

Marktübersicht dezentrale Holzvergasung:

Marktanalyse 2000 für
Holzvergaser-Systeme bis 5 MW

Freiburg/Darmstadt/Berlin,
April 2001

Nils Steinbrecher, Öko-Institut e.V.
Joachim Walter, Öko-Institut e.V.

Öko-Institut e.V.
Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 6226
D-79038 Freiburg
Tel.: 0761-4 52 95-0

Büro Darmstadt
Elisabethenstr. 55-57
D-64283 Darmstadt
Tel.: 06151-8191-0

Büro Berlin
Novalisstr. 10
D-10115 Berlin
Tel.: 030-280-486-80



Marktübersicht dezentrale Holzvergasung:

Marktanalyse 2000 für Holzvergaserysteme bis 5 MW

Autoren:

Nils Steinbrecher, Joachim Walter

erstellt für das

Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.)

Büro Darmstadt

Elisabethenstr. 55-57

D-64283 Darmstadt

Tel. 06151-8191-0

FAX 06151-8191-33

Geschäftsstelle Freiburg

Binzengrün 34 a

D-79114 Freiburg

Tel. 0761-45295-0

FAX 0761-475437

Büro Berlin

Novalisstr. 10

D-10115 Berlin

Tel. 030-280-486-80

FAX 030-280-486-88

<http://www.oeko.de/>

Darmstadt, April 2001

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen	iii
Zusammenfassende Übersicht zum Stand der Technik	v
1 Einleitung	1
1.1 Ziel der Arbeit	1
1.2 Vorgehensweise.....	1
2 Technik der Vergasung.....	2
2.1 Grundlagen der Vergasung von Biomasse	2
2.2 Gasnutzung und Holzgas-BHKW	27
3 Technischer Stand und Marktreife von Vergasern	38
3.1 Ergebnisse der Marktanalyse.....	40
3.2 Technische Zuverlässigkeit, Sicherheit und Marktreife	71
4 Grenzen der Aussagen und Ausblick	73
5 Literatur	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gesamtübersicht zum technischen Stand von Vergasern	vi
Tabelle 2:	Typische Rohgaszusammensetzung heutiger Holzvergaser	3
Tabelle 3:	Klassifizierung von Generatorgas, Heizwerte von Verbindungen im Holzgas und anderer Gase	4
Tabelle 4:	Kenndaten (Leistungsbereich und elektrischer Wirkungsgrad) möglicher Verfahren zu Stromerzeugung aus Biomasse	29
Tabelle 5:	Emissionsgrenzwerte für Biomasse-Feststofffeuerungen	37
Tabelle 6:	Emissionsbilanz Holz/Öl bei der Holzvergasung des Wamsler Thermoprozessor	37
Tabelle 7:	Übersicht mit Adressen der angesprochenen Hersteller	38

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Heizwert von Biomasse in Abhängigkeit der Feuchtigkeit	5
Abbildung 2: Zonen der Vergasung am Beispiel eines Festbett-Gleichstromvergaser	6
Abbildung 3: Gleichgewichtskurven bei Kohlenstoffvergasung (Boudard-, Methan-, Wassergasreaktion)	9
Abbildung 4: Übersicht zu den verschiedenen Vergaserbauarten	12
Abbildung 5: Grundprinzipien von Vergasertypen	13
Abbildung 6: Grundsysteme für Wirbelschichtreaktoren	14
Abbildung 7: Prinzipaufbau eines klassischen Gegenstromvergaser	15
Abbildung 8: Prinzipaufbau eines klassischen Gleichstromvergaser	17
Abbildung 9: Prinzip eines Querstromvergaser	19
Abbildung 10: Prinzip des Zweizonenvergaser	20
Abbildung 11: Anforderungen an Motoren bezüglich Teer und Partikeln im Rohgas und bisherige Werte guter Gleichstromvergaser (Gl.S-Vergaser)	22
Abbildung 12: Energiefluss eines typischen Holzgas-BHKW mit Spitzenkessel	26
Abbildung 13: Übersicht über Verfahren zur Kraft- und Stromerzeugung aus Biomasse	27
Abbildung 14: Energieflussbild eines gas- oder ölbetriebenen BHKW mit Spitzenkessel	32
Abbildung 15: Mögliche Einsatzgebiete für Generatorgas-BHKW	33
Abbildung 16: Vergleich von elektrischen Wirkungsgraden verschiedener KWK-Anlagen	34
Abbildung 17: Holzgas-BHKW mit Gasreinigung sowie Emissionen und festen Nebenprodukten	35
Abbildung 18: Prinzipieller Aufbau des Easymodvergaser	44
Abbildung 19: Grundschema des Ensoforvergaser	47
Abbildung 20: Prinzipskizze des Holzvergaser System Grübl	49

Inhalt	iv	Holzvergaser 2000
Abbildung 21: Innerer Aufbau des HTV-Juch Vergasers		51
Abbildung 22: Prinzipieller Aufbau des Wamsler Thermoprozessors		53
Abbildung 23: Grundschemata des Imbertvergaser		54
Abbildung 24: Aufbau der Anlage von Kuntscher & Schlüter		57
Abbildung 25: Prinzipschema des Martezovergasers		58
Abbildung 26: Geplanter Anlagenaufbau des MHB-Vergasers		60
Abbildung 27: Prinzipieller Aufbau des Wamsler Thermoprozessors		62
Abbildung 28: Anlagenschema des Zweistufenvergaser der TU Dänemark		63
Abbildung 29: Prinzipschaltbild der UET Anlage		64
Abbildung 30: Energieflussbild der UET Anlage		65
Abbildung 31: Verfahrensschema des UMSICHT-Vergasers		67
Abbildung 32: Aufbau der Vølundanlage		70

Zusammenfassende Übersicht zum Stand der Technik

Bis Mitte 2000 existiert in Deutschland **eine** kommerziell betriebene Anlage mit Holzgas-BHKW, die Anlage in Eckernförde. Das Konzept ist vielversprechend und damit endlich eine Umsetzung im Leistungsspektrum unter 1.000 kW Vergaserleistung erzielt. Die Betriebserfahrungen vor allem aus der Rauchgasreinigung des Gases vor Eintritt in den Motor bleiben abzuwarten.

Abgesehen von diesem Beispiel zeigt die Marktanalyse 2000 eher leise Bewegung nach vorne.

Auch wenn durch neue politische Rahmenbedingungen die Nachfrage nach Regenerativen Energien insgesamt steigt, konnte dies der Holzvergaser-Technologie (noch) nicht zum Durchbruch verhelfen. Als „leise Bewegung nach vorne“ interpretieren wir folgende Ergebnisse:

Nach wie vor sind viele Hersteller mit der Entwicklung ihrer Technologie beschäftigt und haben einige Betriebsstunden mehr erreicht. Die Aktivitäten haben gegenüber 1998 eher zugenommen und sind zielgerichteter geworden.

Seitens der Nachfrage entsteht ein zunehmender Druck: Die meisten Hersteller haben so viele Anfragen, dass immer wieder einzelne Anlagen konkret projektiert und auf die konkrete Umsetzung hin entwickelt werden. Mit den gestiegenen Heizölpreisen rücken Biomassensysteme näher an die Wirtschaftlichkeit. Die gesicherten Einspeiserlöse für Strom aus Holz durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) schaffen ebenfalls ein erhöhtes Interesse an Systemen, die diesen Strom produzieren.

Für einen breiten Durchbruch fehlen bei einigen Systemen nur noch die Praxiserfahrungen im Dauerbetrieb. Es bleibt bei der ersten Umsetzung ein Risiko in der Versorgungssicherheit, dass über gezielte Förderung abgefedert werden muss. Wo dies der Fall ist, werden Entwicklungsschritte erreicht (Beispiele: Umsicht-Vergaser, EVN in Eckernförde und auch die Entwicklung einer Holzgasreinigung der Uni Kaiserslautern).

Bis Ende 2000 war der Durchbruch noch nicht erreicht.

Die Tabelle auf den folgenden Seiten gibt eine Übersicht zum Stand der Technik von Holzvergasern unterschiedlicher Anbieter. Details zu den Vergasern sind dem Kapitel 1 zu entnehmen.

Die Tabelle erhebt, wie die ausführliche Beschreibung der einzelnen Vergaser, keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Die Verfasser sind für Hinweise auf Weiterentwicklungen und Kommentare dankbar.

Tabelle 1: *Gesamtübersicht zum technischen Stand von Vergasern*

Hersteller	Grundprinzip des Vergasers	Brennstoff	Betriebserfahrungen	Stand und Weiterentwicklungen
ARCUS	Gleichstrom aufsteigend	alle herkömmlichen Festbrennstoffe und Biomassen	Bisher nur Erfahrungen im eigenen Hause	Ende der Entwicklungsphase ist noch nicht abzusehen
Artefact				s. EVN
ATES	Gleichstrom aufsteigend	trockenes Stückholz und HHS	30 kW Anlage bisher 1500 h 500 kW Anlage in 2000 noch keine Betriebserfahrungen	In 2000 500 kW _{el} Anlage lieferbar
DASAG	Gleichstrom absteigend	jede Art von Holz mit Dichte über 250 kg/m ³ . In 2000 HHS, Stückholz	Erfahrungen in Indien 5 kW Anlage 10.000 h und 500 kW Anlage ca. 2000 h	Beide Anlagen lieferbar
EVN	"twin-zone" 2-Stufenvergaser	HHS, Späne, Knick	Seit April 2000 läuft kommerzielle Anlage in Eckernförde	Probetrieb bis September 2000, danach Dauerbetrieb
Ensofor SA	Gleichstrom aufsteigend	Biomasse	In 2000 2 Demonstrationsanlagen im Versuchsbetrieb	Wenn beide Anlagen laufen neue Bestellungen Ende 2000
Ferges	Gleichstrom Doppelfeuerverfahren	feste Biomasse	Seit 1982 mit verschiedenen Anlagen 2000-3000 h	Verfügbarkeit für neue Anlagen in 2000 ist materialabhängig mit einer Lieferzeit für 100 kW von ca. 3 Monaten
G.A.S.	kein Vergaser	keine Angaben	5-6 Anlagen seit 1997 mit bisher ca. 8000 h	Lieferzeit in 2000 ab 3 Monate
Grübl	Gleichstrom 5 – 50 kW _{el}	HHS	In Kleinserie verkauft, 4000 Bh	verkauft Anlagen
HTV	Gleichstrom absteigend	Holz, Biomasseabfall, HHS, Altholz	Seit 1995 Anlage in Betrieb	In 2000 keine neuen Informationen
Hugo Petersen	Gleichstrom absteigend	naturbelassenes Holz	Kommerzielle Anlage in 1998 insgesamt 26.000 h	In 2000 keine neuen Informationen
Imbert	Gleichstrom absteigend	nur stückiges Material, kein HHS	24 h Betrieb von Vergasern in Entwicklungsländern	In 2000 Anlage in neuen Bundesländern geplant. Lieferzeit 8 bis 12 Monate
Köpke	Gleichstrom	Holz, Altholz, Papier, Müll Klärschlamm, etc.	Vergaser 1990-93 betrieben	Planung 1 Anlage f. Hähnchenmist, Entwicklung marktfähig in 2001
Kopf	Doppelfeuervergaser	gut konfektionierter Holzbrennstoff	Technikumsanlage	

Tabelle 1: Fortsetzung Gesamtübersicht zum technischen Stand von Vergasern

Hersteller	Grundprinzip des Vergasers	Brennstoff	Betriebserfahrungen	Stand und Weiterentwicklungen
Kuntschar & Schlüter	Gleichstrom absteigend	Klärschlamm	Pilotanlage in Herzebrock-Clarholz mit ca. 1000 Bh	Ziel 1-2 MW _{el} Anlage mit BHKW 200-500 kW _{el} zur Entsorgung von Klärschlamm. Umstellung auf Holz möglich, Projekte in Planung.
Martezo	Gleichstrom	keine HHS, Holzstücke + pflanzliche Abfälle stückig 3 - 15 cm	mehrere 1000 Bh in 2 Anlagen in Frankreich; dänische Anlage in Testphase	Pilotanlage in Dänemark laut Hersteller erfolgreich. Vermarktung
MFU	Gleichstrom	Holzhackschnitzel	mehrere Stunden	Versuchsanlage
MHB	Gleichstrom Sägespänefilter	Stückholz 15-20% Feuchte	An Versuchsanlage über 1000 Bh	Projektierung möglich
Natur-Rohstoff-Pyrolyse	Wenderohr-Vibrations-Vergaser	Holzpellets, -mehl.	Vergaser mit 40 kW bisher 670 Bh	3 Anlagen verkauft, die gebaut werden.
Steinmüller	Gleichstrom absteigend	naturbelassenes. Holz 10-100 mm, Staubanteil: (Korngröße < 1 mm) 15-20 %	mehr als 6000 h mit 1 MW Versuchsanlage; ca. 26.000 h kommerzielle 1,5 MW Anlage zu Heizzwecken	projektieren 600-kW-Pilotanlage zur Stromerzeugung in Ostdeutschland
UET	Gleichstrom; Festbett mit Flugstrom-vergasung	Frisch- bis Altholz < 20 mm	1 MW _{el} Pilotanlage mit 3000 Bh;	Vorplanung für weitere Anlagen
UHDE	HTW Wirbelschicht-vergaser	Biomasse, Kohle	Betriebserfahrungen mit Kohle in großen Vergasern	Laut Hersteller verfügbar, 2 Jahre Vorplanung
UMSICHT	Autotherme zirkulierende Wirbelschicht	Holzhackschnitzel bis 3 cm	Vergaser-Motor-System mit 150 Bh	Übergang zu Demo-Status, Projekte in Vorbereitung
Uni KL	Ferges-Vergaser (Doppelfeuer)	Holzhackschnitzel	Pilotanlage im Bau	Ergebnisse bis Mai 2001 erwartet
Viesel	Gleichstrom absteigend mit Stirlingmotor	unbelastetes Holz, später auch Altholz	Betriebserfahrungen mit manuell beschickter 25 kW _{el} Anlage im Wasserschloß in Metzingen	mechanische Entwicklung

Quelle: Herstellerangaben nach eigener Erhebung

Leistung ohne Index (el, th) ist immer Vergaserausgangsleistung.

Felder ohne Eintrag = keine Informationen in ausgewerteten Quellen

1 Einleitung

1.1 Ziel der Arbeit

Das Öko-Institut verfolgt seit Jahren den "Markt" von Holzvergasungsanlagen, die ihren Beitrag zu regenerativen Energieerzeugung leisten können. Kraft-Wärme-Kopplung mit Holzgas (aus Holzresten, Holzschnitzeln, Altholz, etc.) als Brennstoff ist eine interessante Möglichkeit zur effizienten Nutzung von Biomasse. Eine Reihe von Anwendungsfeldern sind hierfür bekannt, die aussichtsreich umgesetzt werden könnten. Woran diese auf den ersten Anblick sehr effiziente und saubere Technologie scheitert, ist die fehlende Marktreife der **Systems** „Holzgas-BHKW“, also der Integration von Vergasertechnik mit BHKW-Technologien.

Einige Hersteller am Markt entwickeln jedoch interessante und vielversprechende Konzepte.

Förderungen in die Entwicklung von Komponenten und Anlagen fließen nicht in ausreichendem Umfang, um diese Nischentechnologie zur Marktreife zu bringen. Einige Fördermittel und unermüdliche Ingenieure genügen punktuell jedoch, um einen Fortgang der Entwicklungen und sogar konkrete technische Umsetzungen von Anlagen sowie von Demonstrationsprojekten zu verwirklichen.

Diese Arbeit knüpft an bisherige Studien des Öko-Instituts zu diesem Thema sowie andere vergleichbare Studien an, um eine aktuelle Übersicht über den Markt von Holzvergäsern und Holzgas-BHKW geben.

1.2 Vorgehensweise

Diese Arbeit basiert auf einer Studienarbeit von Nils Steinbrecher aus 1996 und einer Marktstudie von Joachim Walter vom März 1999 (als Aktualisierung der Studienarbeit), die vom Öko-Institut initiiert und begleitet wurden. Die Marktreife sowie Systemdaten wurden erneut in Telefoninterviews der Bearbeiter und von Mitarbeitern des Öko-Instituts im Mai 2000.

Der vorliegende Bericht enthält wesentliche Teile der Dokumentation dieser Arbeiten.

Die wesentlichen Eigenschaften der von den Herstellern angebotenen Vergaser bzw. Holzgas-BHKW, wie *Konstruktionsprinzip, Brennstoffe und Nebenprodukte, Messergebnisse, Betriebserfahrungen und momentaner Stand* wurden in diesem Bericht aktualisiert und wenn nötig ergänzt. Somit wurden neue Hersteller und Projekte aufgenommen, um einen möglichst vollständigen Überblick über den derzeitigen Markt im Jahr 2000 zu geben. Mit jedem Unterkapitel über einen Hersteller liegen umfassende Daten vor, die interessierten Planern Entscheidungshilfen geben, inwieweit sich ein Anruf bei den Herstellern zur Realisierung „ihrer“ Projektes lohnt.

Kapitel 2 stellt die technischen Grundlagen der Vergasung dar und erläutert unterschiedliche Vergasertypen. Hiermit erhalten auch Nichtexperten einen Einblick in die Vergasertechnik und können technische Begriffe des Herstellerkapitels hier nachschlagen.

In Kapitel 3 wird auf Basis von Herstellerunterlagen sowie durchgeführten Telefoninterviews mit den Unternehmen der technische Stand von Vergasern und deren Marktreife für verschiedene Hersteller dargestellt.

2 Technik der Vergasung

2.1 Grundlagen der Vergasung von Biomasse

Die Anfänge der Vergasungstechnik liegen im 17. Jahrhundert. Es wurden erste Versuche mit der Vergasung von organischem Material (zuerst nur Kohle) vorgenommen und im 18. Jahrhundert von *Robert Gardener* und *John Berber* die ersten Patente angemeldet. Der erste kommerzielle Vergaser wurde im Jahr 1839 von *Bischof* in Frankreich hergestellt. Er diente der Erzeugung von Heizgas aus Torf und Kohle, welches zur Eisenherstellung genutzt wurde. Während bis Anfang 1890 einige Verbesserungen an Vergasern vorgenommen wurden, kam es Ende des 19. Jahrhunderts durch die sichere Versorgung mit mineralischen Kraftstoffen zu einem Stillstand der Vergaserentwicklung.

Über die Weiterentwicklung der Vergasertechnik durch die Energieknappheit des ersten Weltkrieges kam es gegen Ende des zweiten Weltkrieges zum Höhepunkt der Verbreitung von Vergasern und insbesondere von Holzvergasern. Im Jahr 1945 produzierte alleine die Firma Imbert¹ 500.000 Vergaseranlagen. Es wurden in der Nachkriegszeit hauptsächlich Fahrzeugmotoren mit Holzgas betrieben.

Später wurden solche Vergaser nur noch für Entwicklungsländer (niedrige Kosten für Biomasse und Arbeitskräfte, wenig Umweltauflagen) produziert. Erst mit der Ölkrise in den siebziger Jahren und dem zunehmenden Interesse an regenerativen Energieträgern wurden Vergaser und besonders Holzvergaser wieder interessant. Anschließend widmete sich die Forschung von Neuem dieser Technik.

2.1.1 Vergasungsprodukte

Das Ziel der Vergasung ist die Erzeugung von Generatorgas (auch als Rohgas oder Schwachgas bezeichnet²). Daneben entstehen feste und flüssige Rückstände. Feste Rückstände sind Asche und nicht umgesetzter Kohlenstoff in Form von Koks, Ruß und Karbonaten. Flüssige Rückstände sind Pyrolyseöl und Kondensat, das Teere und Phenole enthält.

Bei der Vergasung wird versucht, einen möglichst großen Teil der eingebrachten Energie des Brennstoffes auf das brennbare Generatorgas zu übertragen.

Daher sind alle nicht brennbaren Komponenten des Gases sowie die festen und flüssigen Rückstände prinzipiell unerwünscht³.

Typische Anteile der chemischen Hauptkomponenten im Rohgas (in Volumenprozent) für heutige Vergaser zeigt folgende Tabelle.

¹ Vgl. Technischer Stand und Marktreife von Vergasern, Firma Imbert.

² Die Bezeichnung Schwachgas folgt aus dem schwachen bzw. niedrigen Heizwert dieses Gases. Vgl. hierzu Ausführungen zum Heizwert und Tabelle 3.

³ Nichtbrennbare Teile des Gases müssen teilweise wegen der Wärmeerzeugung der sie erzeugenden Reaktionen hingenommen werden (vgl. Zonen der Vergasung oben) und es kann das Ziel sein neben dem Gas auch Holzkohle herzustellen.

Tabelle 2: *Typische Rohgaszusammensetzung heutiger Holzvergaser*

chemische Verbindung		Vergasungsmittel in Vol. %			
		Luft		Sauerstoff	
Wasserstoff	H ₂	5	- 25	30	- 45
Kohlenmonoxid	CO	10	- 25	30	- 40
Methan	CH ₄	1	- 5	0,5	- 3
Kohlendioxid	CO ₂	5	- 15	15	- 30
Stickstoff	N ₂	45	- 55	0,5	- 32

Quelle: Nussbaumer 1994b

Unter diesen Verbindungen leisten Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methan den wesentlichen Beitrag zum "Gesamtheizwert" (s.u.). Daneben entstehen in geringem Umfang ebenfalls brennbare höhere Kohlenwasserstoffe. Bei Verwendung von sauerstoffangereicherter Luft oder reinem Sauerstoff lassen sich deutlich höhere "Heizwerte" im Generatorgas erzielen, da diese Vergasungsmittel mit einem geringeren störenden Stickstoffanteil behaftet bzw. völlig frei davon sind. Eine Vergasung mit Sauerstoff ist nur mit einem sehr viel höheren apparativem Aufwand möglich und wird bisher erst ab Vergaserausgangsleistungen von 20 MW verwendet.

Weiter kommen als Vergasungsmittel auch Wasserdampf, Wasserstoff und ein Gemisch dieser Gase untereinander oder mit Sauerstoff und Luft in Betracht, werden aber in der Praxis der Holzvergaser nicht angewandt. Bei den heutigen Holzvergasern wird überwiegend mit Luft als Vergasungsmittel gearbeitet⁴.

Ein wichtiger Faktor für die weiteren Betrachtungen ist der schon erwähnte Heizwert H_u , welcher in MJ/kg für feste und in MJ/m³ für gasförmige Brennstoffe angegeben wird⁵.

Das tiefgestellte "u" des Formelzeichen H_u kommt von der alten Schreibweise "unterer Heizwert". In folgender Tabelle sind einige Heizwerte für Gase angegeben.

Aus Tabelle 3 wird die Einordnung von Holzgas als Schwachgas ersichtlich, dessen Heizwert nur 11 - 19 % des Heizwertes von Erdgas beträgt.

⁴ Vgl. Technischer Stand und Marktreife von Vergasern.

⁵ In der Literatur findet man auch MJ/Nm³ oder MJ/m³_n wobei das N bzw. n für Normkubikmeter steht.

Tabelle 3: **Klassifizierung von Generatorgas, Heizwerte von Verbindungen im Holzgas und anderer Gase**

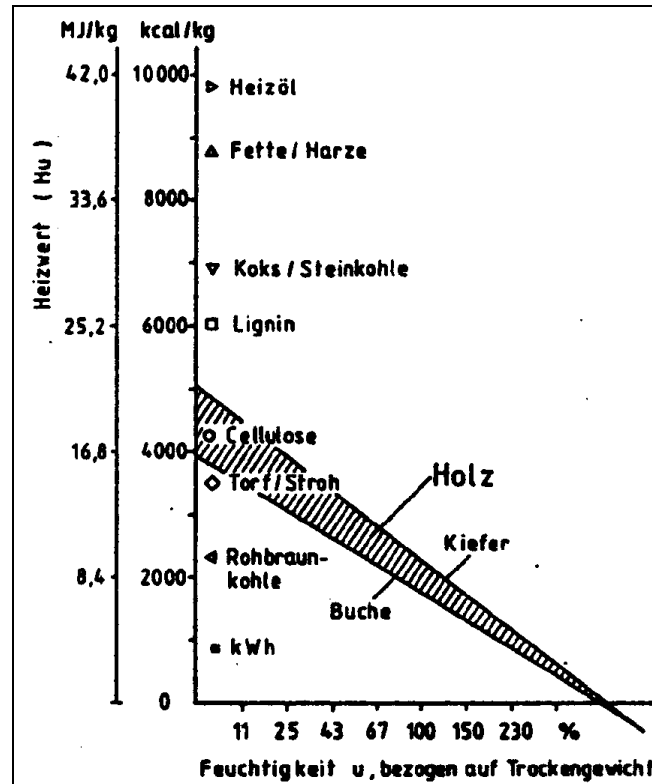
Gas	Heizwert H_u in MJ/m^3
Klassifizierung von Generatorgas	
Schwachgas	< 8
Mittelgas	8 - 14
Normalgas	14 - 20
Starkgas	> 20
Verbindungen im Holzgas⁶; vgl. Tabelle 2	
Wasserstoff	10,8
Kohlenmonoxid	12,6
Methan	35,9
Kohlendioxid	-
Stickstoff	-
Holzgas	4,5 - 5,7
Andere Gase im Vergleich	
Biogas	≈ 23
Deponiegas	≈ 25
Erdgas	30 - 40

Quelle: Bierter/Gaegauf 1982, Nussbaumer1994, Fritsche/GEMIS 2.1 1994)

Der Heizwert von Holz als Ausgangsstoff der Holzvergasung ist in entscheidendem Maße von der Feuchtigkeit abhängig, wie in folgender Abbildung deutlich wird.

⁶ Siehe Nussbaumer T.: Grundlagen der Holzvergasung; S. 2-20; Separatdruck aus HeizungKlima, Nr. 7; 1990

Abbildung 1: Heizwert von Biomasse in Abhängigkeit der Feuchtigkeit



Quelle: Kleemann/Meliß 1993

2.1.2 Prozessführung

Bei einer ersten Beschäftigung mit dem Thema Vergasung kommt meist die Frage auf, was denn überhaupt der Unterschied zwischen der Vergasung und einer Verbrennung bzw. Feuerung ist. Hierzu schreibt Nussbaumer:

"Wenn das erzeugte Gas direkt in einer Brennkammer zur Wärmeerzeugung eingesetzt wird, ist kein thermodynamischer Unterschied zwischen einer Holzfeuerung und einem Holzvergaser" (zit.n. Nussbaumer 1992).

Hieraus wird ersichtlich, dass die Vergasung ein Teilprozess der normalen Verbrennung ist und das Gas durch eine nicht vollständige Verbrennung entsteht. Das wesentliche Merkmal der Vergasung besteht in der räumlichen und zeitlichen Trennung von Erzeugung und Verwertung des Prozessprodukts Gas.

Unter der Vergasung eines Brennstoffs versteht man die thermische Umsetzung eines festen Kohlenstoffträgers mit einem sauerstoffhaltigen Vergasungsmittel in ein brennbares Gas. Die Vergasung erfolgt bei unterstöchiometrischer⁷ Sauerstoffzufuhr ($0 < \lambda < 1$)⁸.

⁷ Die stöchiometrische Menge Oxidationsmittel ist die Menge, die dem Brennstoff rechnerisch mindestens zu seiner vollständigen Oxidation zuzuführen ist.

⁸ Die Umsetzung des Brennstoffs mit $\lambda = 1$ wird als stöchiometrische Verbrennung bezeichnet.

