Hier dient der Container als Transporteinheit und gleichzeitig als Gebäude.

~~Ebenso sind mobile Anlagen bis zu einer Leistung von 152 KWel. lieferbar.~~

Wirkungsgrad der Gesamtanlage:

Die gesamte Anlage hat einen Wirkungsgrad, der sich aus den Wirkungsgraden der einzelnen Anlagekomponenten, wie der Vergasungsanlage, des Gasmotors, des Elektrogenerators, evtl. eingesetzter Wärmetauscher und der Abwärmee-nutzung zur Vortrocknung des Vergasungsbrennstoffes ergibt. In der Praxis kann von folgender Energiebilanz bezogen auf 1 kg lufttrocke-nes Holz mit ca. 20 Gew.-% H₂O ausgegangen werden :

Vergasungsbrennstoff			
1 kg Holz 20 Gew.-% H ₂ O	14.700 KJ / 3.500 kcal / 4,07 KWh		100,0 %
Chem. Energie nach Verg.			
2,3 Nm ³ x 4.830 KJ	11.110 KJ / 2.645 kcal / 3,08 KWh		75,5 %
Nutzbare Wärme aus der Gaskühlung	820 KJ / 195 kcal / 0,22 KWh		5,5 %

Nutzbar gesamt	11.930 KJ / 2.840 kcal / 3,30 KWh		81,0 %
Energiebilanz mit Gas-Saugmotoren :			
Chem. Gasenergie	11.110 KJ / 2.645 kcal / 3,08 KWh		100,0 %
Mech. Motorleistung	3.330 KJ / 794 kcal / 0,92 KWh		30,0 %
Kühlwasserwärme	3.330 KJ / 794 kcal / 0,92 KWh		30,0 %
Nutzbare Auspuffwärme	3.330 KJ / 794 kcal / 0,92 KWh		30,0 %
Auspuffw. BHKW-Einsatz	2.220 KJ / 530 kcal / 0,61 KWh		20,0 %
Abstrahlungsverluste	1.120 KJ / 263 kcal / 0,32 KWh		10,0 %

Elektrogenerator 92 % : (Typ mit 150 kVA)

Mech. Motorleistung	3.330 KJ / 794 kcal / 0,92 KWh		100,0 %
E-Generator cos phi 0,8	3.064 KJ / 731 kcal / 0,85 KWh		92,0 %

Information über IMBERT-Kraftanlagen - 7 -

Holzeinsatz für eine kWh (bei Volllast)

mit Saugmotor = $1,0 / 0,85 = 1,18 \text{ kg Holz mit } 20 \text{ Gew.-% H}_2\text{O}$
 =====

Da die Wirkungsgrade der einzelnen Anlagenkomponenten, je nach Größe und Belastungszustand schwanken, kann in der Praxis mit einem Durchschnittsverbrauch von 1,25 kg lufttrockenem Holz für eine kWh gerechnet werden.

Die mögliche gesamte Energienutzung mit Gassaugmotoren bezogen auf die chem. Energie im Holzgas mit Wärmekraftkoppelung ohne Energieverbrauch ergibt sich wie folgt:

Chem. Energie Holzgas	11.110 KJ / 2.645 kcal / 3,08 kWh	100,00 %
Elt. Energie	3.064 KJ / 731 kcal / 0,85 kWh	27,60 %
Kühlwasser 3.330/794		
Red. Auspuffw. 2.220/530	5.550 KJ / 1.325 kcal / 1,54 kWh	50,00 %

Gesamtleistung	8.614 KJ / 2.056 kcal / 2,39 kWh	77,60 %
Zusätzlich kann die fühlbare Wärme aus der Gas-		
kühlung genutzt werden	820 KJ / 195 kcal / 0,22 kWh	7,40 %

	9.427 KJ / 2.251 kcal / 2,61 kWh	85,00 %

Die mögliche gesamte Energienutzung mit Gassaugmotoren bezogen auf den Heizwert des eingesetzten Holzes mit 20 Gew.-% H₂O errechnet sich demnach auf $9.427 : 14.700 = \text{ca. } 64 \%$ der eingesetzten Energie.

Kann die Wärme aus den Auspuffgasen voll genutzt werden so erhöht sich der Gesamtwirkungsgrad auf 72 %.

Unterhaltungsaufwand, Ersatz- und Verschleißteile :

Unter Berücksichtigung der bisherigen Erkenntnisse kann mit folgenden Aufwendungen bezogen auf die Herstellkosten gerechnet werden:

Ein-Schicht-Betrieb 2 bis 2,5 %, Zwei-Schicht-Betrieb 2,5 bis 3 %, Drei-Schicht-Betrieb 3 bis 3,5 %.

IMBERT-Kraftanlagen sind nicht dauernd Überwachungspflichtig, jedoch ist wie bei allen Maschinen je nach Ausstattung und Automatisierungsausrüstung mit Personalaufwand zu rechnen. An die Qualifikation des Bedienungs- oder Überwachungspersonal sind keine weitreichenderen Anforderungen zu stellen als diese für konventionelle Verbrennungskraftmaschinenanlagen gelten.

Umweltfreundlichkeit der IMBERT - Anlagen:

Die Emissionen der Anlagen sind sehr gering.

Zum Start der Anlage kann mit einer Zeit von 20 Minuten gerechnet werden. Während der ersten 5 Minuten der Startphase werden vom Anfachgebläse Schwelgase ins Freie geblasen. Nach 5 Minuten können diese Schwelgase normalerweise mit einem Zündfunken gezündet werden und verbrennen dann ohne Umweltbelastung.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die typische Gaszusammensetzung bei der Vergasung europäischer Holzarten. Die Analyse wurde von dem Ruhrgas - Laboratorium erstellt.

Lufteinsatz Nm ³ /h		300	400	450
Gaserzeugung Nm ³ /h		450	625	720
Gasanalyse				
Volumen - %:	CO ₂	4,49	10,01	12,80
	O ₂	0,43	0,96	0,01
	N ₂	52,47	50,49	49,29
	CO	28,77	20,53	18,74
	H ₂	11,91	16,45	18,52
	CH ₄	1,76	1,47	1,50
andere Substanzen				
in vppm	C ₂ H ₆	155	135	203
	C ₂ H ₄	324	588	976
	C ₂ H ₂	1	1	1
	C ₃ H ₈	9	3	8
	C ₃ H ₆	40	33	57
	C ₄ H ₁₀	1	1	1
	C ₄ H ₈	4	2	4
	C ₄ H ₆	6	7	13
	C ₅ H ₁₂	1	1	1
	C ₆ H ₁₄	1	1	1
	C ₇ H ₁₆	1	1	1
	C ₈ H ₁₈	1	1	1
	C ₉ H ₂₀	0	0	0
	Xylole	2	1	3
	C ₁₀ H ₂₂	0	0	0
	C ₁₁ H ₂₄ u.höher	0	0	0
	Benzol	118	119	158
	Toluol	9	6	21
<hr/>				
Gesamt in vppm		668	894	1.443
in Volumen - %		0,007	0,009	0,014

Die Lärmbelastung ist von den einzelnen installierten Aggregaten abhängig. Anlagen mit Lüfterkühler haben eine höhere Lärmemission als Anlagen mit Wasserkühler. Falls erforderlich, ist durch zusätzliche Maßnahmen eine Lärmreduzierung möglich.