Damit ist die Vergasung zwischen der Pyrolyse ($\lambda = 0$), die unten erläutert ist, und der Verbrennung ($\lambda > 1$, überstöchiometrisch) einzuordnen. Die *Luftüberschußzahl* Lambda (λ) wird zur Charakterisierung von Oxidationsvorgängen benutzt und definiert sich wie folgt:

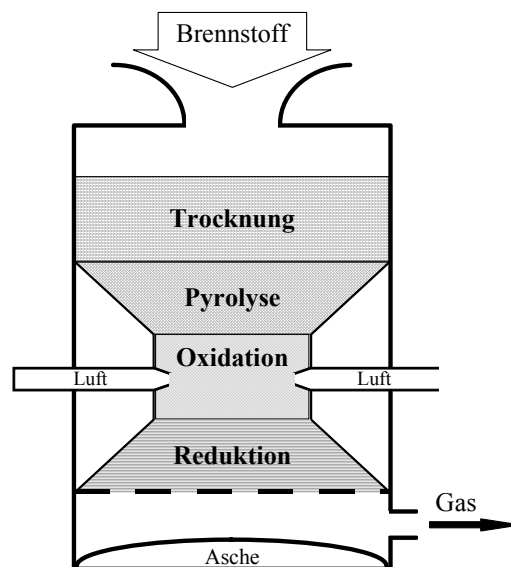
Luftüberschußzahl :

Bei Verwendung von Luft als Vergasungsmittel entspricht die Vergasung einer gesteuerten Verbrennung unter Luftmangel. Dadurch kann ein Teil der entstehenden Brenngase, die auch als "Spalt-" oder "Schwelligase" bezeichnet werden, nicht ausbrennen, sondern wird für eine anschließende Verwertung abgeleitet.

Die für die Reaktion notwendige hohe Temperatur entsteht durch Reaktion des Brennstoffs mit dem chemisch gebundenen Sauerstoff und der zugeführten Luft. Die Regelung der Verbrennungsluftzufuhr muss dabei besonders sensibel erfolgen, da ein Unterschreiten der Mindestluftmenge zum Erliegen des Prozesses führen kann, während eine zu hohe Luftmenge die Ausbeute an Gas reduziert. Neben der Teilverbrennung von Brennstoff zur Bereitstellung der Prozesswärme ist auch das äußere Beheizen des Brennstoffs denkbar.

Man unterscheidet im Vergaser entsprechend den Teilprozessen der Vergasung vier Zonen, die am Beispiel eines Gleichstromvergasers in folgender Abbildung zu erkennen sind.

Abbildung 2: *Zonen der Vergasung am Beispiel eines Festbett-Gleichstromvergasers*



Quelle: Steinbrecher (verschiedene Quellen)

Diese Zonen werden durch die sich einstellenden Temperaturniveaus bestimmt und sind im folgenden kurz beschrieben. Die Ausbildung der Zonen ist von verschiedenen Faktoren wie Eigenschaften der Biomasse, Beschaffenheit von Vergasungsmittel, Konstruktion des Reaktors und kontinuierliche Beschickung abhängig. Hier werden die Zonen am Beispiel von Holz beschrieben. Andere Biomassen verhalten sich in den einzelnen Zonen ähnlich.

Die genauen Abläufe beim Übergang zwischen den einzelnen Zonen, Entstehung und Zerfall einzelner Verbindungen, gegenseitige Beeinflussung der gebildeten Moleküle und ähnliches sind nicht vollständig erforscht. Allerdings besitzt man zahlreiche Erkenntnisse, wie es zur Bildung der unerwünschten Bestandteile im Generatorgas kommt.

- **Trocknung** $\vartheta \leq 200\text{ °C}$

Verdampfung des im Holz enthaltenen Wassers

Naturbelassenes Holz besitzt lufttrocken einen Feuchtegehalt von 10 - 30 % des Holzgewichtes (Altholz meist weniger). Bei der Erwärmung auf bis zu 200 °C verdampft das Wasser. Der entstehende Wasserdampf wird z.T. in einer der nachfolgenden Zonen umgewandelt (Wassergasreaktion) oder verlässt den Reaktor als Bestandteil der flüchtigen Komponente (Kondensat).

Die Struktur des Holzes wird durch makro- und mikroskopische Risse verändert. Chemische Veränderungen finden in dieser Zone nicht statt.

- **Pyrolyse** $\vartheta = 200\text{-}500\text{ °C}$

Zersetzung des Holzes

Produkte: Schwelgas (schwerflüchtige Teere, höhere Kohlenwasserstoffe, CO₂, Methanol, organische Säuren), Kohlenstoff in Form von Kohle und Kondensat

Die Pyrolyse ist ein komplizierter chemischer Prozess, der in vielen Schritten noch unbekannt ist.

Die makromolekularen Bestandteile des in der vorangegangenen Zone getrockneten Holz (Zellulose, Hemicellulose und Lignin) werden thermisch und unter Luftabschluss zerlegt. Der Ablauf der Pyrolyse ist in hohem Maße von der Pyrolysetemperatur, der Aufheizgeschwindigkeit (Temperaturanstieg in Abhängigkeit der Zeit) und der Größe der Brennstoffpartikel abhängig. Zum Anfahren des Prozesses der Pyrolyse muss zuerst Energie zugeführt werden. Man unterscheidet nach der Aufheizgeschwindigkeit die beiden Arten schnelle und langsame Pyrolyse.

Bei der langsamen Pyrolyse liegt die Aufheizgeschwindigkeit bei weniger als 1 K/s. Im Temperaturbereich von etwa 200 bis 300 °C beginnt die Zersetzung der Hemicellulose. Ab ca. 280 °C kommt es zur Bildung großer Mengen Teer.

Zwischen 325 und 375 °C wird die Zellulose aufgespalten. Es entstehen hierbei vor allem das Kohlendioxid und Methanol. Die Holzmasse geht in dieser Phase zu 80 - 85 % in flüchtige Bestandteile über.

Ab etwa 375 °C bricht das Lignin des Holzes in kürzere chemische Verbindungen auf. Es entstehen kondensierbare Makromoleküle in Form von schwerflüchtigen Teeren und Kohlenwasserstoffen. Oberhalb 700 °C existieren fast nur noch Kohlenstoff in Form von Holzkohle mit Anteilen an Asche als feste Bestandteile des umgewandelten Holzes.

Der Bereich der stärksten Teerbildung liegt bei der langsamen Pyrolyse bei Temperaturen von 350 bis 400 °C. In diesen Temperaturbereich ist die Umsetzungsgeschwindigkeit von langkettigen Kohlenwasserstoffen (Teer) mit Kohlenstoff und Wasserdampf zu kürzeren Verbindungen (gewünschte Verbindungen) gegenüber der Geschwindigkeit der Teerbildung sehr gering. Die Folge davon ist, dass in der Pyrolysezone die Konzentration von Teer sehr hoch ist⁹. Dies hat wichtige Konsequenzen für verschiedene Vergaserbauarten (s.u.).

Die schnelle Pyrolyse findet z.B. bei dem unten beschriebenen "Vergasungsverfahren in der Wirbelschicht" statt. Hier kommt es aufgrund der innigen Vermischung des Brennstoffes mit dem Gas und den Reaktionsprodukten sowie der kleinen Partikelgrößen zu einer schnellen Erwärmung. Die Aufheizgeschwindigkeit, liegt im Bereich von 5 - 100 K/s.

Die schnellverlaufende Pyrolyse ist endotherm, d.h. sie kann nur unter Zufuhr von Wärme aufrecht erhalten werden. Die Aufspaltung der verschiedenen Holzbestandteile findet bei der schnellen Pyrolyse ebenso wie bei der langsamen statt, nur schneller.

Bevor das Material in die nächste Zone gelangt sind alle flüchtigen Bestandteile aus dem Brennstoff ausgetreten und es liegt als Feststoff fast nur noch Kohlenstoff in Form von Holzkohle vor.

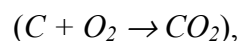
Bei den am häufigsten verwendeten Typen von Vergasern im betrachteten Leistungsbereich dieser Arbeit (Gleich- und Gegenstromvergaser; s.u.) findet die langsame Pyrolyse statt.

• **Oxidation** $\vartheta = 500 - 2000\text{ °C}$ (meist $< 700\text{ °C}$)

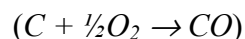
Oxidation des Kohlenstoffs und Wasserstoffs zur Deckung des Wärmebedarfs der endothermen Reduktionsreaktion und der Aufspaltung der in der Pyrolysezone gebildeten Kohlenwasserstoffe

Im Bereich des Eintritts des Oxidations- bzw. Vergasungsmittels kommt es zur Ausbildung einer Oxidationszone. Hier wird ein Teil der in der Pyrolysezone gebildeten Kohle oxidiert, um den nötigen Energiebedarf für die endothermen Teilprozesse der Vergasung (Trocknung und Erhitzung des Brennstoffes, Zersetzung des Holzes in der Pyrolysezone, "Cracken" bzw. Aufspaltung der Kohlenwasserstoffe aus der Pyrolysezone, Reduktion der Oxidationsprodukte) und die Wärmeverluste des Reaktors zu decken. Die Wärme wird durch drei wichtige exotherme Reaktionen mit dem Vergasungsmittel Luft bzw. Sauerstoff erzeugt. Diese sind die folgenden Reaktionen:

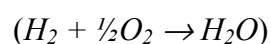
Kohlenstoff und Sauerstoff zu Kohlendioxid



Kohlenstoff und Sauerstoff zu Kohlenmonoxid (durch örtlichen Sauerstoffmangel)



von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasserdampf



⁹ Teer ist ein sehr unerwünschtes Nebenprodukt der Vergasung; Weitere Ausführungen zu Teer siehe weiter unten.

In der zweiten Reaktion ($C + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO$) wird das für den Heizwert des Gases sehr erwünschte CO erzeugt. Aus den beiden anderen Reaktionen erhält man als Nutzen für den Prozess überwiegend Wärme, welche aber für die Deckung des gesamten Energiebedarf der anderen Prozessstufen benötigt wird. Nach Durchlauf der Oxidationszone ist ein Teil des Kohlenstoffs (12-17 %) vollständig oxidiert. Der überwiegende Teil liegt jedoch weiterhin als Holzkohle vor und wird erst in der Reduktionszone umgesetzt.

• **Reduktion** $\vartheta \approx 500\text{ }^{\circ}\text{C}$

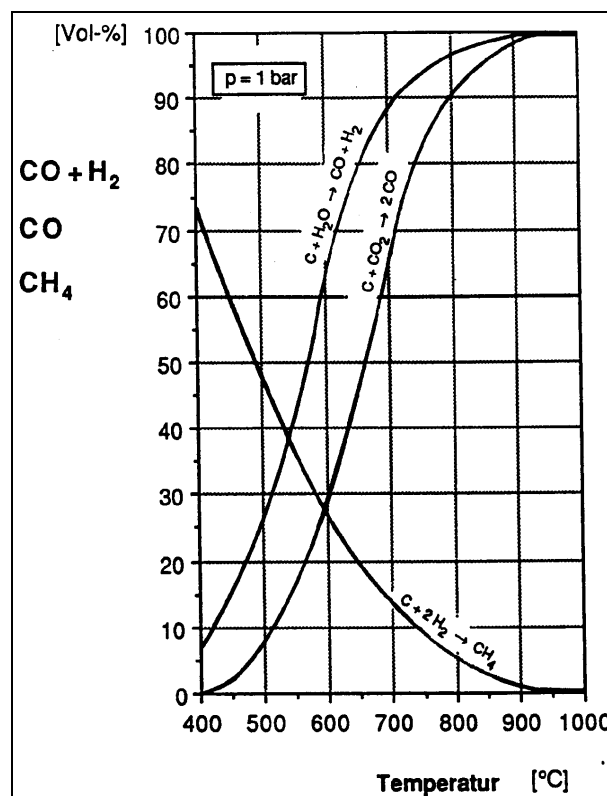
Reduktion der Oxidationsprodukte CO_2 und H_2O an der glühenden Holzkohle und Entstehung des eigentlichen Holzgases

In der Reduktionszone reagieren die Oxidationsprodukte wie Kohlendioxid und Wasser am glühenden Kohlenstoffbett (Holzkohle) zum eigentlichen Holzgas, indem sie unter Wärmezufuhr reduziert werden. Die entscheidenden chemischen Reaktionen sind hierbei jene, bei denen Kohlenmonoxid, Wasserstoff und Methan entstehen, da sie zum Heizwert des Holzgases beitragen. Die für den Erhalt eines hohen Heizwertes wichtigsten Reaktionen sind folgende:

- Boudard-Reaktion $(C + CO_2 \leftrightarrow 2CO)$,
- Wassergasreaktion $(C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2)$
- Methanreaktion $(C + 2H_2 \leftrightarrow CH_4)$

Die Gleichgewichtskurven dieser Reaktionen in Abhängigkeit von der Temperatur zeigt folgendes Bild.

Abbildung 3: Gleichgewichtskurven bei Kohlenstoffvergasung (Boudard-, Methan-, Wassergasreaktion)



Quelle: Nussbaumer 1990

Wie in der Abbildung zu erkennen ist, laufen die Boudard- und Wassergasreaktion gegenläufig zur Methanreaktion bei Erhöhung der Temperatur ab. Bei Temperaturen bis 1000 °C erreicht man damit eine hohe Ausbeute an Wasserstoff (H₂) und Kohlenmonoxid (CO). Dies ist absolut erwünscht um einen hohen Heizwert des Holzgases zu erreichen.

Im Gegensatz erreicht man einen höheren Heizwert bei hoher Ausbeute an Methan (CH₄) und damit niedrigeren Temperaturen (vgl. Methanreaktion in Abbildung 3). Weiter ist das Methan im Gas auch wegen seiner Klopffestigkeit für einen späteren Motoreinsatz sehr erwünscht.

Neben diesen Problemen der Wahl der richtigen Temperatur im Vergaser, kommt noch das erwünschte "Cracken" (Aufspaltung) der langkettigen Kohlenwasserstoffe (Teer), welches erst bei sehr hohen Temperaturen (über 1000 °C) eintritt, als Problem bei der Temperaturwahl hinzu.

Auf die anderen erwünschten und nicht erwünschten chemischen Reaktionen, die während der Vergasung ablaufen wird nicht näher eingegangen. Dazu wird auf die Literatur verwiesen (z.B. Nussbaumer 1990).

2.1.3 Einfluss wesentlicher Parameter

Um dieses Ziel und einen möglichst hohem Heizwert des Generatorgases zu erreichen, sind alle Parameter, von denen Art und Zusammensetzung der Vergasungsprodukte abhängt, zu berücksichtigen. Diese Parameter kann man in brennstoff-, Prozess- und verfahrensspezifische Parameter unterteilen.

Eigenschaften des Brennstoffs und Auswirkungen auf Vergasungsprodukte

- Art und Zusammensetzung

Hier ergeben sich Unterschiede bei der Wahl verschiedener Brennstoffe. Bei Holz gibt es Unterschiede durch die Zusammensetzung aus verschiedenen Baumarten, welche sich auf den Heizwert auswirken (z.B. ist der H_u von Buchenholz höher als der von Birkenholz)

- Feuchtigkeit bzw. Wassergehalt

Vergleiche Abbildung 1.

- spezifische Oberfläche

Die reaktionsfähige Oberfläche im Brennstoffbett wird durch Korngröße, Korngrößenverteilung und geometrische Form des Brennstoffs bestimmt. So ergeben sich je nach spezifischer Oberfläche verschiedene Verweilzeiten im Reaktor und es kann z.B. zu ungewollter Brückenbildung im Reaktor je nach Vergaserbauart kommen. Vergleiche auch mit Vergaserbauarten und Brennstoffbedarf unten.

- Ascheschmelzpunkt und -gehalt

Hier können sich konstruktive Probleme bezüglich dem Ascheaustrag ergeben. Dies ist aber für Holz und die meisten anderen Biobrennstoffe (z.B. Stroh, Reishülsen, etc.) kein Problem. Der Ascheschmelzpunkt ist für Altholz interessant um die enthaltenen Schadstoffe in der Schlacke zu binden.

Eigenschaften des Vergasungsverfahrens auf Vergasungsprodukte

- vergleiche Abschnitt 2.1. weiter unten

Eigenschaften des Vergasungsprozesses auf Vergasungsprodukte

- Vergasungsmittel

Zum Einfluss des Vergasungsmittels vergleiche Tabelle 2 und nachfolgenden Text.

- Luftverhältnis

Das Luftverhältnis (vorausgesetzt Luft ist Vergasungsmittel) wirkt sich auf den Anteil der Gase aus, die brennbar sind, wodurch sich der Heizwert des Holzgases verändert (optimal wäre ein Luftverhältnis von $\lambda \approx 0$).

Für die Aufrechterhaltung der erforderlichen Vergasungstemperaturen ist jedoch ein gewisses Mindestluftverhältnis notwendig ($\lambda \approx 0,2 - 0,3$). So halten einige Hersteller von Vergasern es für sinnvoll, die notwendige Temperatur nicht nur durch mehr Sauerstoff, bzw. Luft im Vergasungsmittel, sondern durch Vorwärmen des Vergasers mit der Wärme des Generatorgases zu erreichen.

- Wasserdampfgehalt

Für den Wasserdampfgehalt ist für jeden Vergaser ein optimales Verhältnis zu finden, da zum einen das Wasser zur Wassergasreaktion (s.o.) und damit der Erhöhung des Heizwertes Wasser benötigt wird, aber zum anderen ein zu hoher Wassergehalt mehr Energie zur Vergasung verbraucht und zu einem hohen Teergehalt im Gas führen kann.

- Temperatur

Zum Einfluss der Temperatur vergleiche Abbildung 3 und Erläuterungen dazu.

- Druck

Chemische Umsetzungen mit Volumenänderungen sind druckabhängig. So wird der Methangehalt im Produktgas mit steigendem Druck innerhalb des Vergasers größer, während Wasserstoff- und Kohlenmonoxidgehalt kleiner werden.

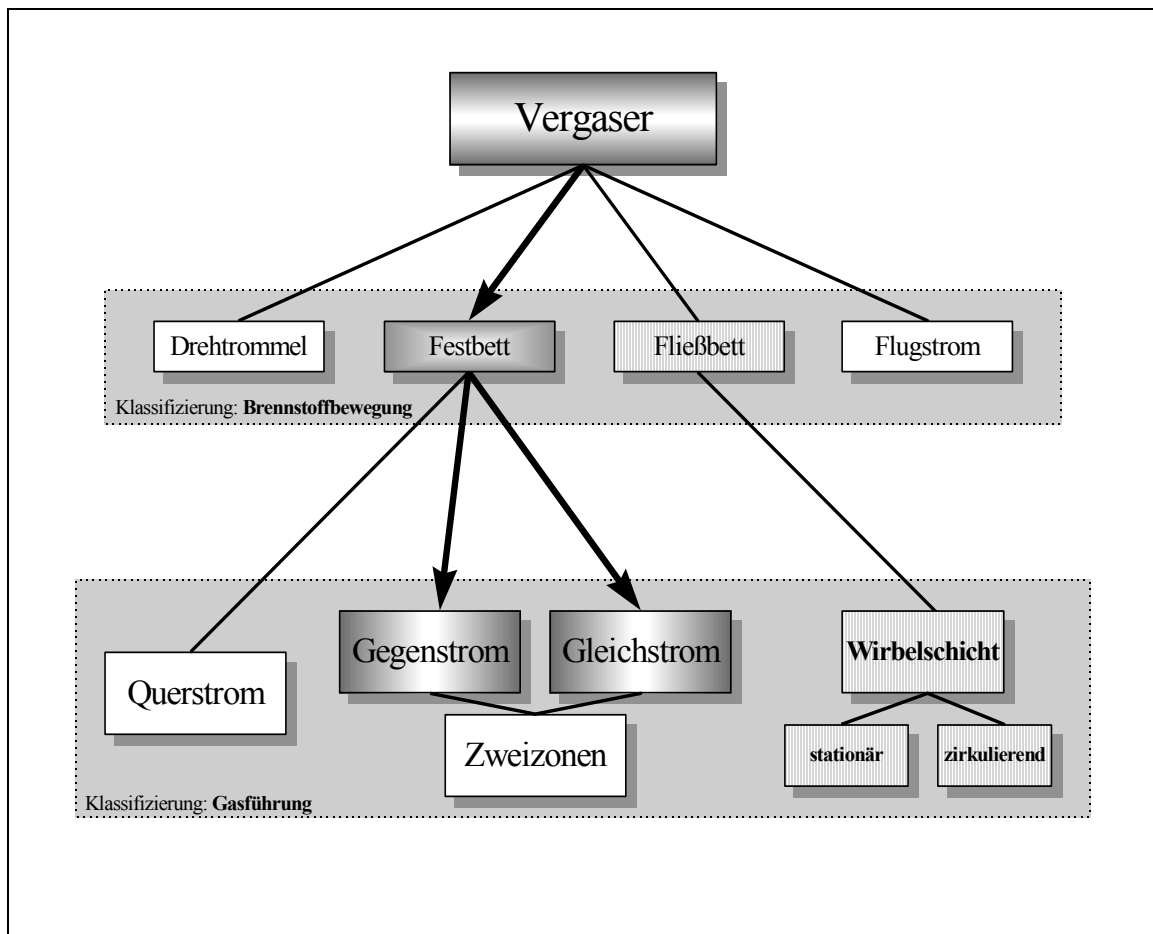
2.1.4 Vergaserbauarten

Vergaser können grundsätzlich durch die Bewegung des Brennstoffgutes klassifiziert werden. Somit erhält man nach Abbildung 4 vier Klassen von Vergasern. Da für den Flugstromvergaser in der Literatur keine praktischen Anwendungen oder Versuche für die Vergasung von Biomasse erwähnt sind, wird er nicht weiter behandelt. An einem Drehtrommel bzw. Drehrohrvergaser sind nur Versuche einer universitären Einrichtung bekannt, so dass er hier nur kurz vom Prinzip her vorgestellt wird. Für Festbett- und Fließbettvergaser sind jedoch eine Reihe praktischer Anwendungen bekannt.

Eine weitere Klassifizierung von Vergasern wird anhand der Gasführung im Reaktor vorgenommen. Für das Wirbelschichtprinzip existieren einige Anwendungen, doch liegen sie zur Zeit oberhalb des Leistungsbereiches, der für diese Arbeit interessant ist, und somit werden diese Vergaser nicht ausführlich behandelt.

Auch nur am Rande erwähnt werden der Querstromvergaser und der Zweizonen- früher Doppelfeuervergaser (Vereinigung des Gleich- und Gegenstromprinzips), von denen jeweils ein Hersteller bekannt ist.

Abbildung 4: *Übersicht zu den verschiedenen Vergaserbauarten*

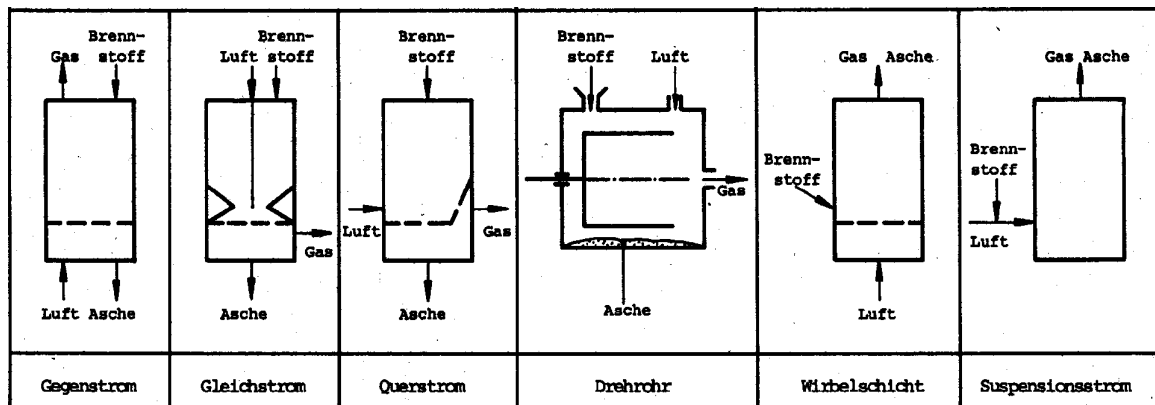


Quelle: Steinbrecher, (eigene Darstellung)

Zum Prinzip des Drehtrommel-, bzw. Drehrohrvergaser und Flugstrom- (auch Suspensionsstromvergaser) siehe Abbildung 5.

Im weiteren werden schwerpunktmäßig Holzvergaser betrachtet, die für die Vergasung von Holz geeignet sind.

Abbildung 5: Grundprinzipien von Vergasertypen



Quelle: Bierter/Gaegauf 1982

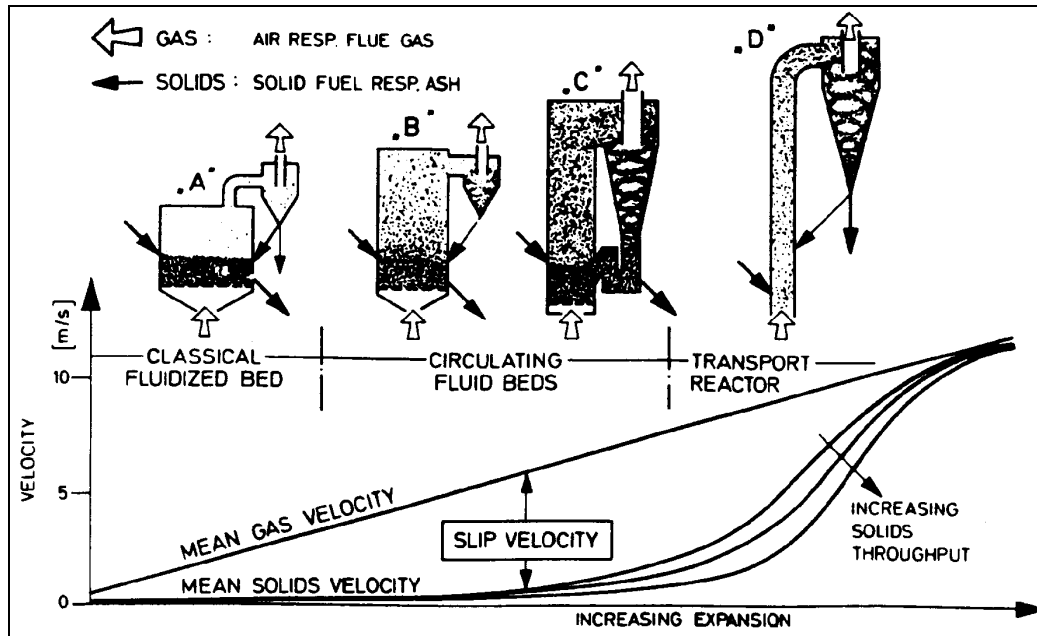
Wirbelschichtvergaser

Die Fließbettvergaser unterteilt man in Vergaser der stationären und der zirkulierenden Wirbelschicht. Der in obiger Abbildung dargestellte Prinzipaufbau eines Wirbelschichtvergasers ist ein Vergaser der stationären Wirbelschicht.

Bei der Vergasung in der Wirbelschicht werden die zu vergasenden feinkörnigen Holzteile von unten durch einen Anströmboden vom Oxidationsmittel durchströmt. Teilweise wird dem Luft-Gasstrom ein fluidisierendes Mittel (z.B. Sand) hinzugegeben. Nach Überschreiten der minimalen Fluidisierungsgeschwindigkeit des Gases und des Brennstoffes bildet sich zunächst eine Wirbelschicht mit definierter Oberfläche aus, die einer brodelnd aufkochenden Flüssigkeit gleicht. Dies wird als stationäre Wirbelschicht bezeichnet und ist in Abbildung 6 links außen ("A") dargestellt. Durch den intensiven Wärme- und Stoffaustausch kommt es so zwischen Brennstoffteilchen und Vergasungsmittel zu einer schnelleren und vollständigeren Brennstoffumsetzung als bei Festbettvergasern.

Mit zunehmender Gasgeschwindigkeit des Oxidationsmittels expandiert die Wirbelschicht, bis der Feststoff nahezu gleichmäßig über die Reaktorhöhe verteilt ist. Dabei wird eine zunehmend größere Menge an Feststoffen (Brennstoff, Asche, Staub) vom Gasstrom mitgerissen. Die mitgeführten Feststoffanteile werden in einem abgeschieden und in den Reaktor zurückgeführt, wodurch sich der Zustand der zirkulierenden Wirbelschicht einstellt (Abbildung 6, "B" und "C").

Eine weitere Steigerung der Gasgeschwindigkeit würde zur rechten Darstellung ("D"; Flugstrom) in Abbildung 6 führen.

Abbildung 6: *Grundsysteme für Wirbelschichtreaktoren*

Quelle: Nussbaumer 1994

Als Vorteil des Wirbelschichtverfahrens gegenüber anderen Verfahren kann man das problemlose "up-scaling" (Vergrößern) der Reaktoren, dem nach oben praktisch keine Grenzen gesetzt sind, aufführen. Für Großanlagen über 100 MW Vergaserausgangsleistung, die für den Betrieb von Gasturbinen z.B. in Gas- und Dampfturbinen - Kraftwerken erforderlich sind, können praktisch nur Wirbelschichtvergaser eingesetzt werden. Obergrenzen der Leistung bei Biomasse und insbesondere bei Holz durch die Transportlogistik und die Potentialgrenzen.

Dieses Verfahren ist außerdem besonders geeignet für Biomassen mit hohem Wasseranteil und Aschegehalt.

Nachteile sind der hohe Teergehalt im Vergleich zum Gleichstromverfahren (s.u.) und der allgemein höhere Partikelgehalt im Rohgas gegenüber Festbettvergasern. Es ist auch eine zusätzliche Zerkleinerung des Brennstoff nötig (2-20 mm Teilchengröße).

Durch die hohen Anlagenkosten sind Wirbelschichtvergaser für Biomasse zur Zeit erst ab 5 - 10 MW_{th} wirtschaftlich und damit realisierbar.

Die Wirbelschichtvergasung ist ein erprobtes Verfahren, das in kommerzielle Anlagen zur Vergasung von Kohlestaub eingesetzt wird. In Deutschland wird nach Kenntnisstand dieser Arbeit die Technik der Wirbelschichtvergasung für Biomasse von einer Firma verfolgt¹⁰. Umfangreichere Erfahrungen mit dieser Technik liegen in Schweden vor. Dort steht die erste biomassegefeuerte Demonstrationsanlage eines Vergasers der zirkulierenden Wirbelschicht. In dieser Anlage ist gleichfalls Stromerzeugung mit Holzgas in einer Gasturbine geplant¹¹.

Ausreichende Erfahrungen mit dem Einsatz von Schwachgas aus Wirbelschichtvergasern in Gasturbinen liegen bisher keine vor.

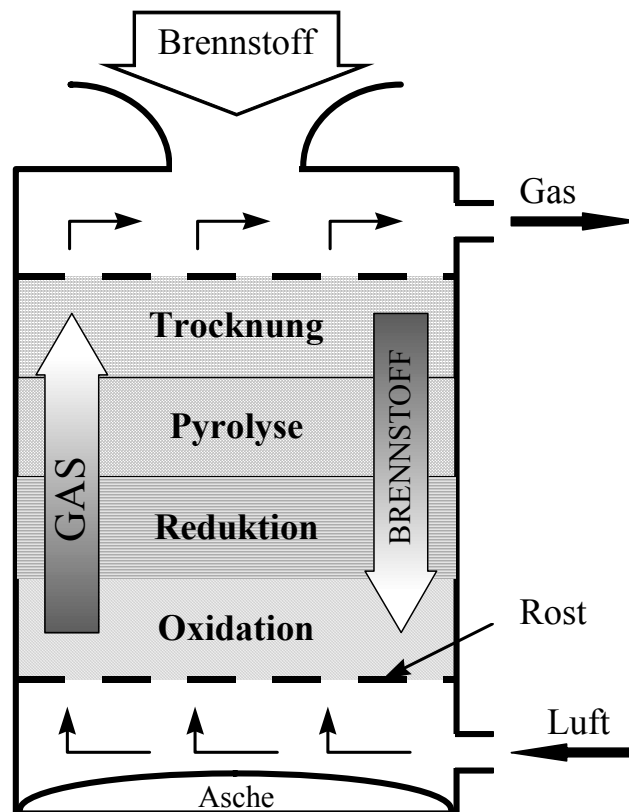
¹⁰ Vgl. Firma UHDE.

¹¹ Vgl. Firma Ahlstrom Pyroflow.

Gegenstromvergaser

Das Prinzip des Gegenstromvergasers ist in folgender Abbildung dargestellt. Es handelt sich um einen Gegenstromvergaser, da die Gase gegen die Füllrichtung des Substrats (Brennstoff) abgeführt werden. Wegen des aufsteigenden Gases, hervorgerufen durch das von unten durch den Rost zugeführte Oxidationsmittel Luft, bezeichnet man diesen Vergaser zusätzlich als aufsteigenden Gegenstromvergaser.

Abbildung 7: Prinzipaufbau eines klassischen Gegenstromvergasers



Quelle: Steinbrecher (verschiedene Quellen)

Dabei kann ein eventuell feuchtes Substrat durch das austretende heiße Gas vor Erreichen der Reaktionszone vorgetrocknet werden. Während jedoch das getrocknete Substrat auf die Oxidations- bzw. Glutzone zuwandert, bewirkt das Durchleiten der erzeugten heißen Brenngase bereits eine teilweise pyrolytische Zersetzung des Materials, bevor dieses die Glutzone erreicht. So werden unzersetzte Pyrolyseprodukte vom Gas mitgerissen.

Dieser aufsteigende Prozess produziert somit ein Gas, das beträchtliche Anteile Teer und organische Substanzen enthält. Nach dem Austritt des Gases aus dem Vergaser kommt es zur Kondensation von Wasser sowie einer Vielzahl weiterer teils unerwünschter Verbindungen (Teer, Essigsäure, Methanol, u.a.).

Der Gegenstromvergaser weist nicht nur hinsichtlich des Wassergehalts, sondern auch in der Struktur und im Zerkleinerungsgrad des Brennstoffs einen relativ großen Toleranzbereich auf. Damit kommt dieses Prinzip auch für die Vergasung von halmgutartigen Energieträgern in Frage. Allerdings ist hier die Behandlung, Entsorgung und gegebenenfalls Verwertung der unerwünschten, zum Teil aggressiven und umweltschädlichen Kondensate (Teer, Essigsäure, Methanol) sowie der festen Nebenprodukte (Asche und Schlacke) bislang nicht befriedigend gelöst worden.

Gegenstromvergaser werden häufig mit einem Luft-Dampf-Gemisch als Vergasungsmedium betrieben, da die in der Trocknungszone verdampfenden Wasserpartikel mit dem Gas den Reaktor verlassen können und somit nicht für die wichtigen Reaktionen in der Oxidations- und Reduktionszone zur Verfügung stehen.

Vorteile

Bei diesem Vergasertyp ist die Gefahr von Fließproblemen¹² im Reaktor kleiner als im unten beschriebenen Gleichstromvergaser. Hohlraumbildung kann zwar nicht ausgeschlossen werden, die Auswirkungen bleiben aber zeitlich begrenzt. Brückenbildung¹³ beim Gleichstromvergaser kann zum Abbrechen der Vergasungsreaktion führen, was beim Gegenstromvergaser unwahrscheinlich ist.

Gleichmassige Oberflächengüte der Holzstücke spielt eine untergeordnete Rolle, da die durch ungleiche Oberflächenstruktur bewirkte Verschlechterung der Fließeigenschaften durch die beim Gegenstromvergaser typische Selbstentstopfung (Brücken werden durch den fortschreitenden Abbrand zerstört) kompensiert wird.

Der Prozess wird im Vergleich zum Gleichstromprozess durch die Brennstoffqualität kaum beeinträchtigt.

Als Vorteil der Gasführung ist zu bemerken, dass das heiße Gas am Brennstoff entlang strömt und einen Teil seiner Energie an diesen überträgt. Dadurch weist der Prozess eine gute Energiebilanz auf.

Das Konstruktionsprinzip des Gegenstromvergasers ist einfach, die Vergasung läuft sicher ab und stellt keine besonderen Anforderungen an Bedienung oder Brennstoffvorbereitung.

Ein "upscaling" dieses Vergasertyps ist im Gegensatz zu Gleichstromvergasern einfacher möglich.

Nachteile

Der entscheidende Nachteil ist die starke Verunreinigung des Rohgas mit Teer und Partikeln. Das Generatorgas kann keinesfalls ohne Reinigung in einem Verbrennungsmotor verbrannt werden. Eine ausreichende Reinigung hinterlässt jedoch ein stark verunreinigtes Kondensat und verursacht hohe Investitions- bzw. Wartungskosten.

¹² Unter Fließen ist hier das Fließen des Brennstoffes im Vergaser zu verstehen.

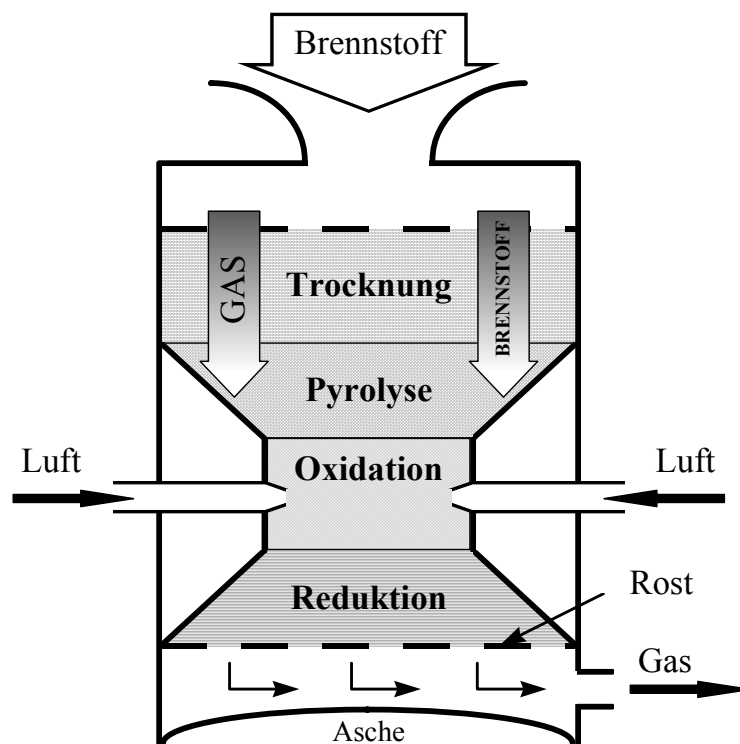
¹³ Brücken sind Ansammlungen von Brennstoff, der z.B. durch Anbacken des Brennstoffes an der Innenwand oder anderen Stellen des Reaktors entsteht. Sie verhindern das Fließen des Brennstoffes.

Gegenstromvergaser werden heute in Finnland für die Vergasung von Torf zu Heizzwecken eingesetzt, und laufen einen Monat ohne Unterbrechung, bis sie zwecks Teerentfernung abgestellt werden müssen. Der Ausströmquerschnitt dieser Vergaser an der Verbindungsleitung zum Heizkessel ist nach einem Monat fast vollständig mit Teer verschlossen.

Gleichstromvergaser

Der hier dargestellte Vergasertyp wird durch die Bewegung von Brennstoff und Gas im "Gleichstrom" charakterisiert. Der Gleichstromvergaser wird wegen der absteigenden Richtung des Gases als absteigender Gleichstromvergaser¹⁴ bezeichnet. Er ist für den in dieser Arbeit betrachteten Leistungsbereich offensichtlich die interessanteste Lösung. Ferner ist er nach der in Kapitel 1 vorgenommenen Herstellerumfrage der bisher am häufigsten verwendete und angebotene Vergasertyp. Das Grundprinzip dieses Vergasers ist in folgender Abbildung dargestellt.

Abbildung 8: *Prinzipaufbau eines klassischen Gleichstromvergasers*



Quelle: Steinbrecher (verschiedene Quellen)

Beim Gleichstromvergaser befindet sich das Glutbett in einem Bereich, der eine Einschnürung des Reaktionsraumes darstellt. Das Gas wird unter dem Rost abgezogen.

¹⁴ Die denkbare Möglichkeit eines "aufsteigenden" Gleichstromvergaser ist bei Unterschub des Brennstoffes auch möglich und wird zum Teil beim EASYMOD-Vergaser angewandt.

Da die Brenngase durch das heiße Glutbett (Oxidationszone) strömen müssen, können die für eine Gasverwertung problematischen Teere und Kohlenwasserstoffe zu einem großen Teil in CO, CO₂ und H₂ gespalten werden. Dadurch hat dieser Vergasertyp den großen Vorteil ein Gas mit niedrigem Teergehalt zu produzieren.

Die erzeugten heißen Brenngase können außerdem am Außenmantel des Reaktors vorbeigeführt werden (abweichend von obiger Abbildung), um dadurch eine Ausnutzung der fühlbaren Wärme für den Prozess zu ermöglichen.

Dieses Vergaserprinzip eignet sich vor allem für Holz. Es ist nur bedingt für die Strohvergasung einzusetzen, da ein Glutbett aus stückiger Kohle benötigt wird.

Darüber hinaus besteht vor allem bei halmgutartigen Substraten ein relativ hohes Sinterungsrisiko (Schlackebildung). Als Brennstoff wird daher meist stückiges¹⁵ Holz mit einer Maximalfeuchte von ca. 20 % verwendet.

Hackschnitzel, die ein breites Stückgrößenspektrum aufweisen, von groben Schnitzeln bis zum Sägemehl, eignen sich schlecht für die Gleichstromvergasung. Schüttungen solcher Brennstoffe haben ungenügende Fließeigenschaften, sie neigen zu Brücken-, Schacht- sowie zu Hohlraumbildung. Holzstücke einheitlicher Abmaße, deren Form würfel- oder kugelähnlich ist, bilden hingegen ideale Schüttungen, insofern ihre Oberflächenqualität, d.h. der Oberflächenzustand (faserig, glatt, rau, etc.), die Härte und der Verschmutzungsgrad, ebenfalls ähnlich sind.

Vorteile

Hauptvorteil ist der schon erwähnte niedrige Teergehalt im Rohgas gegenüber andern Vergasertypen. Daher lässt dieser Vergasertyp am ehesten den Einsatz des ungereinigten Rohgases in Gasmotoren zu¹⁶. Dies veranlasste eine Reihe von Vergaserherstellern diese Bauart zu bevorzugen und voranzutreiben.

Ferner ist die einfache Bauweise und die jahrelangen Erfahrungen einiger Hersteller ein Vorteil dieses Vergasertyps.

Nachteile

Die Form des Brennstoffes ist für die Auslegung des Vergasers entscheidend. Ein Reaktor, der für die Vergasung von faustgroßen Holzklötzchen ausgelegt wurde, wird beim Betrieb mit Holzschnitzeln eine geringere Rohgasleistung, einen größeren Teergehalt im Rohgas, und andere negative Effekte aufweisen.

Gleichbleibende Schüttgutqualität kann durch gezielte Aufbereitung bei der Brennstoffbeschaffung und Lagerung erreicht werden. Feinere Brennstoffe müssen zu Pellets oder Briquettes gepresst werden, welche sich ähnlich wie Holzklötzchen verhalten und nicht sofort zerfallen.

¹⁵ Stückig ist als Abgrenzung zu Sägespänen oder Rindenabfällen zu verstehen (meist > 3 cm Kantenlänge).

¹⁶ Siehe auch die Ausführungen zum Thema Gasreinigung. Der Verzicht auf die aufwendige Gasreinigung stellt einen großen Kostenvorteil dar.

Durch die gleiche Strömungsrichtung von Biomasse und Gas ist die Wärmeübertragung zwischen den beiden Massenströmen nicht so gut wie beim Gegenstromvergaser. Es ist mehr Wärme nötig, um die Pyrolyseprodukte aufzuwärmen, so dass weniger Wärme für den Vergasungsprozess zur Verfügung steht. Außerdem entsteht ein Gas mit hoher Temperatur, was sich negativ auf den Vergasungswirkungsgrad auswirkt (vgl. Betrachtungen zum Wirkungsgrad in 2.1.6). Der technische Aufwand des Gleichstromvergasers gegenüber dem Gegenstromvergaser ist höher.

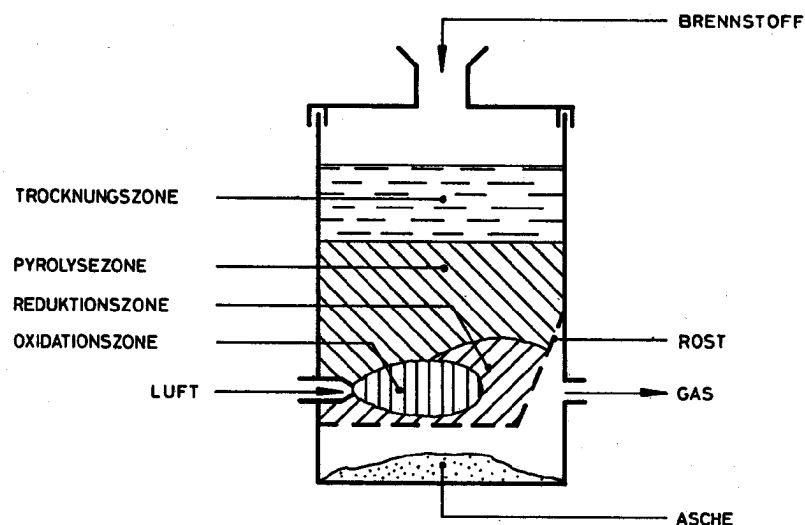
Da die Gasreinheit (Teer, Partikel) entscheidend für einen Motorbetrieb ist, dominiert dieser Vorteil die oben genannten Nachteile, wodurch der Gleichstromvergaser zur Zeit für die Kombination mit Gasmotor - BHKW bevorzugt wird.

Andere Vergasertypen

Querstromvergaser

Der Querstromvergaser ist eine Abwandlung des Gleichstromvergaser. Bei ihm erfolgt die Strömung des Gases quer zur Bewegung des Brennstoffes. Die Vergasungsluft tritt oberhalb des Rostes ein und strömt horizontal auf der gegenüberliegenden Seite wieder ab (siehe folgende Darstellung).

Abbildung 9: Prinzip eines Querstromvergasers



Quelle: Bierter/Gaegauf 1982

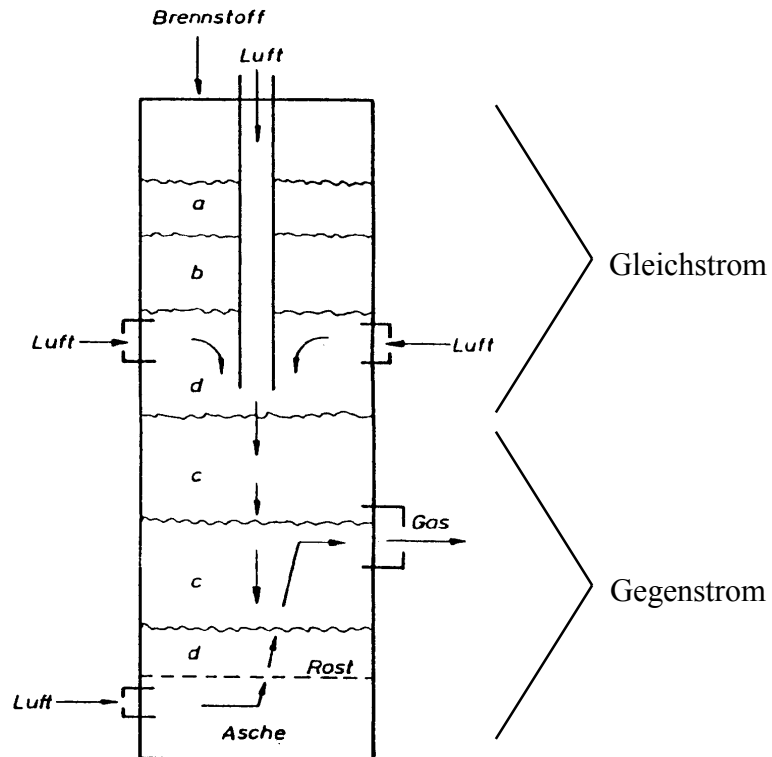
Der Querstromvergaser ist zur Zeit in der Literatur für eine Stromerzeugung mit Biomasse nicht berücksichtigt und ist lediglich bei einer Firma in der Testphase¹⁷.

¹⁷ Vgl. Kapitel 3 Technischer Stand und Marktreife von Vergasern, Firma VER GmbH.

Der Zweizonenvergaser

Dieser Vergasertyp ist eine Weiterentwicklung des früheren *Deutz*-Doppelfeuervergasers. Er vereinigt die beiden klassischen Prinzipien ab- und aufsteigender Vergasung miteinander. Hier wurde versucht die Vorteile der beiden klassischen Verfahren zu kombinieren. Zur prinzipiellen Funktionsweise siehe folgende Darstellung eines Anbieters.

Abbildung 10: Prinzip des Zweizonenvergaser



Quelle: Walter 1994

Kennzeichen dieses Prinzips ist, dass das zur Vergasung notwendige Vergasungsmittel zum einen von unten und oben sowie durch seitliche Öffnungen in mittlerer Höhe des Vergasers einströmt. Der Gasaustritt ist zwischen der unteren und den seitlichen Öffnungen angeordnet.

Im oberen Teil des Vergasers laufen die Reaktionen ähnlich wie im Gleichstromvergaser und im unteren Teil ähnlich wie im Gegenstromvergaser ab.

Bisher hat sich diese Bauweise noch nicht durchgesetzt; sie wird zwar angeboten¹⁸, jedoch sind keine Referenzanlagen in Deutschland oder Europa bekannt.

Es werden auch mehrstufige Vergaser entwickelt, welche aber alle auf den einstufigen Gleich- und Gegenstromvergasern aufbauen und damit vom Prinzip der Vergasung ähnlich sind. Die einzelnen Zonen der Vergasung (Trocknung, Pyrolyse, Oxidation und Reduktion) werden hierbei in mehrere physikalisch getrennte Reaktoren aufgeteilt¹⁹.

¹⁸ Vgl. Kapitel 1 Technischer Stand und Marktreife von Vergasern, Firma Jäckel GmbH.

¹⁹ Vgl. Zweistufenvergaser der TU Dänemark und EASYMOD-Vergaser als dreistufiger Vergaser.

Die hier vorgestellten Vergaserprinzipien werden von den Vergaseranbietern zwar angewandt, doch wurden einige Details verfeinert und den heutigen Ansprüchen angepasst (vgl. Kap. 1).

In der für die dezentrale Erzeugung von Wärme und Strom aus Holz relevanten Leistungsgröße ist die Festbettvergasung im Gleichstromverfahren bisher am weitesten verbreitet (vgl. Kap. 1 - Zusammenfassung zum Stand der Technik).

2.1.5 Gasaufbereitung

Für eine Nutzung des Holzvergasers in Gasmotor - BHKW ist in den meisten Fällen eine Gasaufbereitung erforderlich. Diese besteht, aus der Reinigung und der Kühlung des Rohgases.

Gaskühlung

Das je nach Vergasertyp unterschiedlich heiße Rohgas sollte vor einer motorischen Nutzung gekühlt werden. Zum einen mal ist dies erforderlich um der maximalen thermischen Belastung des Motors gerecht zu werden. Zum anderen ist es empfehlenswert einen möglichst hohen Füllgrad²⁰ im Brennraum und damit einen hohen Motorwirkungsgrad zu erreichen. Da Druck und Temperatur den Heizwert eines Gases beeinflussen, ist es ebenfalls möglich das Gas heiß und unter Druck mit ähnlichem Füllgrad wie bei der Kühlung in den Motor einzuleiten. Dies wird von einem Vergaseranbieter erprobt²¹.

Das heiße Rohgas eines Gleichstromvergasers muss wegen des Füllgrades im Brennraum von ca. 700 °C auf unter 50 °C abgekühlt werden. Es wird auf verschiedene Art versucht, die Wärme des Gases zu nutzen. So wird bei einigen Gleichstromvergasern das heiße Gas am Reaktor vorbeigeführt, um einen Teil der enthaltenen Wärme zum Aufheizen, Vorwärmen und Trocknen des Brennstoffes zu nutzen. Damit wird der Wirkungsgrad des Holzvergasers verbessert. Zum anderen kann die Wärme des heißen Rohgases für die jeweilige Nutzenanwendung (Warmwasser, Raumheizung) ausgekoppelt werden. Außerdem kann das Gas durch Einspritzen von kaltem Wasser abgekühlt werden.

In jedem Fall ist der apparative Aufwand der Gaskühlung mit zusätzlichen Kosten verbunden.

Ein weiterer gravierender Nachteil besteht darin, dass bei der Abkühlung des Gases der Taupunkt unterschritten wird, wodurch der Wasserdampfanteil als Kondensat im Kühlsystem anfällt. Der Wasserdampf stammt entweder aus dem Vergasungsmittel (meist Luft), aus Reaktionen des Wasserstoff im Vergaser, aus dem Brennstoff oder dem zur Kühlung eingesetzten Wasser. Das Kondensat ist meist stark belastet (Teer, Phenol) und kann deshalb nicht in die Kanalisation eingeleitet werden.

Je nach Vergasungsprozess kondensiert bei Gleichstromvergasern pro kg Holz bis zu 300 Gramm Kondensat aus. Bei einem Vergaser mit 100 kW_{el} fallen damit pro Tag ca. 200 Liter Kondensat an. Einige Hersteller geben das Kondensat wieder in den Vergasungsprozess zurück, um diesem Problem aus dem Weg zu gehen²².

Bei zu feuchtem Brennstoff kann der Wasserüberschuss jedoch auch Probleme bereiten.

²⁰ Der Füllgrad steigt bei zunehmender Dichte bzw. Druck des Gases und sinkt mit steigender Temperatur.

²¹ Vgl. Technischer Stand und Marktreife von Vergasern, Arcus GmbH.

²² Vgl. Technischer Stand und Marktreife von Vergasern, Firma Ferges AHT und EASYMOD sowie TU Dänemark.

Gasreinigung

Die Gasreinigung hat das Ziel, das Rohgas entsprechend den Anforderungen der Nutzung²³ des Gases zu reinigen. So muss z.B. für den Betrieb von Gasmotoren das Gas weitgehend frei von Ruß, Staub und Teerbestandteilen sein, um Verunreinigungen im Motor (Ventile, Brennraum) zu vermeiden. Hauptaufgaben der Gasreinigung bei Motorbetrieb ist die Entstaubung und Entteerung des Gases, da somit die Abnutzung sowie der Wartungs- und Unterhaltsaufwand für die Motoren am geringsten ist.

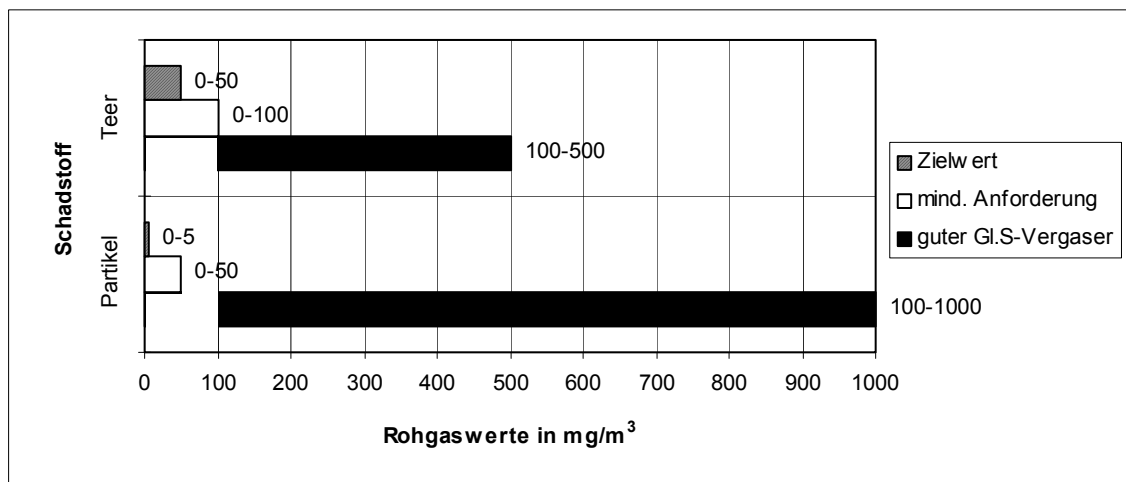
Bei Gleichstromvergasern hat man prinzipiell zwei Möglichkeiten, ein taugliches Gas für die Nutzung in Motoren zu erhalten.

Die erste Möglichkeit besteht darin, das aus dem Vergaser austretende Gas soweit zu reinigen, dass es den Anforderungen eines Motors entspricht. Dies stellt bei verunreinigtem Rohgas hohe Ansprüche an die Filtertechnik und führt dazu dass die Filter häufig gewechselt werden müssen. Dies ist bisher mit hohen Kosten verbunden, da es kostengünstige Filter, welche die Reinigung optimal lösen bisher nicht gibt.

Die zweite Möglichkeit ist ein möglichst reines Rohgas zu erzeugen, dass mit einfachen kostengünstigen Filtern zum Motorbetrieb geeignet ist. Diese Lösung wird derzeit angestrebt, da eine wirtschaftlich vertretbare Filterung und Gasreinigung des Rohgases nicht realisierbar erscheint.

Das folgende Bild zeigt Grenzwerte für Staub (bzw. Partikel) und Teer, die für die Nutzung in Motoren gefordert werden, und die bisher mit Gleichstromvergasern erreichte Bandbreite des Staub- und Teergehaltes.

Abbildung 11: Anforderungen an Motoren bezüglich Teer und Partikeln im Rohgas und bisherige Werte guter Gleichstromvergaser (GLS-Vergaser)



Quelle: Nussbaumer 1994

²³ Vgl. Kapitel 2.2.1 (Gasnutzung und Holzgas-BHKW) und Abbildung 13.

Es ist zu erkennen, welche Werte von den bisherigen guten Gleichstromvergäsern eingehalten werden können. Werte unter 100 mg/m^3 im Rohgas können bisher von keinem Vergaser weder bei Teer noch Staub im Dauerbetrieb erbracht werden. Da dies jedoch über den Mindestanforderungen für einen Motorbetrieb liegt, muss auch bei den besten Vergäsern das Gas gereinigt werden. Um die Mindestanforderungen oder sogar die optimalen Zielwerte der Reinheit des Rohgases zu erreichen ist noch einige Entwicklungsarbeit nötig.

Die Abscheidung von Partikeln bis zu einem Partikelgehalt von ca. 10 mg/m^3 durch Filter birgt keine großen technischen Probleme. Das eigentliche Problem ist eindeutig der Teergehalt des Rohgases. Weder Trocken- noch Nassreinigungsverfahren bieten bisher auf Dauer befriedigende Ergebnisse.

Die Gasreinigung ist somit eines der wichtigsten Teile der Vergasungsanlage. Zu den obigen Ausführungen der Gasaufbereitung vergleiche Nussbaumer²⁴.

Beim Gegenstromvergaser liegen, wie in Abschnitt 2.1.4. beschrieben, die Gehalte an Teer und Partikeln viel höher als bei Gleichstromvergäsern. So kann z. B. der Teergehalt im Vergleich um eine Zehnerpotenz höher (ca. 100 g/m^3) sein. Somit ist bei diesem Vergasertyp ein Motor- oder auch Gasturbinenbetrieb nur durch entsprechende Filtertechnik erreichbar.

Ähnliches gilt für die Wirbelschichtvergasung. Aufgrund der bei Großanlagen mit Wirbelschichtvergasung angestrebten Holzgasnutzung in Gasturbinen sind teilweise sogar höhere Anforderungen an die Reinheit des Gases zu stellen. So sind Alkalimetall-Verbindungen, welche an den Turbinenschaufeln Hochtemperaturkorrosion verursachen ein großes Hindernis. Wie beim motorischen Einsatz, sollte auch beim Einsatz in Gasturbinen das Rohgas einen möglichst tiefen Teer- und Partikelgehalt aufweisen. Der zulässige Partikelgehalt beträgt nach Nussbaumer 0,1 bis 120 mg/m^3 . Dieser ist von Korngrößenverteilung, Turbinenkonstruktion und Betriebsbedingungen abhängig. Über einen maximal zulässigen Teergehalt gibt es keine Angaben in der Literatur. Eine intensive Gasreinigung ist auch hier unumgänglich. Da das Rohgas der Wirbelschichtvergasung hohe Temperaturen aufweist, wird die Heißgasreinigung verwendet.

Die Frage der kommerziellen Anwendung von Schwachgas in Gasturbinen hängt noch mehr als bei einer motorischen Nutzung des Gases davon ab, ob es gelingt eine technisch und kostenmäßig befriedigende Reinigung des Schwachgases zu finden.

Heute angewandte Reinigungsverfahren für Vergaser, die hier nicht weiter beschrieben werden. Es wird auf die Literatur verwiesen.

- Gravitationsabscheider
- Massenträgheitsabscheider (Fliehkraftabscheider bzw. Zyklon oder Prallblechreiniger)
- Feststoffaufkonzentrierung durch Aufteilung der Gasströme
- Adsorptionsfilter wie z.B. Gewebe-, Kork-, Aktivkohle- oder Keramikfilter
- Elektrofilter
- Nassreiniger (Gaswäscher oder "Scrubber")

²⁴ Nussbaumer T. u.a.: Neue Erkenntnisse zur thermischen Nutzung von Holz; 275 Seiten; BEW (Bundesanstalt für Energiewirtschaft), Enet Schweiz; Zürich 1994

2.1.6 Wirkungsgrad von Vergasern

Der maßgebliche Wirkungsgrad eines Vergasers ist der thermische Vergasungswirkungsgrad. Er beschreibt die Effizienz der Brennstoffumwandlung des Vergasungsvorgangs in gasförmige Produkte. Er wird definiert als das Verhältnis des Energiegehalts des abgekühlten Generatorgases Schwachgases zum Energiegehalt des Brennstoff - Inputs.

In der Literatur sind auch "Vergaserwirkungsgrad" oder "Kaltgaswirkungsgrad" häufig verwendete Ausdrücke für den Vergasungswirkungsgrad.

Der Wirkungsgrad kann aus der Energiebilanz des Vergasers bzw. dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik²⁵, der die Gleichheit der zugeführten und abgeführten Energie bzw. Leistung eines geschlossenen Systems fordert, hergeleitet werden.

Somit folgt für den Vergasungswirkungsgrad:

$$\eta_V = \frac{\text{Energiegehalt des Generatorgases}}{\text{Energiegehalt des Brennstoff - Inputs}}$$

bzw.

$$\eta_V = \frac{\dot{V}_G \cdot H_{uG}}{\dot{m}_B \cdot H_{uB}}$$

Der Energiegehalt des Generatorgases entspricht der *Generator- oder Vergasungsleistung* P_G und der Energiegehalt des Brennstoff-Input der *Brennstoffleistung* P_B . Diese sind wie folgt definiert:

$$P_G = \dot{V}_G \cdot H_{uG} \quad \dot{V}_G := \text{Normvolumenstrom des aufbereiteten Gases (gekühlt und gereinigt)}$$

$$H_{uG} := \text{Heizwert des Gases}$$

$$P_B = \dot{m}_B \cdot H_{uB} \quad \dot{m}_B := \text{Brennstoffmassenstrom}$$

$$H_{uB} := \text{Brennstoffheizwert}$$

P_G ist die nutzbare Leistung des Produktgases, welche in Form chemisch gebundener Energie in den brennbaren Gaskomponenten vorliegt. Nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik gilt hiermit:

$$P_B = P_G + P_{Q_G} + \dot{Q}_V + P_{V_{K,F}}$$

²⁵ Energie "... kann in andere Energieformen umgewandelt werden In einem abgeschlossenen System bleibt die Summe aller Energiearten ... konstant." Aus: Balzer G.: Vorlesung Kraftwerke; Fachbereich Energieversorgung; Darmstadt 1995.

wobei

$P_{Q_G} :=$ *Wärmeleistung* des Rohgases

$\dot{Q}_V :=$ *Wärmeverluste* des Vergasers

$P_{V_{K,F}} :=$ *Leistungsverlust* durch Nebenprodukte der Vergasung

$P_B :=$ *Brennstoffleistung* des Brennstoffes

- ⇒ Die *Wärmeleistung* ist die Summe der in den einzelnen Gaskomponenten enthaltenen Wärme, die bei der Abkühlung des Gases von der Vergaseraustrittstemperatur auf Umgebungstemperatur frei wird.
- ⇒ Der *Wärmeverlust* setzt sich aus Strahlungs- und Konvektionsverlusten an die Umgebung zusammen.
- ⇒ Der *Leistungsverlust* ist der Verlust, der durch flüssige und feste Vergasungsprodukte entsteht, sofern nur das Gas genutzt wird (z.B. Schlacke, Asche, Kondensat).
- ⇒ Die *Brennstoffleistung* ist die gesamte in den Vergaser eingebrachte Leistung.

Der Vergasungswirkungsgrad kann auch wie folgt hergeleitet werden:

$$\eta_V = 1 - \frac{\text{Verlustenergie}}{\text{Energiegehalt des Brennstoff - Inputs}}$$

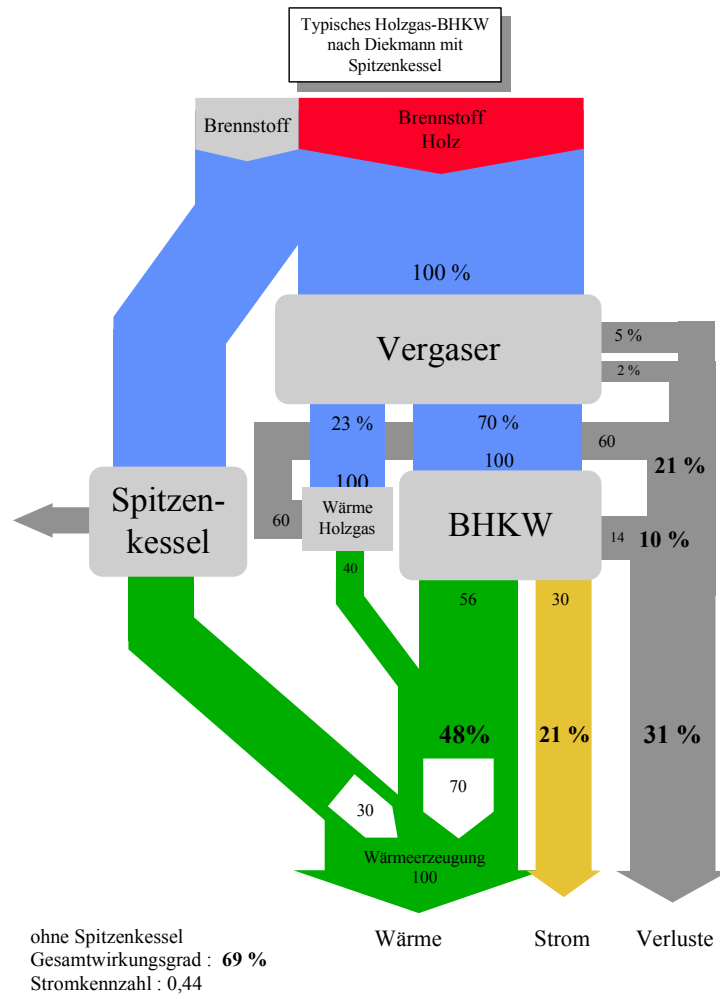
bzw.

$$\eta_V = 1 - \frac{P_{Q_G} + \dot{Q}_V + P_{V_{K,F}}}{P_B}$$

Der Vergasungswirkungsgrad ist auch aus dem vereinfachten Energieflussbild²⁶ eines typischen Holzgas-BHKW in folgender Abbildung zu erkennen.

²⁶ Hilfsenergie für z.B. Ventilatoren sind vernachlässigt, da sie weniger als 0,5 % des Brennstoffeinsatzes ausmachen.

Abbildung 12: *Energiefluss eines typischen Holzgas-BHKW mit Spitzenkessel*



Quelle: nach Diekmann 1995

Der Vergasungswirkungsgrad ist in obiger Abbildung mit rund 70 % angegeben. Ca. 23 % der Energie des Vergasers gehen durch die Abkühlung des Gases verloren. Ein Teil davon kann jedoch als nutzbare Wärme (hier 40 %) zur Gesamtwärmeleistung beitragen.

Ca. 5 % der eingesetzten Brennstoffenergie gehen als Restkohlenstoffverluste (*Leistungsverluste*) und 2 % als Strahlungsverluste (*Wärmeverluste*) verloren (in der Abbildung rechts vom Vergaser).

2.2 Gasnutzung und Holzgas-BHKW

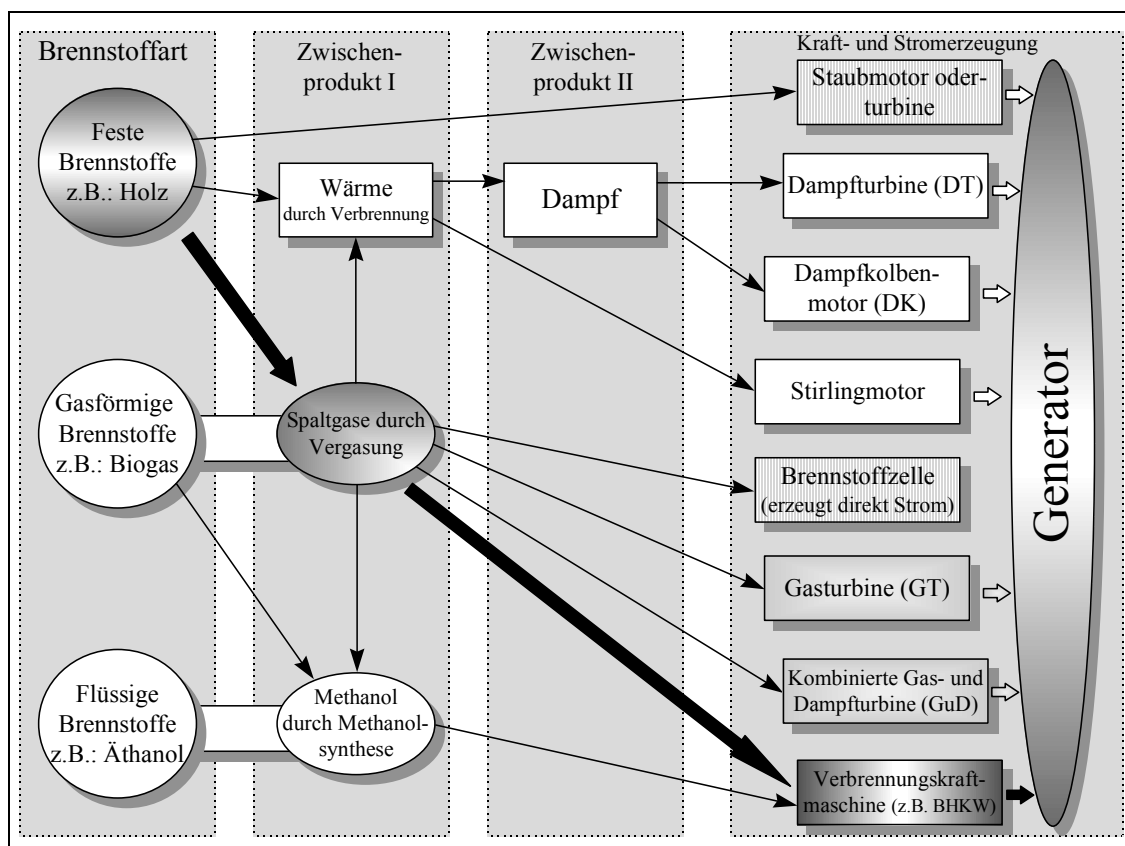
2.2.1 Gasnutzung

Die drei für das Generatorgas zur Zeit interessantesten Nutzungsmöglichkeiten sind die direkte thermische Nutzung zur Erzeugung von Wärme, die Nutzung in einem Verbrennungsmotor und die bisher nur für größere Leistungen mögliche Nutzung in einer Gasturbine bzw. kombinierten Gas- und Dampfturbine (GuD-Anlage) zur Erzeugung von Strom und Wärme.

Die rein thermische Nutzung ist mit allen Vergasertypen möglich. Die Möglichkeit der Nutzung von Gasturbinen kommt bisher nur für Wirbelschichtvergaser in Frage. Für die Nutzung des Gases in einem Motor bzw. BHKW empfehlen sich Gleich- und Gegenstromvergaser im hier untersuchten Leistungsbereich.

In der Zukunft können auch der Stirlingmotor und die Brennstoffzelle als Energieerzeuger mit Generatorgas zur Option werden. Ein Überblick über die verschiedenen Verfahren der Stromerzeugung aus Biomasse ist aus folgender Abbildung ersichtlich.

Abbildung 13: *Übersicht über Verfahren zur Kraft- und Stromerzeugung aus Biomasse*



Quelle: Hartmann/Strehler 1995, Steinbrecher, (eigene Darstellung)

Die Möglichkeit der Nutzung von Holz zur Stromerzeugung, welche zur Zeit für eine breite Anwendung auch im Bereich kleiner Leistungen am ehesten erfolgversprechend erscheint, ist die Holzvergasung zum Betrieb eines Gasmotor BHKW. Der entsprechende Pfad der Holznutzung ist in obiger Abbildung hervorgehoben und wird ausführlich in Abschnitt III.2.2 behandelt.

Weitere Nutzungsmöglichkeiten wie Gasturbinen (GT) und GuD für größere Leistungen sind grau unterlegt. Eine Optionen für der Zukunft, die Brennstoffzelle ist gestreift hervorgehoben.

Prinzipiell sind auch der Dampfturbinenprozess und der Dampfmotor- bzw. Dampfkolbenmotor sowie die Zukunftsoption Stirlingmotor Möglichkeiten Strom aus Produktgas zu erzeugen. Für diese Techniken ist jedoch als vorgeschalteter Prozess die direkte Verbrennung, ohne den Umweg der Vergasung, der zur Zeit effizientere Prozess, da eine Vergasung mehr Aufwand bereitet und den Wirkungsgrad dieser Anlagen verschlechtert. Die Verbrennung ist jedoch eine ausgereifte Technik und wird in Verbindung mit dem Dampfmotor oder der Dampfturbine auch für Biomasse verwendet (vgl. Abbildung 1).

Die Möglichkeit der direkten Nutzung von feinem Biomassestaub in Staubmotoren oder -turbinen ist eine Technik, die sich in den Anfängen der Entwicklung befindet. In Schweden wird an dieser Technik geforscht. Sie ist wie der Stirlingmotor eine Zukunftstechnik und ist deswegen in obiger Abbildung ebenfalls mit Streifen unterlegt²⁷.

Für die erwähnte direkte thermische Nutzung des Gases ist eine Verbrennung der einfachere Prozess. Im weiteren werden nur noch die Strom- und Wärmeerzeugung sowie einige bewährte Nutzungstechniken des Produktgases betrachtet.

Für alle Systeme werden mehr oder weniger hohe Anforderungen an die Reinheit des Produktgases gefordert um einen dauerhaften Betrieb zu erreichen.

- **Brennstoffzelle**

Diese interessante Möglichkeit der Stromerzeugung direkt aus der chemischen Energie eines Brennstoffes ohne den verlustreichen Umweg der Verbrennung und Motor/Generator ist noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase. Es existieren bisher nur einige Spezialanwendungen (Weltraum, U-Boote) und vereinzelte Versuchsanlagen von speziellen Brennstoffzellentypen.

Andere Techniken sind bis heute wirtschaftlicher, obwohl der elektrische Wirkungsgrad der Brennstoffzellen für die BHKW-Nutzung mit 36 bis 65 % angegeben wird. Die Temperatur der nutzbaren Wärme liegt bei einigen Brennstoffzellen nur bei rund 60 °C. Eine Hochtemperaturzelle erreicht hingegen 650 °C bis 1000 °C, was eine Kombination mit nachgeschaltetem Dampfprozessen möglich macht. Auch Leistungen von bis zu 11 MW_{el} scheinen möglich zu sein.

Da diese Technik noch nicht kommerziell verfügbar ist, wird sie hier nicht weiter betrachtet.

²⁷ Zu Staubmotoren bzw. -turbinen siehe Hartmann/Strehler 1995

• Gasturbine (GT) und kombinierte Gas- und Dampfturbine (GuD)

Die Gasturbine und Kombiprozesse mit Gasturbinen bieten sich bei größeren Vergaserleistungen und damit eher bei Wirbelschichtvergasung an. Bisher liegen jedoch noch keine Betriebserfahrungen mit Holzgas in Gasturbinen vor.

Dagegen liegen für die Stromerzeugung durch Verbrennung fester Biomasse und anschließender Nutzung in Dampfturbinen Erfahrungen vor. Die untere Grenze der Leistungsgröße für Dampfturbinenprozesse mit Schwachgas aus Biomasse ist durch den apparativen Aufwand und die Wirtschaftlichkeit gegeben. Eine obere Leistungsgrenze ergibt sich durch den Aufwand der Logistik für eine ausreichende Beschaffung der notwendigen Biomasse und der damit verbundenen Wirtschaftlichkeit.

In folgender Tabelle sind Leistungsbereiche und elektrische Wirkungsgrade verschiedener Techniken zur Stromerzeugung aus Biomasse dargestellt.

Tabelle 4: Kenndaten (Leistungsbereich und elektrischer Wirkungsgrad) möglicher Verfahren zu Stromerzeugung aus Biomasse

eingesetzte Technik	Leistungsbereich in MW_{el}	typischer bzw. erwarteter elektrischer Gesamtwirkungsgrad in %
Gegendruckdampfturbine ¹⁾	0,5- 150	25
Entnahme-Kondensations-Dampfturbine	50-750	35
Vergasung und Gasturbine (GT)	0,3-30	21
Gas- und Dampfturbine (GuD)	5-200	50 ²⁾
Blockheizkraftwerk (BHKW)	0,05-1,5 ³⁾	30
Dampfkolbenmotor (DK)	0,025, 2,0 ³⁾	16
Stirlingmotor	ab 0,003 bis ? ⁴⁾	25
Brennstoffzelle ⁴⁾	?	36-65

1) Regelung nach dem Wärmebedarf, Strom nur als Abfallprodukt

2) hier: bezogen aus den Heizwert von Erdgas, ggf. auch bei Biogas realisierbar

3) durch Kombination weiterer Module ist die Gesamtleistung vergrößerbar

4) Schätzwerte da Zukunftstechnik

Quelle: Hartmann/Strehler 1995

Die Anzahl der Arten von Biomasse, welche genutzt werden können, ist bei Gasturbinen durch die Anwendung der Wirbelschichtvergasung größer als bei Kolbenmotoren (z.B. in BHKW). Gasturbinen müssen bezüglich Konstruktion und Betriebsweise ebenfalls auf den jeweiligen Brennstoff angepasst werden. Die Gasreinigung ist auch bei Nutzung von Holzgas in Gasturbinen ein entscheidender Faktor, der für die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen ausschlaggebend ist. Es besteht ein großes Interesse Wirbelschichtvergaser zur Stromerzeugung mittels Gasturbinen einzusetzen.

Als weitere Option der Nutzung von Produktgas sei noch kurz die Verflüssigung des Gases durch Methanolsynthese (vgl. Abbildung 13) erwähnt. Hierfür kommt nur die druckaufgeladene Wirbelschichtvergasung mit Sauerstoff und Dampf in Frage, da der Ausgangsstoff der Methanolsynthese ein reines Synthesegas (CO/H_2 -Gemisch) sein muss. Eine mögliche Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage ist nur im großen Maßstab denkbar.

Die Nutzung von Biomasse bzw. Holz in BHKW wird im folgenden Abschnitt behandelt.

2.2.2 Holzgas-BHKW

Die vielversprechende und meistdiskutierte Nutzung von Holzgas aus Gleichstrom- bzw. Gegenstromvergasern im Bereich von 0,5 bis 5 MW (Vergaserausgangsleistung) ist die Nutzung in Blockheizkraftwerken (BHKW). Als Vorteile von BHKW gegenüber anderen Nutzungsmöglichkeiten lassen sich folgende Effekte beschreiben:

- hoher Gesamtwirkungsgrad von BHKW gegenüber getrennter Erzeugung von Strom und Wärme
- Es ergibt sich durch den höheren Wirkungsgrad der BHKW auch eine CO_2 -Einsparung gegenüber getrennter Erzeugung
- Der elektrische Wirkungsgrad bei Holzgas-BHKW ist mit ca. 25 -30 % höher als bei konventioneller Holzfeuerung mit nachgeschalteten Dampfturbinen oder Dampfmaschinen (vgl. Tabelle 4 und Abbildung 16)
- Module von BHKW im kleineren Leistungsbereich (bis 5 MW_{el}) sind als ausgereifte Technik vorhanden; die Motoren sind robust und vielseitig einsetzbar
- Zur dezentralen Wärme- und Stromversorgung bieten sich kleine BHKW Module, besonders in Gebieten mit hohem Biomasseaufkommen, an

Die wesentlichen Komponenten eines BHKW sind der Verbrennungsmotor und die Wärmetauscher zur Nutzung der Abwärme aus Kühlwasser, Abgas und Öl.

Bei einem herkömmlichen BHKW mit Wasserkühlung lassen sich in der Regel kaum höhere Temperaturen als ca. 100 °C für die thermische Nutzung erzielen. Dadurch ist das Einsatzspektrum für viele Prozesstechnische Anwendungen (z.B. in der Lebensmittelindustrie) stark eingeschränkt. Liegen höhere Ansprüche an das Temperaturniveau vor, so kann auf eine selten angewandte Motorausführung mit Ölkühlung zurückgegriffen werden, bei der die Auskopplung von Wärme bis ca. 200 °C möglich ist. Die erzeugte Wärme- und Strommenge fällt beim BHKW immer in einem festen Verhältnis an, das heißt, dass eine gezielte Anpassung der Energieproduktion an eine zeitlich variable Bedarfsstruktur in der Regel schwer möglich ist.

Als Motoren für die Holzgasnutzung können Zündstrahldieselmotoren, auf Fremdzündung (Zündkerzen) umgebaute Dieselmotoren oder Ottomotoren eingesetzt werden. Am einfachsten und bisher am bewährtesten ist der Betrieb mit Zündstrahlmotoren²⁸. Diese Motoren, welche eigentlich für hochwertige fossile Brennstoffe optimiert wurden, können mittlerweile auf ausreichende Erfahrungen mit holzgasähnlichen Produktgasen wie Bio-, Klär- oder Deponiegas zurückgreifen.

Die Probleme der Gaskühlung und -reinigung für einen dauerhaften Betrieb in Motoren sind bereits im Abschnitt 2.1.5 Gasaufbereitung erläutert worden.

Festzuhalten bleibt, dass Generatorgas aus Holz einen niedrigeren Heizwert und eine höhere Klopffestigkeit als andere Gase aufweist. Um ähnliche Leistungen wie Standard-BHKW zu erreichen eignen sich für Generatorgas eine Verdichtung des Gases oder die Anwendung großvolumiger Gasmotoren mit großer Bohrung und kleinem Hub²⁹.

Prinzipiell können BHKW nach zwei Hauptbetriebsweisen ausgelegt werden:

- stromgeführt
- wärmegeführt

Beide Betriebsweisen orientieren sich an der Nachfrage nach Energie und sind damit nachfrageorientiert.

Stromgeführte BHKW produzieren den Strom, der benötigt wird; überschüssige Wärme wird an die Umgebung abgeführt. Dadurch kann der Gesamtwirkungsgrad sinken.

Wärmegeführte BHKW folgen dem Wärmebedarf und decken, um eine hohe Vollaststundenzahl zu erreichen, meist die Grundlast des Wärmebedarfs eines Objektes; Stromüberschüsse werden ins Netz eingespeist.

Eine dritte Möglichkeit des Betriebes von BHKW wird z.B. in Entsorgungsunternehmen angewandt und ist angebotsorientiert. Hier wird soviel Strom und Wärme produziert wie der anfallende Brennstoff, z.B. Kehrholz oder Altholz zulässt. Der Stromüberschuss wird hierbei ebenfalls eingespeist und der Wärmeüberschuss an die Umgebung abgegeben³⁰.

Um einen hohen Gesamtwirkungsgrad der Anlage zu erreichen und damit wirtschaftlich zu arbeiten empfiehlt sich die Wärmeauslegung von BHKW. Für den Fall, dass die Wärme nicht abgenommen werden muss, eine Kühlung vorhanden sein. In den warmen Jahreszeiten kann die Wärme über Wärmepumpen zur Kälteerzeugung herangezogen werden.

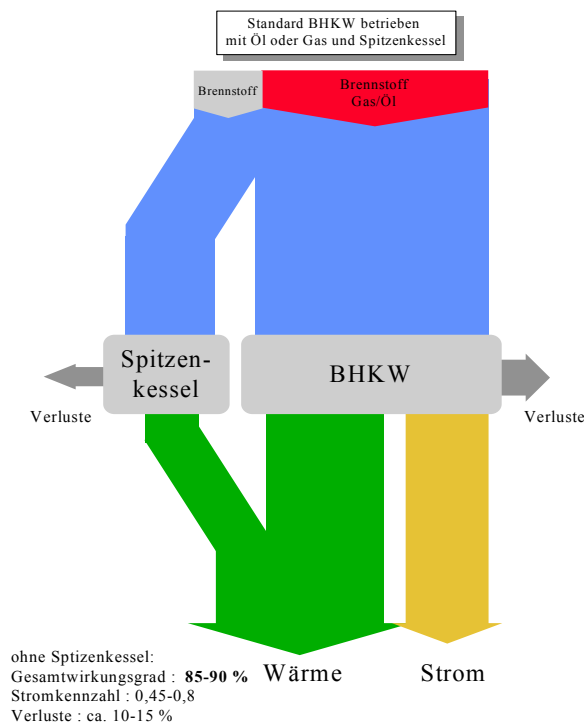
BHKW werden meist als Wärmegrundlast an einen Verbraucher und parallel zum Wärme- und Stromnetz angeschlossen. Um die Jahresdauerlinien eines Wärmeverbrauchers auszufüllen, werden BHKW gewöhnlich mit einem Spitzenkessel geplant und gebaut. Ein Spitzenkessel erbringt ca. 30 % der Wärmearbeit. Siehe hierzu folgende Abbildung.

²⁸ Vgl. Ergebnisse in Tabellenform des Kapitel 3

²⁹ Gosch, T.: Vergasung von Biomasse zur Energieerzeugung - Technik und Anwendung; 120 Seiten; Fachhochschule Flensburg; Kiel 1995.

³⁰ Siehe Landesgewerbeamt BaWü: Energetische Nutzung von Holz und Nahwärmeversorgungssysteme; Haus der Wirtschaft; Modul 4.2; Stuttgart 1995

Abbildung 14: Energieflussbild eines gas- oder ölbetriebenen BHKW mit Spitzenkessel



Quelle: Steinbrecher (verschiedene Quellen)

Vergleiche hierzu auch das Energieflussbild eines Holzgas-BHKW in Abbildung 12.

Wichtig für einen wirtschaftlichen Betrieb von BHKW sind eine genaue Analyse des Wärme- und Strombedarfs und eine detaillierte Planung der Anlage, z.B. durch das immer häufiger angewandte "Contracting"³¹.

Weiter ist eine möglichst hohe Anzahl von Vollaststunden für eine Wirtschaftlichkeit von BHKW anzustreben. Die optimale Anzahl der Vollaststunden hängt von Parametern wie den Einspeisebedingungen für Strom, dem Wärmebedarf des Objektes und anderen ab.

Die Einsatzmöglichkeiten von Holzgas-BHKW sind aus folgender Abbildung zu entnehmen.

³¹ Contracting wird als Instrument der Planung, Finanzierung, des Baus und Betriebs von KWK-Anlagen genutzt um die Ausschöpfung der Potentiale zu beschleunigen. Vorteile des Contracting gegenüber herkömmlicher Finanzierung und Anlagenerstellung sind unter anderem optimierte Planung und Finanzierung sowie ggf. auch der Betrieb durch kompetente Akteure, längere Kapitalrücklaufzeiten, Verbesserung der Bonität und bei Einbeziehung des Energielieferanten in die Contractinggesellschaft langfristige und günstige Lieferbedingungen.

Abbildung 15: Mögliche Einsatzgebiete für Generatorgas-BHKW

Brennstoff	< 1 MW _{el}	1 - 5 MW _{el}	> 5 MW _{el}
fossile Brennstoffe (bisher eingesetzt)	bisher besetzt durch : Diesel-/Gasmotor	bisher besetzt durch : Diesel-/Gasmotor	bisher besetzt durch : Gasturbine
unbelastetes Holz (Waldrestholz, unbel. Industrierestholz)	bisher besetzt durch : Kessel- Dampfmotor	bisher besetzt durch : Kessel, Dampfmotor/ Dampfturbine	bisher besetzt durch : Kessel, Dampfturbine
belastetes Holz (17. BImSchV)			bisher besetzt durch : Thermoselect, Gasmotor, MVA ¹⁾ , Dampfturbine
Klärschlamm			
Hausmüll			bisher besetzt durch : MVA ¹⁾ , Dampfturbine

¹⁾ MVA = Müllverbrennungsanlage

Einsatz denkbar
 Einsatz in Zukunft möglich ?
 Einsatz nur unter besonderen Randbedingungen

Quelle: Diekmann R. 1995

Nach obiger Abbildung sind die Hauptanwendungsgebiete von Holzgas-BHKW bei Resthölzern zu finden, aber auch bei der Verwertung von Klärschlamm bieten sich wirtschaftliche Nutzungsmöglichkeiten mittels Vergasung an³². Andere Autoren sehen die Zukunft von Holzgas-BHKW bei der Altholzverwertung oder auch bei Holz aus Energieplantagen.

Wirkungsgrad von Holzgas-BHKW

Der Gesamtwirkungsgrad von Holzgas-BHKW ist der Wirkungsgrad der gesamten Anlage, die aus Vergaser und BHKW besteht. In Abbildung 12 wird dies anhand von Prozentzahlen deutlich. So ist der Input eines Prozesses (Vergaser, BHKW) mit 100 % angegeben. Der Output teilt sich in nutzbaren Output (chemische, thermische oder elektrische Leistung) sowie Verluste auf.

In Abbildung 12 können die Wirkungsgrade von Vergaser und BHKW multipliziert werden, um den Gesamtwirkungsgrad zu erhalten. Dies entspricht folgender Gleichung:

$$\eta = \eta_V \times \eta_B$$

Dabei entspricht η dem Gesamtwirkungsgrad, η_V dem Vergasungs- bzw. Kaltgaswirkungsgrad und η_B der Summe aus thermischen und elektrischen Wirkungsgrad des BHKW. Die unterschiedliche Wertigkeit von Strom und Wärme wird hierbei nicht berücksichtigt.

³² Vgl. Kapitel 3 Technischer Stand und Marktreife von Vergasern, Kuntschar & Schlüter GmbH.

Der Vergasungswirkungsgrad wurde in Abschnitt A. 3, Wirkungsgrad von Vergasern hergeleitet. Der Wirkungsgrad des BHKW η_B ergibt sich aus der Multiplikation des mechanischen Motorwirkungsgrades η_M mit dem Generatorwirkungsgrad η_G plus dem thermischen Motorwirkungsgrad η_{Mth} . Das Produkt $\eta_M \times \eta_G$ entspricht dem elektrischen Wirkungsgrad des BHKW, der mit η_{Bel} bezeichnet wird.

$$\eta_B = (\eta_M \times \eta_G) + \eta_{Mth}$$

$$\eta_B = \eta_{Bel} + \eta_{Mth}$$

Dieser hohe Gesamtwirkungsgrad, der bei BHKW zwischen 85 und 90 % liegt, ist der Hauptvorteil der BHKW gegenüber anderen Nutzungstechniken von Biomasse.

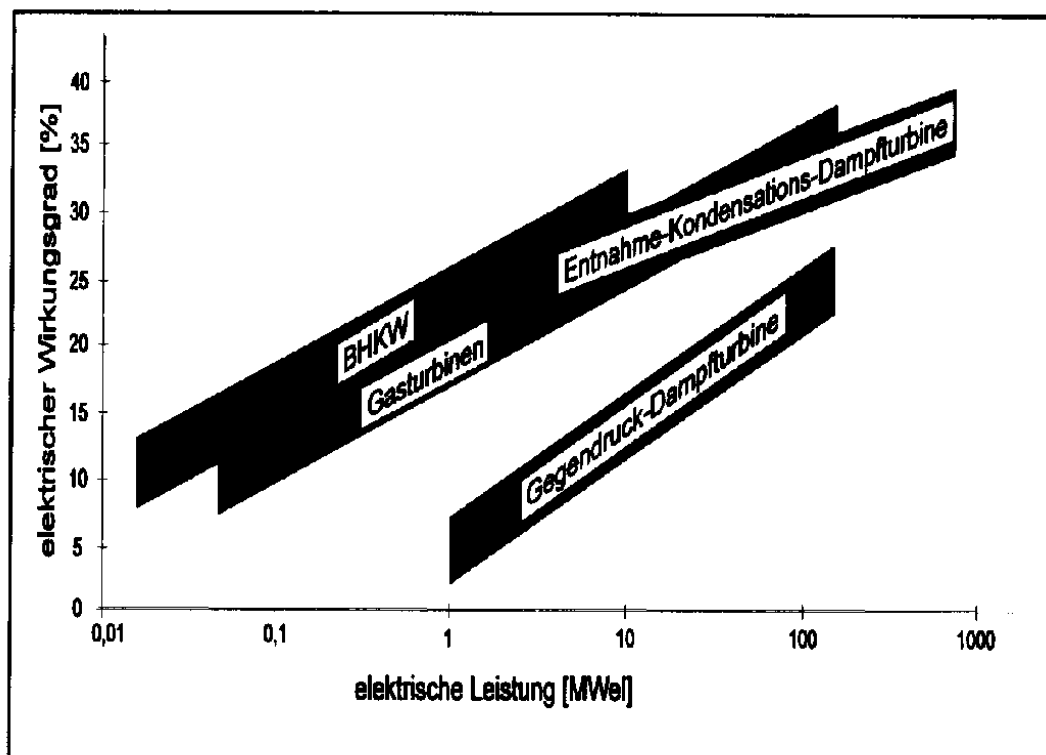
Aus obigen Gleichungen ergeben sich auch der elektrische und thermische Wirkungsgrad (η_{el} und η_{th}) der Gesamtanlage Holzgas-BHKW:

$$\eta_{el} = \eta_V \times \eta_{Bel}$$

$$\eta_{th} = \eta_V \times \eta_{Mth}$$

Zum elektrischen Wirkungsgrad von BHKW vergleiche folgende Abbildung.

Abbildung 16: Vergleich von elektrischen Wirkungsgraden verschiedener KWK-Anlagen



Quelle: Heinrich 1995

Eine wichtige Kennzahl bei der Betrachtung von BHKW ist die Stromkennzahl "s", die das Verhältnis von elektrischer und thermischer Leistung angibt.

$$s = \frac{\text{elektrische Leistung}}{\text{thermische Leistung}}$$

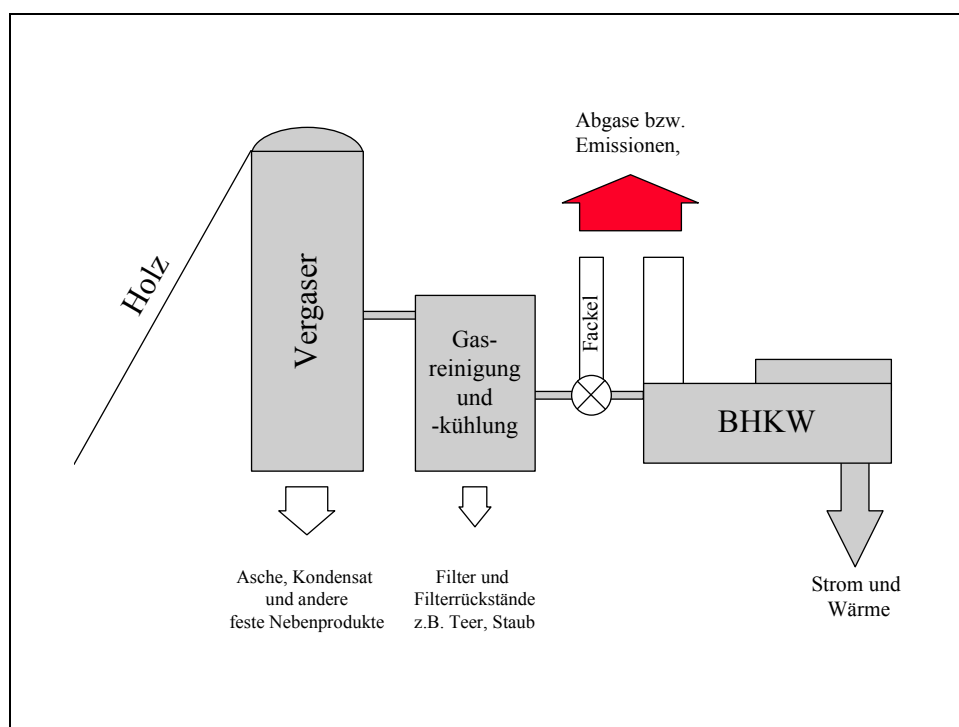
Die Stromkennzahl liegt bei Standard-BHKW zwischen 0,45 und 0,8 und bei guten Holzgas-BHKW zwischen 0,3 und 0,4. Im Vergleich dazu liegt die Stromkennzahl von Dampfkraftprozessen zwischen 0,15 und 0,2.

Je nach Nutzung der fühlbaren Wärme des Holzgases kann diese Stromkennzahl auch höher liegen. Aus der niedrigeren Stromkennzahl von Holzgas-BHKW ergibt sich auch die Priorität der Wärmeführung, um unter Ausnutzung der Wirkungsgrade wirtschaftlich zu arbeiten.

2.2.3 Emissionen

Emissionen können bei normaler Betriebsweise eines Holzgas-BHKW an zwei Stellen der Anlage auftreten. Siehe hierzu folgende Abbildung.

Abbildung 17: Holzgas-BHKW mit Gasreinigung sowie Emissionen und festen Nebenprodukten



Quelle: Steinbrecher (eigene Darstellung)

Wie in obiger Abbildung zu erkennen treten die Emissionen beim Abfackeln des Holzgases und bei Normalbetrieb des BHKW auf. Das Abfackeln ist im Standardbetrieb nur beim Anfahren und Abschalten des Holzgas-BHKW nötig.

Wichtige Emissionen im Rohgas, bei der Vergasung von naturbelassenem Holz, sind z.B. NO_x , CO , SO_2 , C_nH_m .

Anders sieht es bei der Vergasung von Altholz aus. Hierbei können neben Schwefel und Chlor auch Schwermetalle (typisch: Blei, Zink, Cadmium, Quecksilber) als Emissionen auftreten. Die Entstehung von Dioxinen ist auch möglich. Diese entstehen im Temperaturbereich von 250 - 400 °C und werden bei längerer Aufenthaltszeit im Vergaser und höheren Temperaturen wieder zerstört. Da die meisten Vergaser mit viel höheren Vergasungstemperaturen arbeiten und die Verweilzeiten auch lange genug sind, ist nicht von vornherein mit einem Dioxin-ausstoß zu rechnen. Es ist aber nicht auszuschließen und bisher wurden kaum Messungen bezüglich des Dioxinausstoßes vorgenommen (Freitag 1994). So kann man sich bisher nur auf die durch die Gesetze vorgegeben Emissionsgrenzen berufen, da diese von allen Holzgas-BHKW eingehalten werden müssen.

Über genaue Angaben der Emissionen von Vergasern gibt es kaum Literatur und die Vergaserhersteller stellen kaum Emissionsdaten zur Verfügung.

Zum anderen unterscheiden sich die Emissionen recht stark von Vergaser zu Vergaser und hängen in großen Maße vom benutzten Brennstoff ab. Deshalb können außer einer groben Bandbreite keine allgemeinen Angaben hierzu gemacht werden.

Da bereits ausreichende Erfahrungen mit der Nutzung von Biogas in BHKW bestehen, stellt sich die Frage, ob man diese Erfahrungen auf die Nutzung von Holzgas übertragen kann.

Die für Biogas genutzten Katalysatoren werden ähnliche Emissionswerte bei Bio- und Holzgas liefern. Aufgrund der Zusammensetzung des Holzgases wird der NO_x - Ausstoß geringer sein als bei Biogas. Holzgas-BHKW können bisher noch nicht eindeutig einer Emissionsvorschrift zugeordnet werden.

Es könnten die gleichen Emissionswerte wie für BHKW gelten, wahrscheinlicher aber die Emissionsgrenzwerte für Feststofffeuerungen (s.u.).

Tabelle 5 zeigt eine Übersicht über die gesetzlichen Emissionsgrenzwerte für Biomassefeststofffeuerungen nach Hartmann/Strehler (1995).

Einige Anbieter von Holzgas-BHKW sprechen von der Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte, wenn sie etwas über Emissionen veröffentlichen.

Tabelle 5: **Emissionsgrenzwerte für Biomasse-Feststofffeuerungen**

Anlagengröße	relevante Vorschrift	Bezugs- Sauerstoff (Vol.%)	Emissionsgrenzwerte				
			CO (g/m ³ _n)	Staub (mg/m ³ _n)	Ges. C ¹⁾ (mg/m ³ _n)	NO _x (mg/m ³ _n)	SO ₂ (g/m ³ _n)
Emissionsgrenzwerte bei der Verfeuerung von unbehandeltem Holz							
15 - 50 kW	1. BImSchV	13	4	150	-	-	-
50 - 150 kW	1. BImSchV		2	150	-	-	-
150 - 500 kW	1. BImSchV		1	150	-	-	-
500 - 1000 kW	1. BImSchV		0,5	150	-	-	-
1 - 5 MW	TA Luft	11	0,25	150	50	500	2,0
5 - 50 MW	TA Luft	11	0,25	50	50	500	2,0
Emissionsgrenzwerte bei der Verfeuerung von Stroh und ähnlichem pflanzlichen Material							
15 - 100 kW	1. BImSchV	11	4	150	-	-	-
0,1 - 5 MW	TA Luft		0,25	150	50	500	2,0
5 - 50 MW	TA Luft	11	0,25	50	50	500	2,0

¹⁾ Flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen werden als "Gesamt-Kohlenstoff" (Ges. C) angegeben.

Quelle: Hartmann/Strehler 1995

Für den Wamsler Thermoprozessor liegen genauere Emissionsdaten vor (siehe Tabelle unten), aber aufgrund seiner besonderen Konstruktion kann man seine Emissionsdaten nicht auf die häufiger angebotenen Gleichstromvergaser übertragen.

Tabelle 6: **Emissionsbilanz Holz/Öl bei der Holzvergasung des Wamsler Thermoprozessor**

Brennstoff	Schadstoffe in t/a oder kg/a								
	CO ₂ (t/a)	NO _x (t/a)	CO (t/a)	SO ₂ (t/a)	C _x H _y (t/a)	Partikel (t/a)	Blei (kg/a)	Zink (kg/a)	Cd (kg/a)
Holz	17.000	640	325	179	84	236	0	0	0
Öl	694.000	566	108	1492	374	55	149	149	14
Differenz	-677.000	+74	+217	-1313	-290	+181	-149	-149	-14

Quelle: Forum für Zukunftsenergien 1994

Um genauere Angaben über Emissionen in allen Lastzuständen zu erhalten, wird man auf Erfahrungen von Holzgas-BHKW im Dauerbetrieb warten müssen.

3 Technischer Stand und Marktreife von Vergasern

Tabelle 7: Übersicht mit Adressen der angesprochenen Hersteller

Lfd. #	Kürzel	Firmenname	Strasse	PLZ	Ort
1	ARCUS	ARCUS- Recycling Systeme GmbH	Schwarzer Mersch 2	49832	Freren
2	Artefact	Artefact	Bremsbergallee 35	24960	Glücksburg
3	ATES	ATES	Industriestrasse 6	15517	Fürstenwalde
4	DASAG	DASAG Energie Engineering Ltd.	Birchstraße 6	CH - 8472	Seuzach, Schweiz
5	DML	DML - Dieselmotorenwerke Leipzig GmbH	Heinrich-Heine-Strasse 35	04430	Böhlitz-Ehrenberg
6	Easymod	Easymod	Reifergang 5a	18356	Barth
7	EVN	Energie Versorgung Nord GmbH & Co KG	Schwennaustasse 19	24960	Glücksburg
8	Ensofor SA	Ensofor SA	Energia Solare e Forestale, via al Fiume Bedano TI	CH - 6986	Curio, Schweiz
9	Ferges	Ferges A.H.T. Inc.	Wildphal 5	51429	Bergisch-Gladbach
10	G.A.S.	G.A.S. Energietechnik GmbH	Hessenstrasse 57	47809	Krefeld
11	Gauchel	Gauchel, Manfred	Marienstrasse 1	97070	Würzburg
12	Grübl	Fa. Grübl Automatisierungstechnik	Stubenberg am See 213	A - 8223	Stubenberg am See, Österreich
13	H&C	H & C Engineering GmbH	Robert-Wilhelm-Bunsen-Strasse 5	51647	Gummersbach
14	HTV	HTV	Mittelgäustrasse 205	CH-4617	Gunzgen, Schweiz
15	Hugo Petersen	Hugo Petersen Umwelt Engineering	Dantestr. 4-6	65189	Wiesbaden
16	Imbert	Imbert Energietechnik	Bonner Str. 49	53919	Weilerswist

Lfd. #	Kürzel	Firmenname	Strasse	PLZ	Ort
17	Jenbacher	Jenbacher Energiesysteme AG	Achensee Str. 1-3	A - 6200	Jenbach, Österreich
18	Kopf	Kopf AG, Umwelt- und Energietechnik	Stützenstr. 6	72172	Sulz, Bergfelden
19	Köpke	Köpke, Manfred	Salzbergener Str. 97	48431	Rheine
20	Kuntschar + Schlüter	Kuntschar + Schlüter	Berghofstrasse 11	34466	Wolfhagen-Ippinghausen
21	MARTEZO	MARTEZO	237, route de Paris B.P. 419	86010	Pointiers CEDEX FRANCE
22	MFU	Mitteldeutsche Feuer- ungs- und Umwelt- technik GmbH	Händelstr. 14	04454	Holzhausen
23	MHB	Multifunktionale Heizungs- und Bau- systeme GmbH	Lindenstrasse 61 a	15517	Fürstenwalde
24	NRPyrolyse	Natur-Rohstoff Pyro- lyse GmbH (Finger)	An der Hecke Nr. 5	87647	Oberthingau
25	Steinmüller	L&C Steinmüller GmbH	Fabrikstr. 1	51643	Gummersbach
26	TU DK	Technical University of Denmark	Anker Engelunds- vej 1	DK-2800	Lyndgby, Dänemark
27	UET	UET - Umwelt- und Energietechnik GmbH	Frauensteiner Str 59	09599	Freiberg
28	UHDE	Krupp UHDE GmbH	Friedrich-Uhde- Str. 15	44141	Dortmund
29	Umsicht	Umsicht	Ostergelder Stras- se 3	46047	Oberhausen
30	Uni Kaisers- lautern	Universität Kaisers- lautern	Postfach 3049	67 653	Kaiserslautern
31	VER	VER - Verwertung und Entsorgung von Reststoffen GmbH	Kesseldorferstr. 216	01169	Dresden
32	Viesel	Viesel Apparatebau GmbH	Elschastr. 25	72 574	Bad Urach
33	Volund	Ansaldo Vølund A/S	Falkevej 2	6705	Esbjerg, Dänemark

In der Tabelle sind nur Adressen aufgelistet, die Holzvergaser-Systeme herstellen oder zusammenstellen und vertreiben (Packager).

Im Anhang ist eine Gesamtliste enthalten, die auch Adressen von Fachleuten ausweist und Hinweise enthält, wer mit wem kooperiert.

Im Bereich der Holzvergaser einen Überblick zu gewinnen, wird dadurch erschwert, dass für neue Projekte häufig Projektgesellschaften gegründet werden oder Planungsbüros in der Fachliteratur auftauchen.

Nicht immer ist sofort ersichtlich, welches Vergasersystem dahinter steht. Anschriften von Planern sind hier nur dann erwähnt, wenn der eigentliche Hersteller (oder Patentinhaber) nicht am Markt auftritt. Im folgenden werden alle Hersteller, Vertriebsfirmen oder Planer als Hersteller bezeichnet.

Der Kontakt zu den Herstellern wurde im Rahmen dieser Arbeit zunächst telefonisch gesucht, um zu überprüfen, ob die Unternehmen noch am Markt präsent sind. Falls neue Erkenntnisse zu erwarten waren, wurden Unterlagen angefordert.

Die Systeme werden mit folgenden Kriterien beschrieben:

- **Konstruktionsprinzip**
- **Brennstoffe und Nebenprodukte**
- **Messergebnisse**
- **Betriebserfahrungen und momentaner Stand**

3.1 Ergebnisse der Marktanalyse

3.1.1 ARCUS

Die Arcus-Recycling Systeme GmbH bietet schon seit einigen Jahren Vergaser an. Als Quelle dienen Firmeninformationen. Es sind keine vollständigen Daten oder Messergebnisse vorhanden.

Konstruktionsprinzip

Das Grundprinzip der Vergasers ist ein aufsteigender Gleichstromvergaser der von unten mit Brennstoff beschickt wird und bei dem das Gas oben austritt. Das Glutbett wird mit einem Rührsystem in Bewegung gehalten und die Asche mit einem Abräumarm beseitigt. Interessant ist, dass der Vergaser keine herkömmliche Gaskühlung hat, da heißes Rohgas im Motor genutzt wird.

Brennstoffe und Nebenprodukte

Es werden Holzhackschnitzel als Brennstoff verwendet.

Es können alle herkömmlichen Festbrennstoffe und Biomassen vergast werden. Der Feuchtegehalt ist mit kleiner 50 % angegeben. Der Brennstoffdurchsatz kann von 60 kg/h bei kleinen bis 240 kg/h bei größeren Anlagen ausgelegt werden.

Messergebnisse

Die angebotenen Anlagen haben eine Leistung von 80-320 kW_{el}. Der Teergehalt am des Rohgases soll durch Einsatz von Heißgasfiltern gering sein.

Sonstige Messergebnisse sind nicht veröffentlicht oder vorhanden.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Bei dem angebotenen Vergaser wird heißes Gas in den Motor gelassen. Mit dem Heißgas werden Versuche gefahren. Bisher nur Erfahrungen im eigenen Hause. Ein Ende der Entwicklungsphase ist noch nicht abzusehen.

3.1.2 Artefact

Artefact tritt nur noch als Bildungsakademie auf und ist Standort eines Holzvergaseres des Systems EVN. Entwicklung und Vertrieb über Energieversorgung Nord (EVN, s. 3.1.7).

3.1.3 ATES

ATES (Fürstenwalder Trainings- und Servicezentrum für alternative Energiesysteme)³³ vertreibt einen in Neuseeland entwickelten Vergaser. Dieser wurde als Versuchsanlage mit ca. 30 kW_{el} aufgebaut und entsprechend den gesetzlichen Anforderungen in Deutschland umgebaut. Ziel der Firma ist es, eine Anlage mit 500 kW_{el} (900 kW_{th}) zu vertreiben.

Konstruktionsprinzip

Das Grundprinzip ist ein absteigender Gleichstromvergaser.

Brennstoffe und Nebenprodukte

Der Versuchsvergaser war in 1995 für trockenes (15-20 % Feuchte) Stückholz geeignet und wurde in 2000 mit auch mit Holzhackschnitzel gefeuert. Der geplante kommerzielle Vergaser für die 500 kW_{el}- Anlage soll auch für Holzbriketts und Schnittholz mit einer maximalen Feuchte von 30 % geeignet sein. In dieser Anlage sollen dann 750 kg Brennstoff pro Stunde durchgesetzt werden. Da der Motor (ein Standard - BHKW) bisher keine Teerprobleme aufwies, wird angenommen, dass wenig Teer entsteht. Noch immer wird die Gasreinigung über Sägespäfilter erreicht. In 1998 mussten täglich das Sägespänbett erneuert werden. Angereicherte Späne werden wieder zugeführt. Ist in der Praxis ist dies nicht handhabbar.

Messergebnisse

Die kleine Versuchsanlage hatte bei der Vergasung von trockenem Stückholz (Restfeuchte 15 %) einen Vergasungswirkungsgrad von 70 % und einen elektrischen (thermischen) Wirkungsgrad von 13 % (bzw. 31 %). Die Automatisierung ist vorangeschritten. Betrieb mit MAN-Gasmotor nicht zufriedenstellend (Motor bringt statt 42 kW mit Erdgas mit Holzgas nur 20 kW_{el}). Der Vergaser mit 80 m³/h hat im Betrieb mit Motor bisher ca. 200 Betriebsstunden.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

³³ Früher mit Richter und der Firma MHB (Multifunktionale Heizungs- und Bausysteme GmbH)

Mit 30 kW Anlage bisher 1500 h Test der Pilotanlage. Mit der 500 kW Anlage gibt es in 2000 noch keine Betriebserfahrungen. Laut Hersteller in 2000 ist die 500 kW_{el} Anlage (1 MW_{th}) mit einem halben Jahr Lieferzeit lieferbar.

3.1.4 DASAG

Die Firma DASAG in der Schweiz will den Open Top Vergaser des Indian Institute of Science (IISci) für die Schweiz bzw. Europa vertreiben. Dazu baut sie einen Vergaser in der französischen Schweiz, um diesen unter schweizerischen Rahmenbedingungen zu testen.

Konstruktionsprinzip

Es handelt sich um einen absteigenden Gleichstromvergaser, bei dem zwei Drittel der Luft durch eine obere Öffnung ("open top") des Vergasers strömen. Das interessante an diesem Vergaser ist der von der ETH Zürich (Nussbaumer) gemessene geringe Teergehalt des Versuchsvergaser in Indien.

Brennstoffe und Nebenprodukte

Nach Hersteller kann jede Art von Holz mit Dichte über 250 kg/m³ genutzt werden. Während der Testphase in Indien wurden Buschholzstücke vergast. Sie hatten einen Durchmesser von 30 mm (80 mm Kantenlänge), eine Feuchte von weniger als 20 % und einen Aschegehalt kleiner 2 %. Wenn der Brennstoff mehr als 25 % Feuchtegehalt hat, muss der Vergaser mit trockenem Brennstoff angefahren werden. In 2000 wurden Holzhackschnitzel, Stückholz aber keine Späne verwendet. Der hervorzuhebende niedrige Teergehalt der Testanlage in Indien betrug 10-20 mg/m³ und der auch recht niedrige Partikelgehalt 50-90 mg/m³. Diese Messergebnisse sind für Leistungen größer 30 % der Nennleistung konstant.

Messergebnisse

Die Anlagen in Indien erzeugen je nach Anlagengröße 20-100 kW_{el} und 50-400 kW_{th}. Die im Bau befindliche Anlage in der französischen Schweiz soll 100 kW_{el} und ca. 450 kW_{th} leisten. Der Vergasungswirkungsgrad lag bei ca. 80 %. In 2000 soll es 5 und 500 kW Anlagen geben.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Bisher wurden mit der 5 kW Anlage ca. 10.000 Std. und der 500 kW Anlage ca. 2000 Betriebsstunden gefahren. Beide Anlagen sind mit einer Lieferzeit von 4-5 Monaten bestellbar.

3.1.5 DML

Die Firma existiert nicht mehr.

3.1.6 Easymod

Die Firma EASYMOD plante den von Michel-Kim entwickelten dreistufigen Vergaser als kommerzielle Anlage zu bauen.

Konstruktionsprinzip

Das Grundprinzip der Anlage ist ein aufsteigender Gleichstromvergaser. Das Besondere des EASYMOD-Vergasers ist seine Dreistufigkeit. Die Dreistufigkeit macht den Vergaser sehr komplex, was ihm gleichzeitig in der Literatur als Nachteil angelastet wird. Die Anlage besteht aus einem Unterschubvergaser, einem thermischen Cracker, einem Reduktionsreaktor und einer aufwendigen Gasreinigungsanlage (vgl. folgende Abbildung). Dieser Aufwand wird hauptsächlich deswegen betrieben um ein möglichst reines Gas zu erhalten.

Diese Dreistufigkeit macht es weiter möglich Ammoniak und in größerem Maße Kohle so auszuschcheiden, dass sie verwendet, bzw. vermarktet werden können. Ein weiterer Vorteil soll die Verhinderung von Schlackenbildung durch niedrige Temperatur ($< 1000^{\circ}\text{C}$) in den drei Reaktorteilen sein.

Brennstoffe und Nebenprodukte

Es können neben Holz und Altholz auch deponierbare Abfälle verwertet werden. Stroh und Agrarabfälle können beigemischt werden, wenn Holz einen Anteil von 70 % behält. Die optimale Kantenlänge des Holzes beträgt 60 mm. Feinkorn kleiner 10 mm Durchmesser darf einen maximalen Anteil von 50 % am Brennstoff haben. Der Brennstoffmassenstrom beträgt bei einem 3 MW Kraftwerk 920 kg/h. Der gemessene Teergehalt im Rohgas liegt nach Hersteller unter 10 mg/m^3 und die Reststaubgehalte bei weniger als $0,5 \text{ mg/m}^3$. Der Ammoniakanteil ist kleiner 5 mg/m^3 und Schwefelwasserstoff fällt mit ca. 2 mg/m^3 an.

Messergebnisse

Ein Kraftwerk mit 3 MW Vergaserausgangsleistung leistet 2 MW_{th} und $1,1 \text{ MW}_{\text{el}}$.

Der Vergasungswirkungsgrad liegt bei ca. 87 % und der Gesamtwirkungsgrad der Anlage mit BHKW bei ungefähr 85 %.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

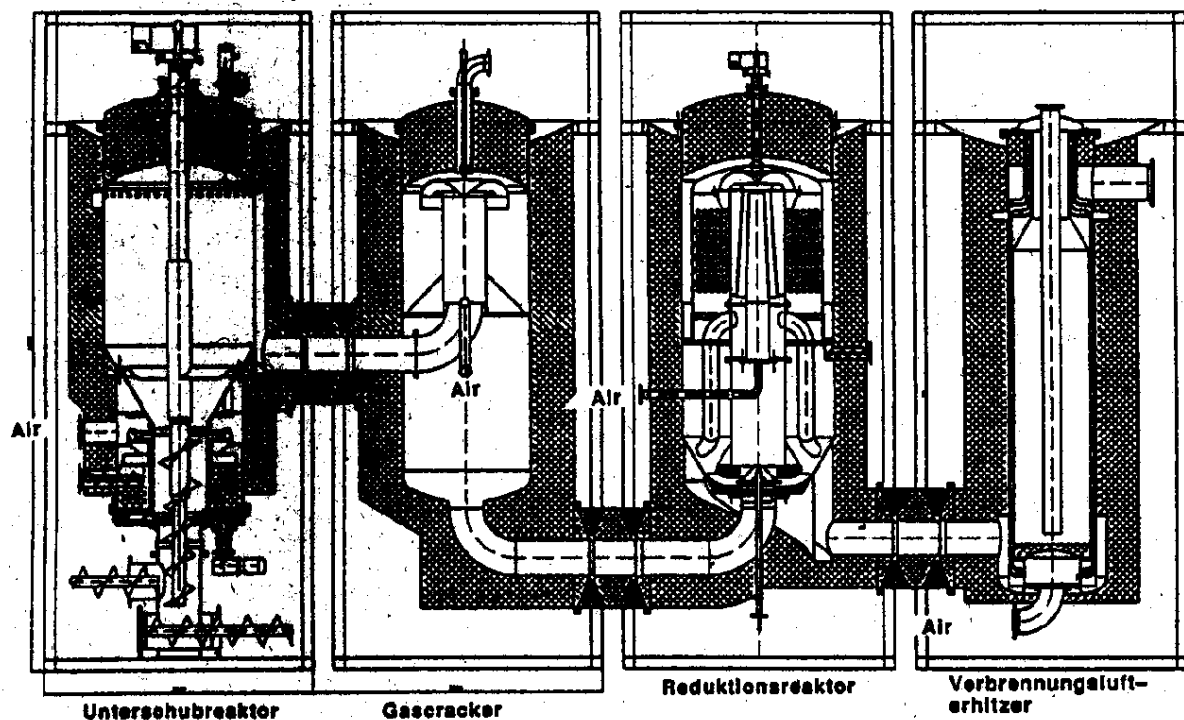
Es bestehen Betriebserfahrungen mit 5 Versuchsanlagen, von denen aber keine mehr betrieben wird, da es zu Problemen technischer und finanzieller Art kam.

Im Dezember 98 wurden Berichte veröffentlicht, in denen zwei neue Anlagen benannt sind:

In Boitzenburg an der Elbe und im mecklenburgischen Güstrow. Boitzenburg ist demnach im Probetrieb. Aufgrund der aufwendigen Technik ist der erfolgsversprechende Brennstoff kontaminiertes Alt- bzw. Abfallholz.

Keine der Anlagen haben je das Versuchsstadium verlassen.

Abbildung 18: Prinzipieller Aufbau des Easymodvergasers



Quelle: Herstellerangaben

3.1.7 EVN

Die Energieversorgung Nord GmbH & Co KG entwickelt den Ferges-Vergaser weiter und vertreibt Gesamtlösungen. Aus dem Schulungszentrum ARTEFAKT (vgl. Artefact) in Glücksburg hervorgegangen kann die Gruppe um Prof. Rehling zwei konkrete Projektierungen vorweisen. Zielrichtung ist auch das Energiecontracting mit einem Holzgas-BHKW.

Konstruktionsprinzip

Auszug aus der Verfahrensbeschreibung des Herstellers (s. www.evn.de Projekt Domsland)

Die Hackschnitzel werden über eine automatische Schleuse in den Reaktor eingespeist und durchlaufen anschließend folgende Prozesse (nach dem sogenannten Doppelfeuerungsverfahren):

Dieses Verfahren ist eine Kombination aus absteigendem und aufsteigendem Vergasungsverfahren mit zwei definierten Feuerzonen. In der oberen Zone erfolgt eine Verschwelung und anschließende Crackung der Schwelgase im Glutbett. In der unteren, über einem Rost angeordneten Zone, erfolgt unter Zugabe von Luft die Vergasung der sich immer wieder neu bildenden Holzkohle und eine Nachcrackung der im oberen Bereich erzeugten Gase.

Auf diese Weise wird ein sehr sauberes, von hochmolekularen Bestandteilen freies Gas erzeugt. Die Reaktionstemperatur in der oberen Feuerzone beträgt 1.100-1.200 °C, in der unteren Feuerzone ca. 900 °C.

Die Vergasung findet im Reaktor bei einem Unterdruck von -100 bis -300 mm WS statt. Die Gasaustrittstemperatur hinter dem Reaktor beträgt 400-500 °C.

Das dabei entstehende Gas weist folgende Zusammensetzung auf:

<i>CO:</i>	<i>17-20%</i>	<i>CnHm :</i>	<i>0,1-0,5%</i>
<i>H2 :</i>	<i>13-16%</i>	<i>N2 :</i>	<i>Rest.</i>
<i>CH4 :</i>	<i>0,5-2%</i>	<i>CO2 :</i>	<i>8-12%</i>

Nach Verlassen des Reaktors erfolgt eine Vergleichmäßigung und Teilentstaubung des Gases. Nach Erreichen eines motorfähig brennbaren Gases wird das Gas in einem Röhrenkühler auf eine Betriebstemperatur von 40 °C abgekühlt. Der Röhrenkühler wird mit Luft rückgekühlt, wobei die Abluft zur Holz Trocknung genutzt wird.

In der dem Röhrenkühler nachgeschalteten Gasreinigungsanlage wird das Gas bei einer Eintrittstemperatur von ca. 40 °C gewaschen. Als Gaswäscher wird ein Desintegratorwäscher verwendet, in dem das Gas durch Schlag- und Stoßbeaufschlagung unter Hinzufügung von Wasser intensiv gereinigt wird. Der Wäscher ist so ausgelegt, dass er die Absaugleistung zur Absaugung des Gases aus dem Reaktor und der nachgeschalteten Anlagenteile erbringt. In dem nachgeschalteten Tropfabscheider wird das Gas von den noch mitgeführten Wassertropfen befreit. Die Reinheit des Gases nach Verlassen der Gasreinigungsanlage liegt bei 10 mg/Nm³ Feststoff, wobei die Partikelgröße unter 1µm liegt. Das im Tropfabscheider abgeschiedene Wasser wird in einem Auffangbehälter gesammelt. Das Waschwasser wird im Kreislauf gefahren. Tritt durch höhere Holzfeuchtigkeit ein zusätzlicher Wasseranfall auf, wird dieser durch einen Überlauf abgeleitet und der Wasserverdampfungsanlage zugeleitet.

Die vom Waschwasser aufgenommenen Feststoffe werden wieder abgesondert und als Rückstand, der zu ca. 90% aus Kohlenstoff besteht, wieder dem Vergasungsgut beigemischt.

Brennstoffe und Nebenprodukte

Es wird Biomasse mit einem Feuchtegehalt von weniger als 20-25 Gew. %, Holzhackschnitzel und Späne mit einem Feinstoffgehalt von kleiner 10% verwendet.

Messergebnisse

Nach Herstellerangaben in 2000 ist das Gas hervorragend und hat einen Methangehalt von 0,5-1,6 Vol. % und ist teearm.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Eine Versuchsanlage ist seit Mai 1995 mit 20 kW in Betrieb. Seit April 2000 läuft eine erste kommerzielle Anlage als Demonstrationsobjekt in Eckernförde. Der Probetrieb lief bis Ende 2000, danach begann der Dauerbetrieb.

3.1.8 Ensofor SA

Ein von Jaccard entwickelter Vergaser lief im Winter 94/95 in einer Schule in der Schweiz mit 4.000 Stunden im Dauerbetrieb und automatischer Bestückung. Er wurde zu Heizzwecken genutzt.

Konstruktionsprinzip

Das Prinzip des Vergasers ist ein aufsteigender Gleichstromvergaser, bei dem der Brennstoff erst nach unten fällt und dann in einer rotierenden Schnecke im Inneren in die Oxidationszone transportiert wird. Das Gas steigt mit dem Brennstoff in der Schnecke auf bevor es den Vergaser verlässt (vgl. Abbildung).

Brennstoffe und Nebenprodukte

Nach Herstellerangaben wird Biomasse bis zu einer Feuchte von 25% genutzt. Interessant ist bei diesem Vergaser im Vergleich mit vielen anderen Vergasern, dass er für feinkörniges Material besonders geeignet ist. So dienen Mandelschalen, Oliven, Obstkerne, etc., aber auch Holz und landwirtschaftliche Rückstände als Brennstoff.

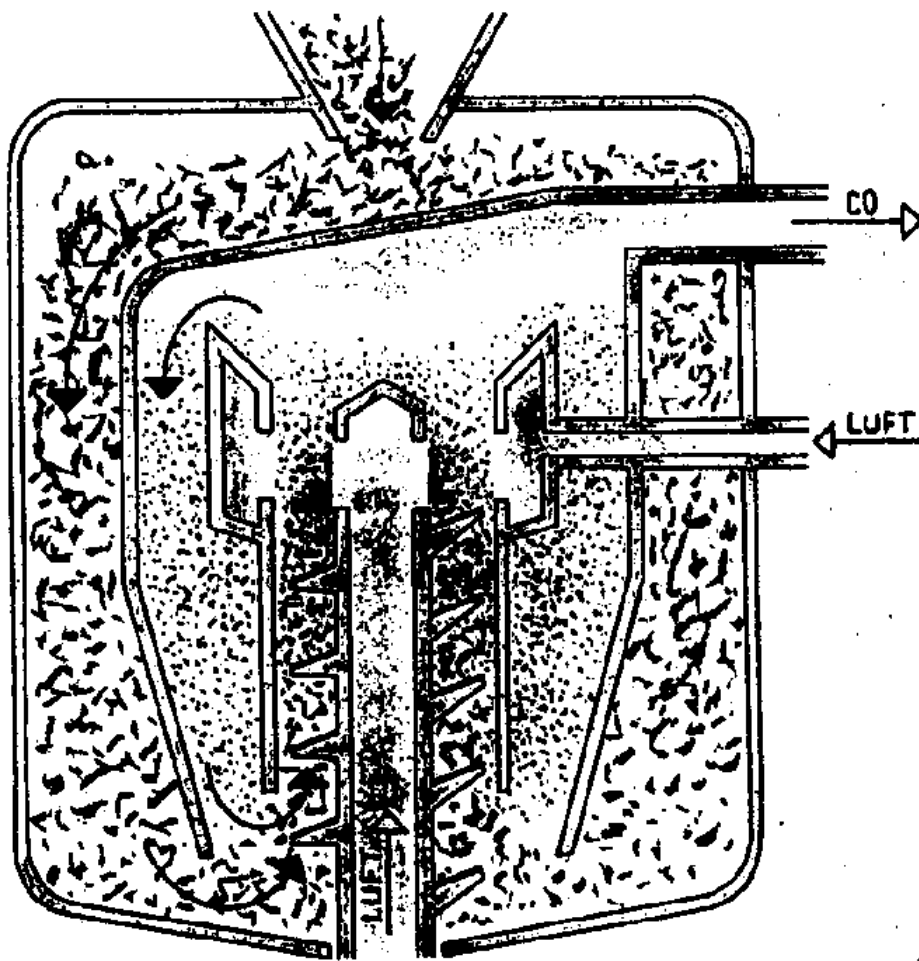
Messergebnisse

Während der Messungen der ETH Zürich (Nussbaumer) an einer Versuchsanlage mit 60 kW betrug der Feuchtegehalt des Brennstoffs ca. 13 %. Nach Nussbaumer wurden in der Versuchsanlage (60 kW Nennleistung) in Bedano (CH) ein Teergehalt von ca. 1300 mg/m³ und ein Partikelgehalt von ca. 1000 mg/m³ im Rohgas gemessen. Der Vergasungswirkungsgrad in der Schweizer Anlage wurde mit 50 bis 60 % und der elektrische Wirkungsgrad mit weniger als 17 % ermittelt. Die gemessenen Teer- und Partikelwerte des Ensoforvergasers sind sehr hoch.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Ende 1995 waren 3 weitere kommerzielle Anlagen im Bau, bzw. in der Testphase, für die jeweils eine BHKW-Kopplung vorgesehen war. 2 Demonstrationsanlagen waren in 2000 im Versuchsbetrieb mit denen verschiedene Brennstoffe getestet wurden. Lizenznehmer ist CCT in Italien. Es soll Anlagen mit bis zu 1,5 MW_{el} Leistung geben. Wenn die beiden Anlagen bei Mailand laufen können neue Bestellungen Ende 2000 entgegen genommen werden.

Abbildung 19: Grundschematische Darstellung des Ensoforvergaser



Quelle: Herstellerangaben

3.1.9 Ferges

Die Firma A.H.T Inc. bietet von Ferges entwickelte Holzgas-BHKW bis 500 kW_{el} an. Es gibt nach Herstellerangaben Referenzanlagen mit Motorkopplung in Brasilien und USA und zwei kommerzielle Anlagen in Deutschland, welche sich seit 1995 im Versuchsbetrieb befanden.

Konstruktionsprinzip

Es handelt sich hier im Prinzip um einen Gleichstromvergaser (Festbett- Mehrzonenvergaser), der ein Doppelfeuerungsverfahren benutzt. Das Verfahren wird auch als kombiniertes Gleich- und Gegenstromverfahren bezeichnet. Interessant ist beim Ferges-Vergaser, dass das anfallende Kondensat wieder in der Vergaserkreislauf gegeben wird und mit industrieller und im Vergaser erzeugter Aktivkohle gereinigt wird, bevor es abgeschieden wird.

Brennstoffe und Nebenprodukte

Nach Hersteller sind verschiedene feste Biomassen zulässig (stückiges oder pelletiertes Material mit einem Anteil Späne kleiner 60%), wobei der Vergaser auf Biomasse eingestellt bzw. konstruktiv angepasst werden muss.

Messergebnisse

Die Anlage in Glücksburg bei Flensburg ist für 100 kW_{th} und 25 kW_{el}, die Anlage in Neumarkt bei Nürnberg für 1 MW_{th} und 140 kW_{el} ausgelegt. Nach Herstellerangaben ist das erzeugte Gas teerfrei. Auch wenn in Ausnahmefällen Holz mit bis zu 80 % Feuchtigkeit vergast wurde, gab es keine Teerprobleme. In 2000 beträgt die Leistung 500 kW und 1200 Nm³/h an Gas.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Die Anlage in Neumarkt (1 MW_{th}) vergast bei einem Sägewerk Bauholz und Schalholz und ist seit Juni 1994 in Heizbetrieb. Die zweite deutsche Anlage in Glücksburg bei Flensburg, die mit einer Solaranlage gekoppelt ist, nutzt Heckenschnitt als Brennstoff. Seit 1982 haben verschiedene Anlagen ca. 2000-3000 Betriebsstunden. Die Verfügbarkeit für neue Anlagen in 2000 ist materialabhängig mit einer Lieferzeit für 100 kW von ca. 3 Monaten. In 2000 war ein Heizkraftwerk in Eckernförde in der Anlaufphase und eine andere Anlage in Lüttich/Belgien in der Montagephase.

Die Entwicklungen von EVN, Glücksburg, greifen auf den Ferges-Vergaser zurück. Für weitere Umsetzungen sind die Entwicklungen von EVN sehr interessant. Vgl. auch EVN.

3.1.10 G.A.S.

Konzeption von Holzgas-BHKW-Anlagen auf Grundlage des HTV-Vergasers aus der Schweiz, siehe 3.1.14.

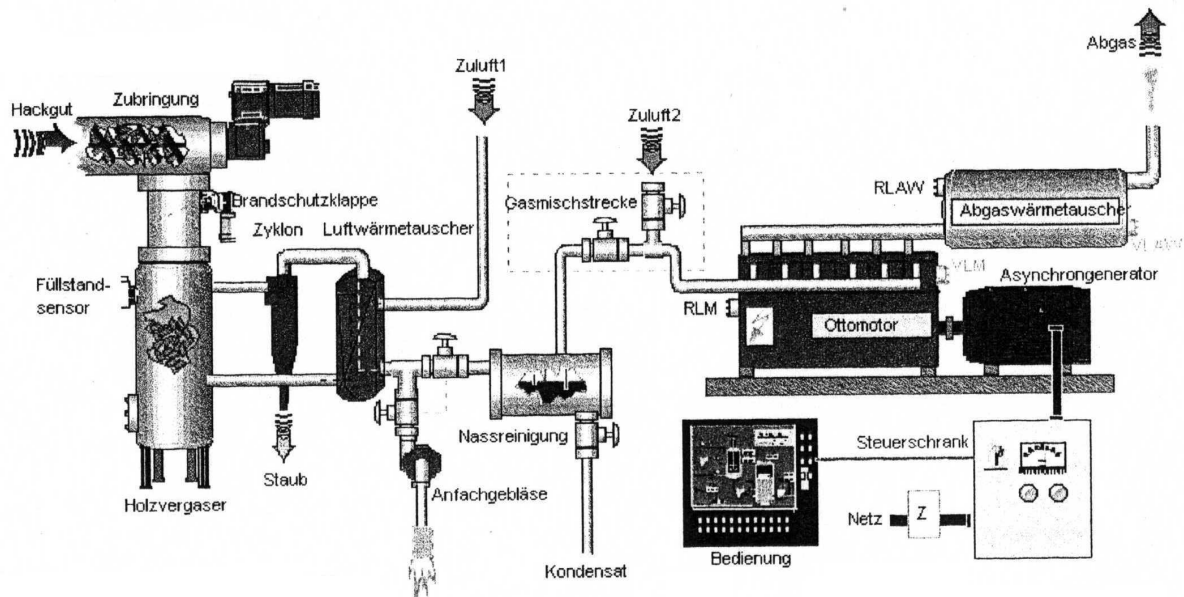
3.1.11 Gauchel

Herr Gauchel vertreibt Mini-Vergaser von 0,9 - 1,05 kW_{el}. Keine weiteren Angaben zu Betriebserfahrungen und technischen Details. Will Anlagen bis 1000 kW_{el} jederzeit liefern können.

3.1.12 Grübl**Konstruktionsprinzip**

Gleichstromvergaser mit nachgeschaltetem Zyklon, Heißgaskühler mit Zuluft und Gaswäsche mit Wasser, Ottomotor. Leistungsgröße 5 - 50 kW_{el} und 10 - 100 kW_{th}. Prinzipbild s. Abbildung 20.

Abbildung 20: Prinzipskizze des Holzvergasers System Grübl



Quelle: Herstellerangaben

Brennstoffe und Nebenprodukte

Holzhackschnitzel mit 15 – 35 % Feuchte. Kondensat aus der Gaswäsche muss entsorgt werden.

Messergebnisse

Keine bekannt.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Kleinserie produziert und verkauft, >4000 Betriebsstunden. Lt. Hersteller viele Aufträge.

3.1.13 H&C

Der allotherme (stationäre Wirbelschicht- Wasserdampfdruckvergaser) Vergaser der Deutschen Montan Technik (DMT) wird vom Ingenieurbüro H&C Engineering GmbH in Gummersbach weiterverfolgt.

Konstruktionsprinzip

Bei der hier zugrundeliegenden allothermen Vergasung wird eine Wirbelschicht im Vergaser geschaffen. Teile des Produktgases dienen zur Beheizung des Reaktors von außen. Die Vergasung findet im Reaktor mit 3 bar Druck und 600-800 °C statt. Vergasungsmittel ist Wasserdampf, gereinigt soll mit einer Wäsche werden.

Vorteile liegen nach Herstellerangaben im Gas mit hohem Wasserstoffanteil (d. h. guter Heizwert), geringer Staubfracht und geringem Teergehalt des Gases.

Brennstoffe und Nebenprodukte

Lt. Hersteller ist Zielbrennstoff Biomüll, Holz wird für Versuchsanlagen verwendet.

Messergebnisse

Es ist geplant Anlagen von 5-20 MW zu bauen.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Eine Technikumsanlage wird in Essen betrieben. Es besteht noch Entwicklungsbedarf.

bei Holz: Versuchsmaßstab. Lieferzeit für Anlagen beträgt in 2000 1-1,5 Jahre. Eine Biomüll-anlage mit 5MW ist 2000 in Planung.

3.1.14 HTV

Die Firma HTV Energietechnik AG in der Schweiz hat in fünf Versuchsanlagen langjährige Erfahrungen (seit 1985) mit Vergasung von Holz. In 1995 war eine Anlage in Steinmaur war ca. 2.000 Stunden zu Heizzwecken in Betrieb und wurde hauptsächlich mit Altholz betrieben. 200 Stunden wurde mit dem erzeugten Schwachgas ein BHKW betrieben. Aufbauend auf den dabei gesammelten Erfahrungen wurde eine Versuchsanlage in Kestenholz gebaut. Diese war im Jahr 1994 ca. 500 Stunden in Betrieb und wurde August 1995 nach mehreren Umbauten mit einem marktgängigen BHKW in Betrieb genommen. Das Ziel war die industrielle Reife der Anlage nachzuweisen.

Konstruktionsprinzip

Als Basis für diesen absteigenden Gleichstromvergaser diente ein Imbertvergaser. Die Besonderheit am HTV- Vergaser ist sein verstellbarer und sich drehender Gegenkegel, der die Aufgabe eines Rostes bei üblichen Vergasern einnimmt (vgl. folgende Abbildung). Ferner besteht sein Luftrohr aus einer Hochtemperatur - Keramik, die bis zu 2000 °C standhält. Es wurden nach den ersten Versuchen in Kestenholz 1994 umfangreiche Veränderungen an der Kernzone des Vergasers vorgenommen.

Interessant bei dieser Vergaserkonstruktion ist die Rückführung der fühlbaren Wärme des Rohgases, die nach der Kühlung zur Verfügung steht, in den Reaktor. Hiermit ergibt sich insbesondere eine höhere Stromkennzahl als in vergleichbaren Anlagen.

Brennstoffe und Nebenprodukte

Es sollen naturbelassenes Holz, Biomasseabfall und insbesondere Holzhackschnitzel und Altholz verwendet werden. Eine gewisse Stückigkeit des Brennstoffes sollte vorhanden sein.

Messergebnisse

Die letzten Versuche in Kestenholz wurden wie oben beschrieben mit einer Vergasernennleistung von 700 kW aber ebenfalls mit 450 kW durchgeführt. Hierbei kam es zu recht unterschiedlichen Werten beim Teer- und Partikelgehalt, was auf die unterschiedlichen Brennstoffe und Feuchtigkeiten zurückzuführen ist.

In der 700 kW Anlage (70-100 kW_{el}) wurde ein Teergehalt von 85 mg/m³ gemessen, im Gegensatz zu 2780 mg/m³ in der 450 kW Anlage. Staub wurde hingegen in der 700 kW Anlage 1880 mg/m³ und in der 450 kW Anlage 2380 mg/m³ gemessen³⁴.

³⁴ Siehe VDI/Diekmann

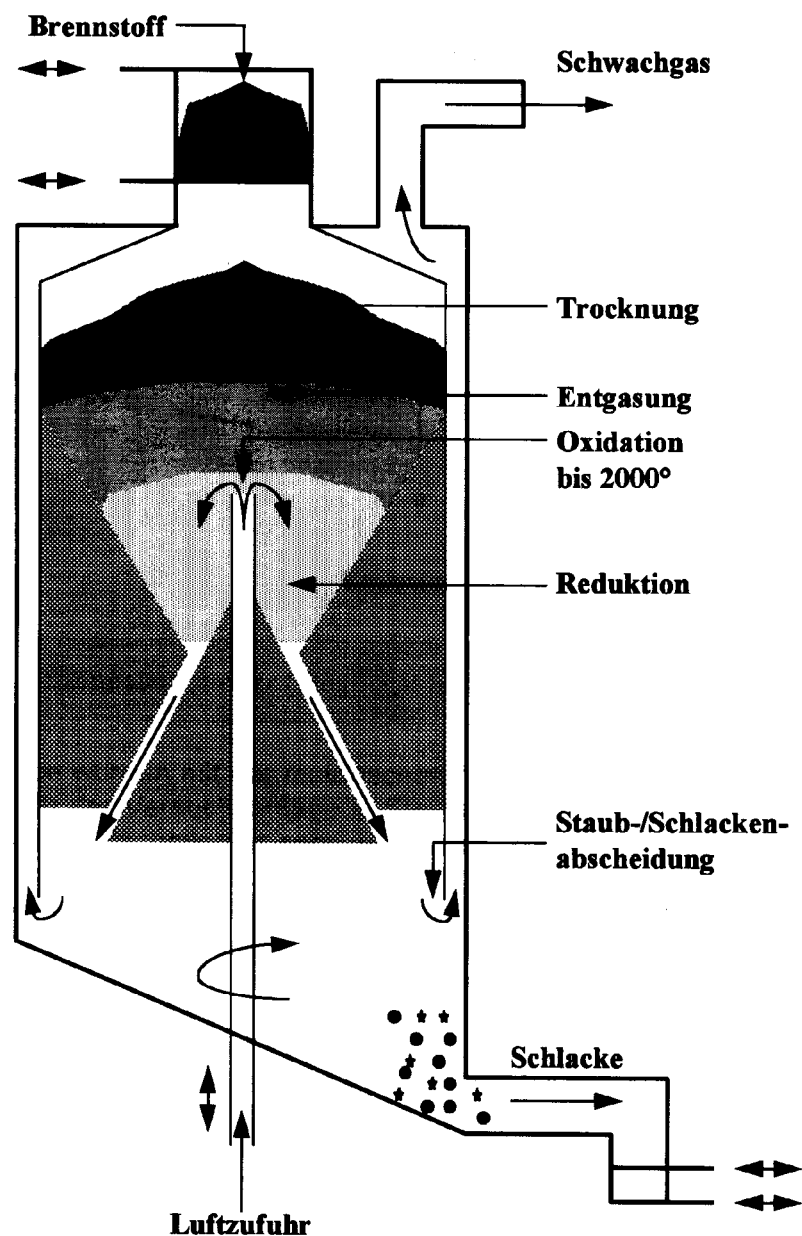
Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Die im August 1995 in Betrieb genommene und umgebaute Anlage in Kestenholz hat eine Nennleistung von 1000 kW und wurde nach Inbetriebnahme einem Dauertest (150 h) unterzogen. Die Versuchsanlage erzeugte 100 kW_{el} mit Waldholz und 75 kW_{el} mit Altholz.

In 1995 wurde die Anlage auf 200-250 kW_{el} ausgebaut und mit Rauchgasreinigungsmechanismen und Turbolader ausgebaut.

In 2000 keine neuen Informationen über diesen Vergaser und das Unternehmen.

Abbildung 21: Innerer Aufbau des HTV-Juch Vergasers



Quelle: Herstellerangaben

3.1.15 Hugo Petersen

1995 hat die L. & C. Steinmüller GmbH, vorübergehend durch das Tochterunternehmen Hugo Petersen, Wiesbaden, die WAMSLER Technologie übernommen. Die Firma Wamsler Umwelttechnik GmbH hatte die Rechte an einem Vergasertyp erworben, der vom Kernforschungszentrum Jülich ursprünglich zur Entsorgung atomarer Abfälle entwickelt wurde.

Konstruktionsprinzip

Dieser Vergaser basiert auf dem absteigendem Gleichstromprinzip, bei dem um den Kipprost eine Wirbelschichtnachvergasung stattfindet (vgl. folgende Abbildung).

Brennstoffe und Nebenprodukte

Nach Nussbaumer wird naturbelassenes Holz vergast. Es hat Kantenlängen von 10-100 mm und eine Feuchtigkeit 15-20 % (nach Diekmann/VDI bis 50 %). Ziel ist es, Altholz zu vergasen, um in den Bereich der Wirtschaftlichkeit zu kommen, da Altholz kostenfrei ist oder sogar entsorgt werden muss.

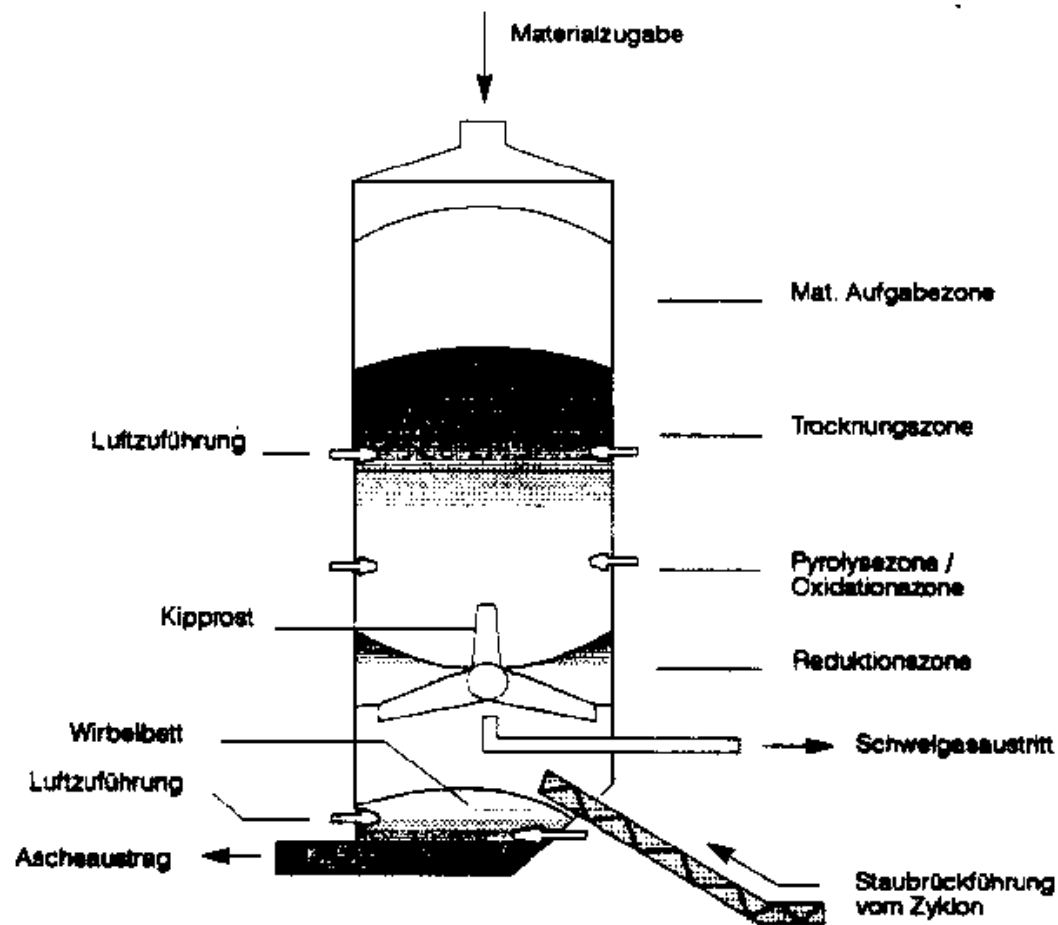
Messergebnisse

Der Teergehalt ist nach Herstellerangaben (Juli 1995) mit rund 370 mg/m^3 noch zu hoch für einen dauerhaften Motorbetrieb. Der Partikelgehalt liegt bei 30 mg/m^3 . Der Vergasungswirkungsgrad beträgt 70 % und der Gesamtwirkungsgrad bzw. elektrische Wirkungsgrad der Anlage 20-25 %.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Die kommerzielle Holzgas-Anlage mit rein thermischer Nutzung des Gases hatte in 1998 insgesamt 26.000 Betriebsstunden geleistet. Mit einer Vergaserleistung von 1500 kW liefert sie Nutzwärme bis etwa 1200 kW. Die Anlage wird von der Büromöbelfabrik Werndl in Rosenheim betrieben. Die Abgaswerte (nach Verbrennung) unterschreiten die geforderten TA-Luft-Werte deutlich.

Keine neuen Herstellerangaben in 2000.

Abbildung 22: *Prinzipieller Aufbau des Wamsler Thermoprozessors*

Quelle: Herstellerangaben

3.1.16 Imbert

Der Vergaser der Firma Imbert Energietechnik ist seit den dreißiger Jahren fast unverändert im Einsatz. In Deutschland gibt es keine Referenzanlagen mehr, da die letzte Anlage in den achtziger Jahren aus Umweltschutzgründen (Entsorgung des Abwassers) stillgelegt wurde.

Andere Anlagen sind nur in den Entwicklungsländern in Betrieb.

Weiter hat der Imbertvergaser sehr hohe Brennstoffanforderungen, welche es nicht erlauben im größten Anwendungsbereich von Holzvergäsern (Holzhackschnitzel aus Rest- und Altholz) zu arbeiten.

Konstruktionsprinzip

Es handelt sich hier um den "klassischen" absteigenden Gleichstromvergaser, der in der Nachkriegszeit häufig benutzt wurde und dessen Prinzip als Basis für eine Reihe anderer Vergaser dient.

Brennstoffe und Nebenprodukte

Das Material soll stückig (bis 5 cm Kantenlänge) und möglichst von gleicher Größe sein. Es sollte nur geringfügig feinkörniges Material beigemischt werden. Es können weder Holzhackschnitzel genutzt, noch Verunreinigungen hinzugegeben werden und der Feuchtegehalt sollte 20 % nicht überschreiten, keine Späne.

Messergebnisse

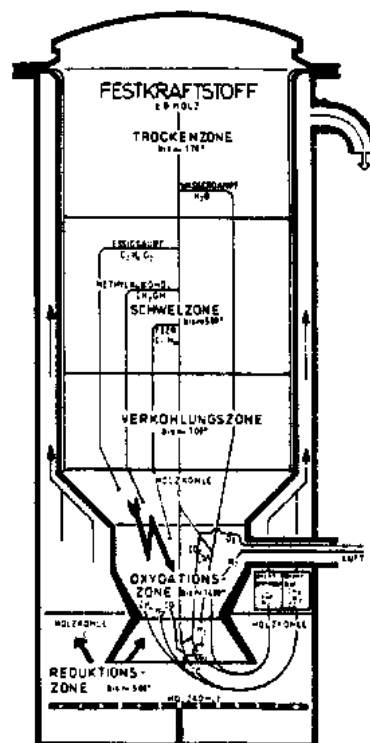
Keine bekannt.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

In den letzten Jahren wurden nur in den Entwicklungsländern Vergaser installiert, welche teilweise in 24 Std. Betrieb sind.

Ende 1995 plante Imbert nach Firmeninformationen eine Anlage in Genthin bei Magdeburg, welche 4,5 MW_{el} leisten sollte. Nach Angaben in 2000 ist eine Anlage in den neuen Bundesländern geplant. Die Lieferzeit soll 8 bis 12 Monate betragen.

Abbildung 23: *Grundschema des Imbertvergasers*



Quelle: Herstellerangaben

3.1.17 Jenbacher

Die Firma Jenbacher baut keine Vergaser und ist Motorenhersteller und hat insb. mit Wamsler (heute Hugo Petersen) zusammengearbeitet. Anlagen von 200 kW - 2 MW.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Nach Hersteller gibt es eine Reihe von EU-Projekten und Versuchsanlagen, die bis 2000h gelaufen sind. Eine kommerzielle Anlage läuft in DK (Volund-Vergaser, vgl. Volund); Der Jenbachmotor ist 300 Std. gelaufen. Die Marktfähigkeit wird als ungewiss eingeschätzt.

3.1.18 Köpke

Die Firma Köpke entwickelt seit einigen Jahren Holzvergaser und baute eine Holzgas-BHKW-Versuchsanlage in der Schweiz. Zwischen 1990 und 1993 ist der Vergaser betrieben worden.

Firmenunterlagen sind keine verfügbar. Auch in der Literatur findet man keine Angaben, so dass sich alle Angaben auf telefonische Auskünfte stützen.

Kleine Vergaser (um 90 kW) sollen ca. 100.000,- DM und große (bis 960 kW) ca. 700.000,- DM kosten.

Konstruktionsprinzip und Brennstoff:

Es handelt sich um einen Gleichstromvergaser. Der Vergaser soll an einen Stirlingmotor gekoppelt werden.

Es sollen hauptsächlich Holzspäne (auch Altholz), Papier, Klärschlamm, Gülle als Feststoff und Müll verwertet werden.

Kosten für Vergaser wurden 1996 mit 100.000,- DM (90 kW); 700.000,- DM (960 kW) angegeben.

Messergebnisse:

Die Versuchsanlage leistete nach Herstellerangaben 100-150 kW_{th} und nur 12-20 kW_{el}. Es soll fast kein Teer entstanden sein.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand:

Nach Herstellerangaben wurde der Vergaser 1990-93 kontinuierlich betrieben. Betriebsergebnisse wurden keine veröffentlicht. Zur Zeit ist eine Anlage zur Vergasung von Hähnchenmist in Holland in Planung.

Nach einer weiteren Entwicklungsphase sollen in 2001 Bestellungen aufgenommen werden.

3.1.19 Kopf AG

Die Kopf AG, Umwelt- und Energietechnik, Sulz-Bergfelden, entstammt dem Anlagen- und Apparatebau und verfolgt zwei Produktlinien der Holzvergasung:

1. Beteiligung am Wirbelschichtvergaser von UMSICHT (s. dort)
2. Eigene Festbettvergasung.

Das Anlagenkonzept sieht eine Kombination von Gegenstrom- und Gleichstromvergaser vor. Zunächst wird der Brennstoff in einem Gegenstromvergaser umgesetzt. Das teerreiche Gas wird dann in einen Gleichstromvergaser geleitet, der mit gut konfektioniertem Holzbrennstoff beschickt wird. Anschließend wird das Gas kalt gereinigt.

Die Anlage ist als Technikumsanlage aufgebaut und muss von Hand beschickt werden.

Entwicklungen zur Automatisierung laufen. (vgl. Landesgewerbeamt, Baden-Württemberg, 1998).

3.1.20 Kuntschar & Schlüter

Die Firma Kuntschar & Schlüter möchte mit dem Ingenieurbüro Wennemar ein Holzgas-BHKW auf den Markt bringen. Es liegen nur telefonische Auskünfte des Ingenieurbüro Wennemar vor.

Konstruktionsprinzip und Brennstoff:

Das Prinzip ist ein Gleichstromvergaser, mit dem hauptsächlich Klärschlamm vergast werden soll. Der Klärschlamm muss als getrocknetes Granulat aufbereitet sein. Als Brennstoffe können auch Holzhackschnitzel eingesetzt werden. Späne funktionieren nicht.

Technische Daten der Versuchsanlage entsprechend Herstellerangaben

Biomasseeintrag	50 kg/h
Vergaserleistung	150 kW _{Brennstoff}
Gasnennleistung	130 Nm ³ /h
elektrische Leistung	30 kW _{el} netto
thermische Leistung	65 kW _{th}

Gaswäsche mit Gegenstromwäscher. Kühlung von ca. 600 °C auf etwa 40 °C.

Zündstrahldieselmotor von Perkins.

Kosten werden mit etwa 350.000 DM für diese Anlage angegeben.

Messergebnisse:

Die Anlage soll bis 200 kW_{th} und 50 bis 60 kW_{el} leisten. Das Teerproblem ist nach Herstellerangaben gelöst.

Reststoffe: Kondensat mit Klärschlamm ca. 15-20 Liter / t BS

Betriebserfahrungen und momentaner Stand:

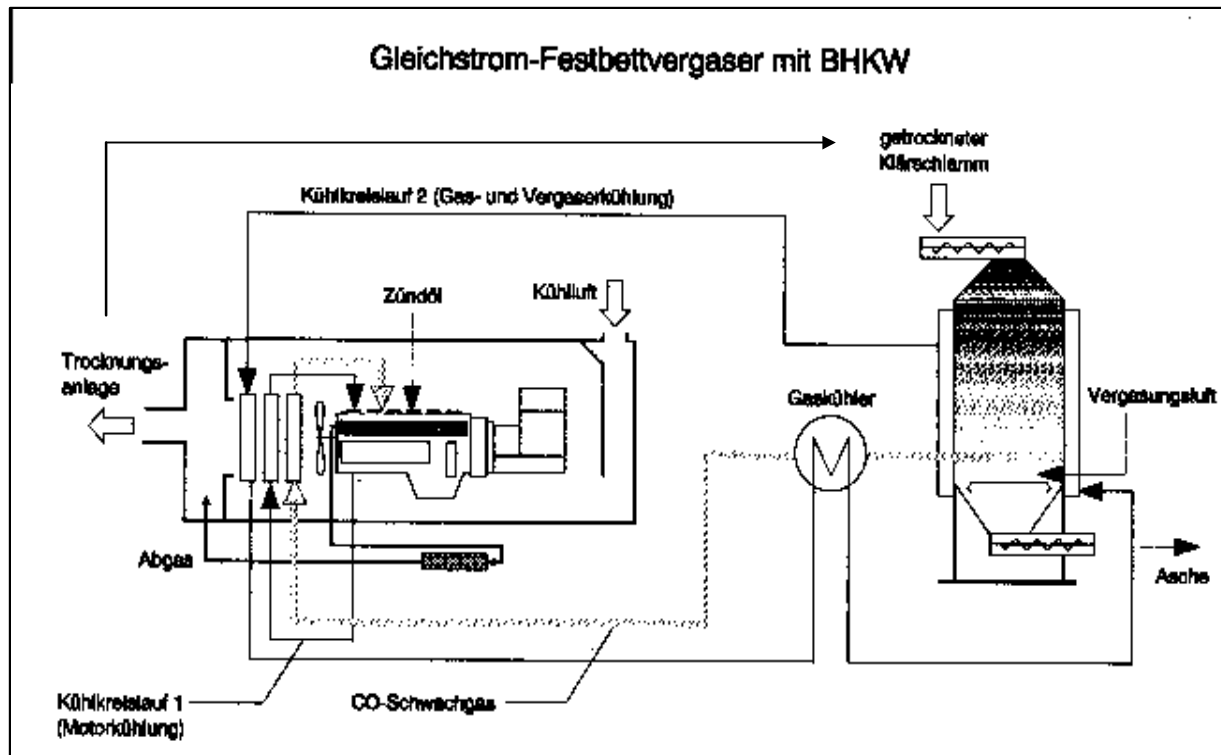
Technische Anfragen sind an das Ingenieurbüro Wennemar in Herzebrock zu stellen.

Das System ist als Container-Lösung für den direkten Einsatz bei einer Kläranlage vorgesehen.

Betrieb einer Pilotanlage in Herzebrock-Clarholz

Im Werk wurde der Vergaser ca. 1000 Stunden mit Holz betrieben. Aktuell liegen mehrere Anfragen vor, die bearbeitet werden. Lieferzeit 6 Monate.

Abbildung 24: Aufbau der Anlage von Kuntscher & Schlüter



Quelle: Herstellerangaben

3.1.21 Martezo

Die Firma MARTEZO ist ein französischer Vergaserhersteller, der nach Firmeninformationen in Frankreich zwei Referenz-Holzgas-BHKW in Betrieb hat. Eine Anlage ist nach Dänemark verkauft worden und befindet sich dort in einer Test- und Messphase. Es liegen Firmenprospekte und Angaben in der Literatur vor (Nussbaumer, Diekmann/VDI)

Konstruktionsprinzip:

Das Grundprinzip ist ein Gleichstromvergaser, eine Weiterentwicklung des alten Imbert-Vergasers.

Brennstoff:

Es werden Holzstücke und pflanzliche Abfälle verwertet, die stückig sein und eine Kantenlänge von 3 - 15 cm haben sollen (deshalb keine Holzhackschnitzel). Der maximale Feuchtegehalt ist mit weniger als 20 % angegeben. Es muss eine gute Belüftung des Brennstoffs gegeben sein.

Messergebnisse:

Die Anlage in Laruscade (F) hat 90 kW_{el} und ca. 200 kW_{th} Leistung abzugeben, die Anlage in Chevanceaux (F) 170 kW_{el} und ca. 400 kW_{th}.

Die Anlage in Dänemark hat eine Leistung von 160 kW_{el}. Der Staubgehalt dieser Anlage beträgt nach Hersteller ca. 0,3 mg/m³. Der elektrische Wirkungsgrad liegt bei 19 %.

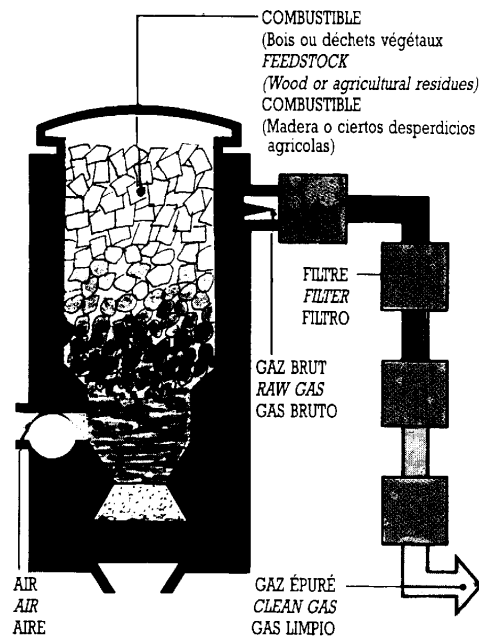
Betriebserfahrungen und momentaner Stand:

Es können in diesem Vergaser bisher keine Holzhackschnitzel vergast werden, was einen großen Nachteil darstellt.

Die beiden Anlagen in Frankreich haben nach Herstellerangaben 39.0000 Stunden Betrieb hinter sich.

Lieferzeiten werden mit 6-8 Monaten angegeben, Ziel ist jetzt eine Kommerzialisierung.

Abbildung 25: Prinzipschema des Martezovergasers



Quelle: Herstellerangaben

3.1.22 MFU**Konstruktionsprinzip**

Als Schichtofen bezeichneter Gleichstromvergaser. Zielgröße sind sowohl Anlagen unter als auch über 5 MW Feuerungswärmeleistung.

Brennstoffe und Nebenprodukte

Nach Herstellerangaben können Holzhackschnitzel und Müll bis zu einem Feinanteil (Partikel bis 50 mm) von 20% vergast werden.

Messergebnisse

Keine veröffentlicht.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Versuchsanlage bereits mehrere Male im Betrieb gewesen. Laut Herstellerangaben laufen Genehmigungsverfahren.

3.1.23 MHB

Die Firma MHB (Multifunktionale Heizungs- und Bausysteme GmbH) vertreibt einen in Neu-seeland entwickelten Vergaser. Dieser wurde als Versuchsanlage mit ca. 30 kW_{el} aufgebaut und entsprechend den gesetzlichen Anforderungen in Deutschland umgebaut. Die Anlage steht in Fürstenwalde und wurde im August 1995 besichtigt. Ziel der Firma ist es, eine Anlage mit 500 kW_{el} (900 kW_{th}) zu vertreiben. Der Vergaser wird auch in Weiterbildungen der ATES (Fürstenwalder Trainings- und Servicezentrum für alternative Energiesysteme) eingebunden.

Diese Anlage soll zwischen 3500,- DM und 4000,- DM pro kW_{el} kosten. Als Quelle dienen Firmeninformationen.

Konstruktionsprinzip und Brennstoff:

Das Grundprinzip ist ein Gleichstromvergaser.

Der Versuchsvergaser ist zur Zeit (August 1995) für trockenes (15-20 % Feuchte) Stückholz geeignet. Der geplante kommerzielle Vergaser für die 500 kW_{el}- Anlage soll auch für Holzbriketts und Schnittholz mit einer maximalen Feuchte von 30 % geeignet sein. In dieser Anlage sollen dann 750 kg Brennstoff pro Stunde durchgesetzt werden.

Die Gasreinigung erfolgt über Sägespänefilter. Täglich muss das Sägespänebett erneuert werden. Angereicherte Späne werden wieder zugeführt. Ist in der Praxis nicht handhabbar. Es besteht noch Entwicklungsbedarf.

Zielgröße sind Anlagen unter 5 MW.

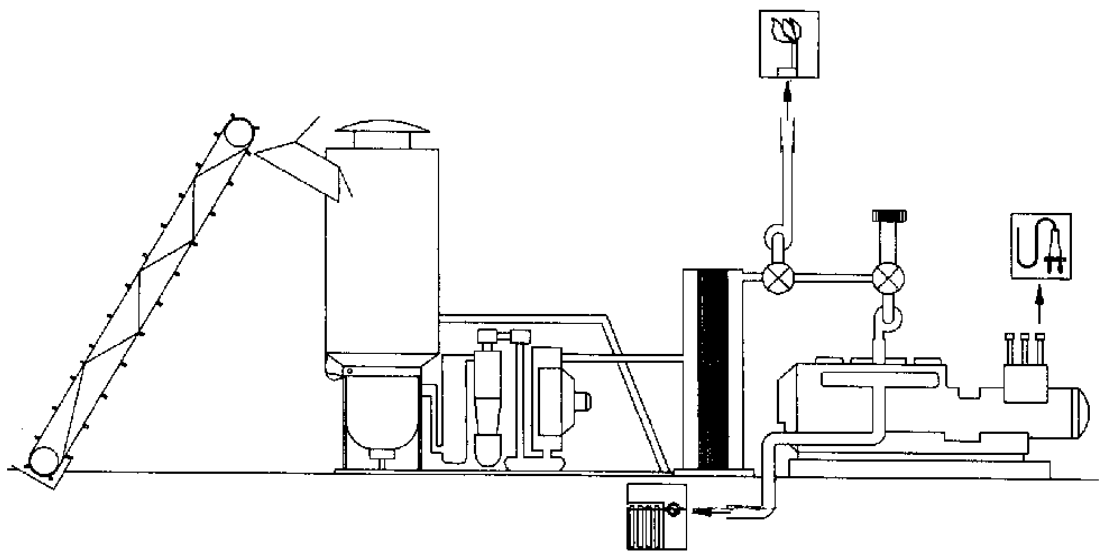
Messergebnisse:

Die kleine Versuchsanlage hatte bei der Vergasung von trockenem Stückholz (Restfeuchte 15 %) einen Vergasungswirkungsgrad von 70 % und einen elektrischen (thermischen) Wirkungsgrad von 13 % (bzw. 31 %). Es wurden bis Ende 1995 keine Teermessungen vorgenommen. Da der Motor (ein Standard - BHKW) bisher keine Teerprobleme aufwies, wird angenommen, dass wenig Teer entsteht. Der NO_x-Gehalt ist gering, aber der CO-Ausstoß war im August 1995 noch zu hoch. Das Kondensat kann bislang nicht eingeleitet werden, da es zu hohe Belastungen aufweist.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand:

Es sind Erfahrungen mit dem Versuchsvergaser (30kW) über 1000 Stunden vorhanden, mit dem in dieser Phase Tests durchgeführt und Betriebsstunden gesammelt werden. Die geplante 500 kW_{el} Anlage soll zeigen, ob ein "upscaling" keine Probleme bereitet und wie sich in dieser Anlage Teer, Partikel, Kondensat und Schadstoffe verhalten.

Abbildung 26: Geplanter Anlagenaufbau des MHB-Vergasers



Quelle: Herstellerangaben

3.1.24 NRPyrolyse

Die Firma Natur-Rohstoff-Pyrolyse GmbH aus Oberthingau beschäftigt sich in Kooperation mit Viesel Apperatebau, Bad Urach, mit der Reinigung des Produktgases.

Haben neben den Projekten mit Viesel an einem Wanderbettvergaser mit geschlossenen Rohr-schlangen gearbeitet, der mit Holzpellets betrieben werden soll.

Konstruktionsprinzip

Wendelrohr-Vibrations-Vergaser

Ein katalytischer Porenbrenner ermöglicht einen guten Ausbrand. Zielrichtung ist jedoch die thermische Nutzung des Gases zur Dampferzeugung, um gegebenenfalls einen Dampfmotor zu betreiben. Dann ist diese Technik nicht der Holzvergasung sondern mehr der Verbrennungstechnik zuzuordnen.

Vergaser mit 40 kW und 50 Nm³ Gas pro Stunde lief bisher 670 Betriebsstunden.

Brennstoffe und Nebenprodukte

Holzspäne, Holzmehl, -pellets. Kein stückiges Holz, keine frischen Hackschnitzel.

Messergebnisse

Keine verfügbar.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Vergaser mit 40 kW und 50 Nm³ Gas pro Stunde lief bisher 670 Betriebsstunden.

Bestellungen können in 2001 angenommen werden. Bisher 3 Anlagen verkauft, die jetzt gebaut werden.

3.1.25 Steinmüller

Die Firma Wamsler Umwelttechnik GmbH hat die Rechte an einem Vergasertyp erworben, der vom Kernforschungszentrum Jülich ursprünglich zur Entsorgung atomarer Abfälle entwickelt wurde. Der Vergaser soll nach den Ansprüchen der Firma Wamsler umgebaut und für die Vergasung von Rest- und Altholz eingesetzt werden. Die Entwicklungsarbeiten dieses Vergasers, der heute unter dem Namen "Wamsler Thermoprozessor" bekannt ist, wurde 1995 von *L. & C. Steinmüller GmbH* übernommen, der einige Millionen DM in das Vergasungssystem investieren will.

Wamsler wird bei seiner Arbeit von einem Förderprogramm der EU unterstützt. Von einigen Fachleuten auf dem Gebiet der Holzvergasung wird Wamsler als aussichtsreichster Kandidat gehandelt, der bald eine marktreife Holzvergasungsanlage auf den Markt bringen könnte.

Für eine komplette Anlage mit BHKW ist nach Firmenangaben mit Kosten von 8000,- DM/kW_{el} zu rechnen. Hierbei sind rund 2000,- DM/kW_{el} für Vergaser und 6000,- DM/kW_{el} für Gasaufbereitung und BHKW veranschlagt. Dies kann sich nach Firmeninformationen nur bei Brennstoffkosten von "Null" (z.B. Altholz) rentieren.

Als Quellen dienten Firmeninformationen, Nussbaumer und Diekmann/VDI.

Konstruktionsprinzip:

Dieser Vergaser basiert auf dem absteigendem Gleichstromprinzip, bei dem um den Kipprost eine Wirbelschichtnachvergasung stattfindet (vgl. folgende Abbildung).

Kosten wurden 1996 zu rund 8000,- DM/kW_{el} angegeben.

Brennstoff:

Nach Nussbaumer wird naturbelassenes Holz vergast. Es hat Kantenlängen von 10-100 mm und eine Feuchtigkeit 15-20 % (nach Diekmann/VDI bis 50 %). Ziel ist es, Altholz zu vergasen, um in den Bereich der Wirtschaftlichkeit zu kommen, da Altholz kostenfrei ist oder sogar entsorgt werden muss.

Messergebnisse:

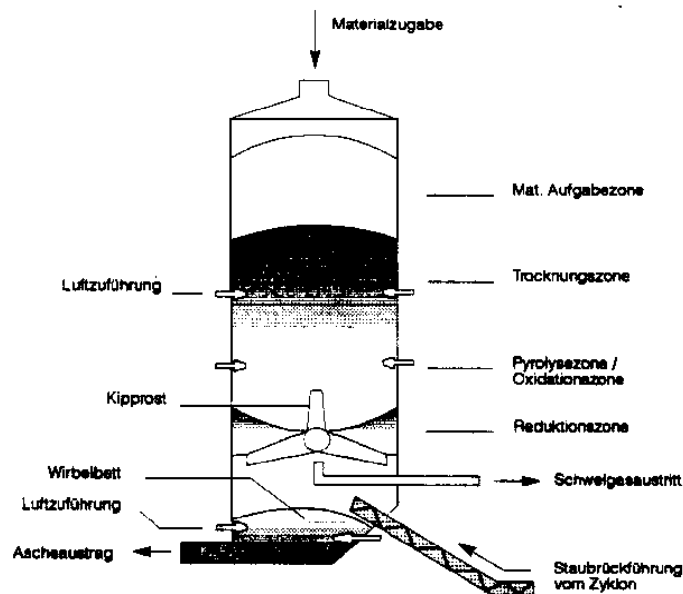
Der Teergehalt ist nach Herstellerangaben (Juli 1995) mit rund 370 mg/m³ noch zu hoch für einen dauerhaften Motorbetrieb. Der Partikelgehalt liegt bei 30 mg/m³. Der Vergasungswirkungsgrad beträgt 70 % und der Gesamtwirkungsgrad bzw. elektrische Wirkungsgrad der Anlage 20-25 %.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand:

Die kommerzielle Holzgas-Anlage mit rein thermischer Nutzung des Gases hat zum Stand 12.97 insgesamt 26.000 Betriebsstunden geleistet. Mit einer Vergaserleistung von 1500 kW liefert sie Nutzwärme bis etwa 1200 kW. Die Anlage wird von der Büromöbelfabrik Werndl in Rosenheim betrieben. Die Abgaswerte (nach Verbrennung) unterschreiten die geforderten TA-Luft-Werte deutlich. Diese Betriebsstunden wurden fast durchgehend im vollautomatischen 24 Std. Dauerbetrieb erreicht.

Der Hersteller hält die Verfügbarkeit für sehr gut, zur Zeit wird eine 600-kW-Versuchsanlage mit Stromerzeugung in Ostdeutschland projektiert

Abbildung 27: Prinzipieller Aufbau des Wamsler Thermoprozessors



Quelle: Herstellerangaben

3.1.26 TU DK

Das Labor für Energietechnik der Technischen Universität Lyngby hat einen Vergaser entwickelt, der sich Ende 1995 noch in der Pilotphase befand. Unterlagen der Universität waren nicht zur Verfügung gestellt. Sonst findet man in Nussbaumer einige Angaben zu diesem Vergaser.

Konstruktionsprinzip:

Als Basis dient ein Gleichstromvergaser, der zweistufig aus einem Vergaser und einer Pyrolyseeinheit aufgebaut ist.

Brennstoff:

Dieser Vergaser wurde hauptsächlich für Holzhackschnitzel gebaut, welche nicht mehr als 30 % Feuchtegehalt haben sollen. Bis zu diesem Wassergehalt ist die Anlage wasserfrei bzw. frei von überschüssigem Kondensat.

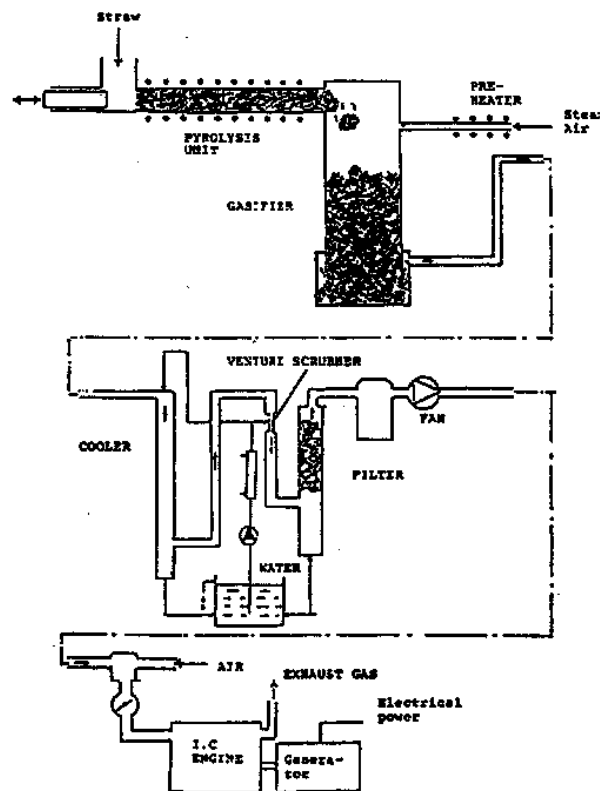
Messergebnisse:

In einer alten Versuchsanlage von 50 kW_{th} lagen die Teerwerte unter 100 mg/m³, so dass in der jetzigen 120 kW_{el} Anlage ähnliche bzw. niedrigere Werte erwartet werden. Als elektrischer Wirkungsgrad wird 25 % erwartet.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand:

Nach telefonischen Informationen vom August 1995 liegen von der neuen Testanlage noch keine Messergebnisse vor, da sie wegen Problemen mit dem Kontrollsystem der Anlage erst im Herbst 1995 in Betrieb genommen werden soll. Neuere Informationen lagen den Autoren nicht vor.

Abbildung 28: Anlagenschema des Zweistufenvergasers der TU Dänemark



Quelle: Herstellerangaben

3.1.27 UET

Die Firma Umwelt- und Energietechnik Freiberg GmbH (UET) bietet komplette Anlagen von 0,3 bis 5 MW_{el} an, die von frischen Waldholz bis zu kontaminiertem Holz alles vergasen können. Sie haben ein Verfahren Namens "Carbo-V-Verfahren" entwickelt, dass die Wirbelschichtvergasung nutzt. Die Investitionskosten pro installierte elektrische Leistung betragen ca. 5000,- DM/kW_{el}.

Als Quelle dienen Firmeninformationen.

Konstruktionsprinzip und Brennstoff:

Das Grundprinzip ist das Gleichstromprinzip, das die Vorteile der Wirbelschichtvergasung mit einer nachgeschalteten Flugstromvergasung nutzt.

Es kann nach Hersteller Frisch- bis Altholz genutzt werden, das eine Kantenlänge kleiner 20 mm und eine Feuchtigkeit von weniger als 20 % hat. Auch Klärschlammgranulat ist möglich.

Zielvorstellung ist der Einsatz des Verfahrens zur Entsorgung von Abfällen, Althölzern und Klärschlamm. Technisch sollen diese Anlagen den Anforderungen der 17. BImSchV gerecht werden. Der Leistungsbereich wird zwischen 5 und 30 MW_{th} gesehen.

Hinsichtlich kleinerer Leistungen gibt es ein technisches Konzept von UET, das *Kompakt-kleingaserzeuger* genannt wird. Leistungen reichen von 0,5 bis 2 MW. Der Vergasung in diesem Reaktor erfolgt mit rezirkulierendem Produktgas und Luft. HHS werden in die Brennkammer eingetragen und mit rezirkulierendem Vergasungsmittel beaufschlagt. Der Brennstoff schwelt somit zunächst nur. Das teer- und staubhaltige Gasgemisch wird durch einen Injektorbrenner geführt. Das entstehende Gas muss durch ein Holzkohlebett strömen. In einer vorgelagerten Brennkammer wird die Holzkohle verbrannt, entstehende Flüssigschlacke läuft an einer gekühlten Wand in ein Wasserbad, verglast und muss entsorgt werden.

Messergebnisse:

Durch das Carbo-V-Verfahren soll das Gas teerfrei sein und nur geringe Mengen von Staub enthalten.

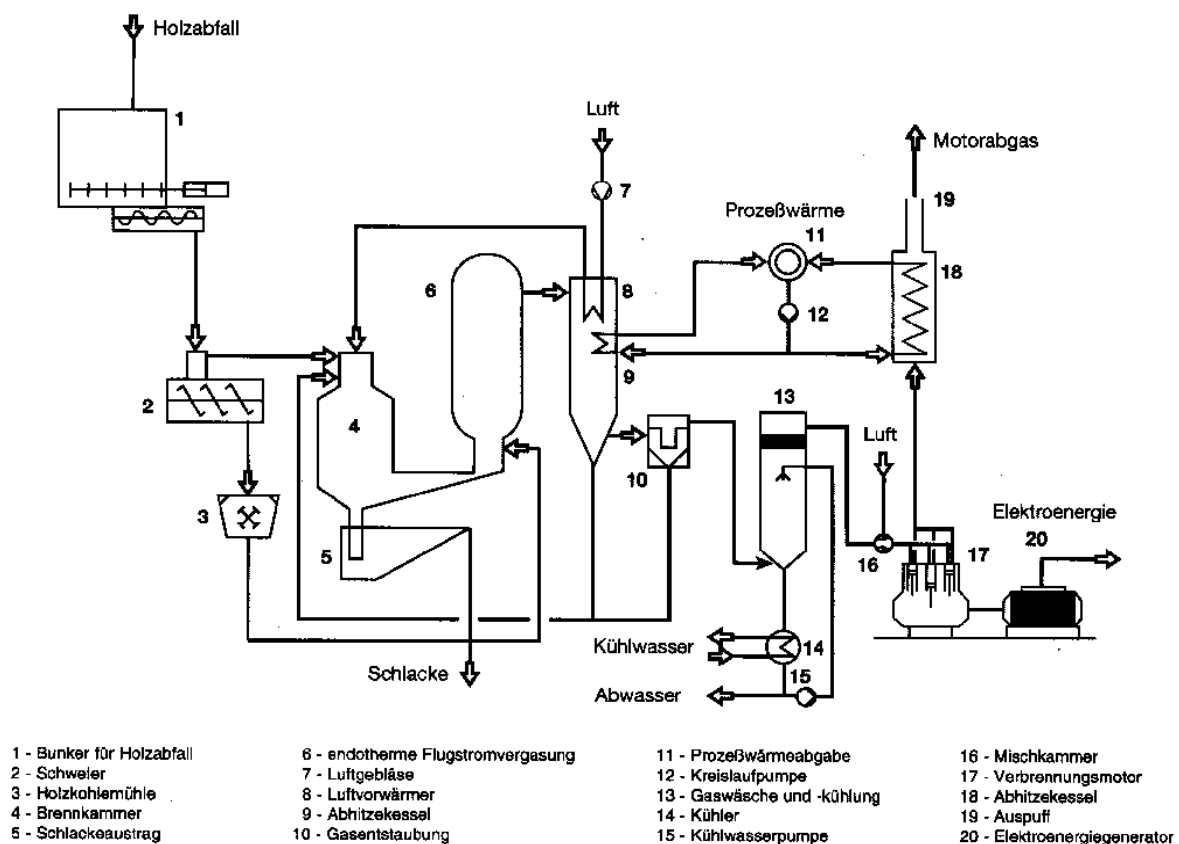
Im Kompaktkleingaserzeuger entsteht zumindest eine Schlacke, die entsorgt werden muss.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand:

In *Landesgewerbeamt, Baden-Württemberg, 1998* stellt der Geschäftsführer, Herr Dr.-Ing. Bodo Wolf, die Betriebserfahrungen aus der halbtechnischen Versuchsanlage vor.

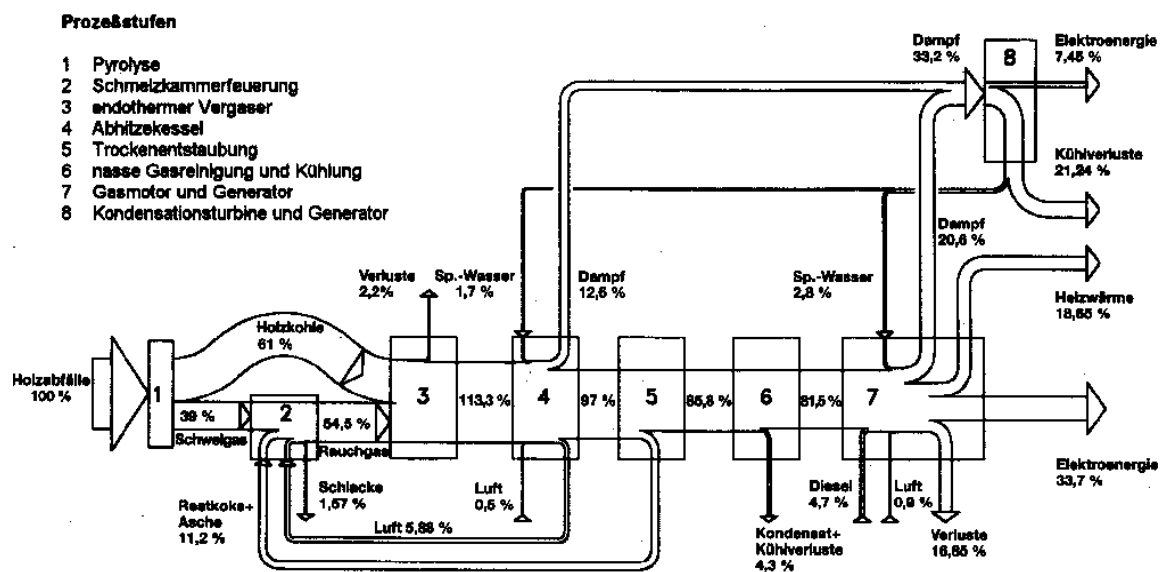
Eine Pilotanlage mit 1 MW_{el} hat 3000 Betriebsstunden hinter sich. 1996 befanden sich zwei Anlagen mit je 5 MW_{el} in der Vorplanung: Die eine Anlage für ein EVU in Elsterwerde und die zweite in Freiberg. Umsetzung dieser Anlagen unbekannt.

Abbildung 29: Prinzipschaltbild der UET Anlage



Quelle: Herstellerangaben

Abbildung 30: Energieflußbild der UET Anlage



Quelle: Herstellerangaben

3.1.28 UHDE

Die UHDE GmbH stellte bisher vor allem große Wirbelschicht-Vergasungsanlagen (20 MW_{el}) für Kohle her. Als Quellen dienen mündliche Firmeninformationen.

Konstruktionsprinzip

Bei der Wirbelschichtvergasung handelt es sich um das HTW (Hoch-Temperatur-Winkler) – Verfahren (Hahn 1994). Umsetzbar laut Hersteller sowohl über als auch unter 5 MW Vergaserleistung.

Brennstoffe und Nebenprodukte

Fluidisierbare Materialien: Pellets, Späne, Klärschlammgranulat

Messergebnisse

Nicht veröffentlicht.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Anlage in Bernrath mit über 5 MW_{Brennstoff} hat in 10 Betriebsjahren 8000 Stunden pro Jahr erreicht.

Mit kleineren Anlagen bestehen keine Betriebserfahrungen.

Vorplanung eines HTW-Holzvergaskraftwerkes in Elsterwerda (vgl. **Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, 1998**). Diese Anlagen werden aber über der hier untersuchten Leistungsgrenze von 5 MW_{Vergaserleistung} liegen.

Anlagen laut Hersteller sofort verfügbar, zwei Jahre Vorplanung und Projektentwicklung.

3.1.29 UMSICHT

Das Fraunhofer-Institut für Umwelt- Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT) beschäftigt sich seit 1993 mit energetischer Nutzung von Biomasse und betreibt seit 1996 eine 500-kW-Versuchsanlage mit Wirbelschichtvergasung.

Mit Unterstützung des Landwirtschaftsministerium des Bundes sollen Vergaser für einen Leistungsbereich zwischen 5 und 30 MW_{BS} entwickelt werden.

Konstruktionsprinzip

Das Verfahren beruht auf einer autothermen Zirkulierenden Wirbelschicht-Vergasung. Der Aufbau ist in Abbildung 31 dargestellt. Zielgröße sind Anlagen unter 5 MW-Vergaserleistung.

Die Technikumsanlage weist folgende Betriebsdaten auf:

Feuerungswärmeleistung	ca. 350 – 750 kW
Brennstoff:	grobe Holzspäne, max. 180kg/h
Vergasungstemperaturen	800-950 °C
Kaltgaswirkungsgrad	ca. 60%
Holzgasheizwert	bis 5,1 MJ/m ³ (i. N., tr.)
Gaszusammensetzung:	4% (Methan+C _n H _m), 14% Wasserstoff, 16% C, 13% CO ₂ , 10% Wasserdampf, 43% Stickstoff.

Brennstoffe und Nebenprodukte

Holzhackschnitzel, Kantenlänge bis 3 cm.

Messergebnisse

diverse Veröffentlichungen.

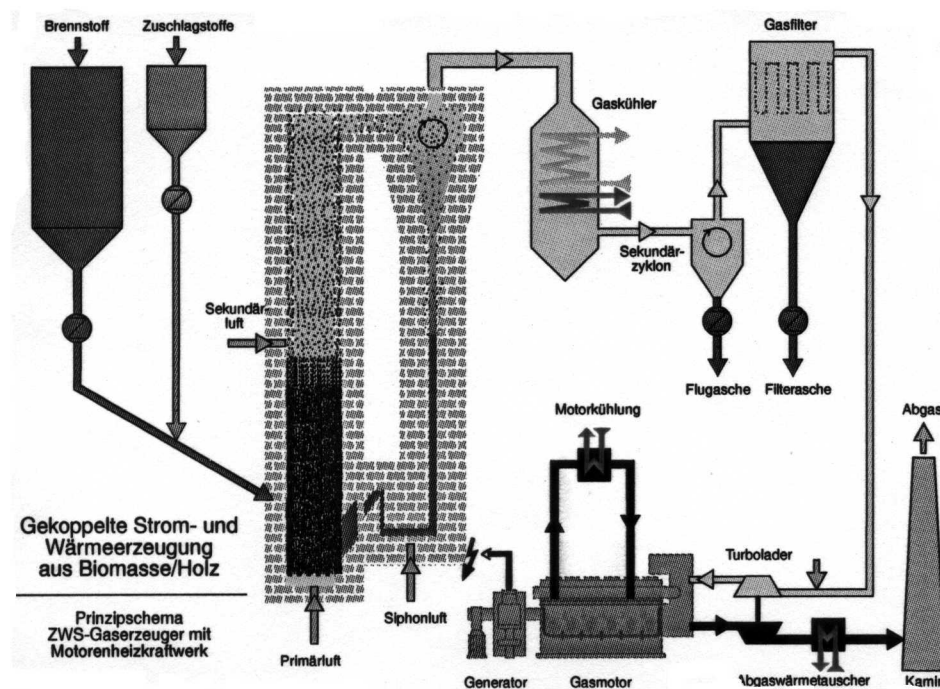
Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Pilotanlage seit 1996 erprobt. Anbindung Vergaser an BHKW-Gasmotor in 150 Stunden getestet.

Übergang zu Demonstrationsstatus, 3 Demo-Projekte in den Leistungsklassen 1 bis 5 MW sind in Vorbereitung.

Weitere Entwicklungsziele: Optimierung der Gasqualität, Regelungstechnik

Abbildung 31: Verfahrensschema des UMSICHT-Vergasers



Quelle: Herstellerangaben

3.1.30 Uni Kaiserslautern

Der Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen beschäftigt sich seit Jahren mit Möglichkeiten der Verbrennung von Bioölen (Pflanzenöl, Biodiesel etc.) in Motoren. Ein Ergebnis dieser Arbeit war die Idee, Holzgas mittels RME oder Diesel zu reinigen. Nachdem Tests erfolgreich waren, wurde ein Umsetzungsprojekt des Gesamtsystems Vergaser-Motor initiiert. Betreuung und Vermarktung durch Transferstelle an der Fachhochschule Bingen.

Konstruktionsprinzip

Zum Einsatz kommt ein Vergaser von AHT (H. Ferges): Mehrzonenvergaser.

Gasreinigungstechnik als Eigenentwicklung der Universität Kaiserslautern: Das Produktgas wird mit RME oder Diesel beaufschlagt. Dabei werden die Eigenschaften dieser Brennstoffe als Lösungsmittel genutzt und Teere und andere unverbrannte Bestandteile heraus gewaschen. RME/Diesel werden dann dem Motor im Zündstrahl wieder zugeführt.

Brennstoffe und Nebenprodukte

s. Ferges AHT

Messergebnisse

Werden Anfang 2001 erwartet.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand

Gasreinigungstechnologie wurde am Versuchsvergaser in Glücksburg getestet (s. EVN).

Pilotanlage wird mit Unterstützung des Mainzer Wirtschaftsministerium in Germersheim in einem holzverarbeitenden Betrieb errichtet. Inbetriebnahme Herbst 2000. Ende des Projekts Mitte 2001. Anschließend soll System vermarktet werden.

3.1.31 VER

Die Firma Verwertung und Entsorgung von Reststoffen GmbH (VER) hat einen Vergaser entwickelt, der zur Verwertung von Lackschlamm genutzt werden soll. Als Quelle dienen Informationen des Seminars "Energieträger Holz"³⁵ und telefonische Angaben des Herstellers.

Konstruktionsprinzip und Brennstoff:

Es handelt sich um das seltene Prinzip der Querstromvergasung.

Als Brennstoff wurde 1995 Lackschlamm genutzt, wobei eine Erweiterung des Brennstoffspektrums auf feste Biomasse geplant ist.

Ziel ist es Holz, Abfälle, Hausmüll und pelletierten Klärschlamm bis 12 mm Größe vergasen zu können. Es ist nur thermische Verwertung bisher betrieben.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand:

Es besteht eine 60-80 kW_{th} Versuchsanlage für Lack, die vollautomatisiert und messtechnisch ausgestattet ist. Mit Verstromung noch keine Erfahrungen. Mit Lackschlamm soll Vergaser nach Firmenangaben 2000 Betriebsstunden gelaufen sein.

3.1.32 Viesel

Die Firma Viesel Apparatebau GmbH bietet Holzvergaser an. Sie hat eine Holzgas-BHKW-Versuchsanlage in Betrieb und will im Herbst 1995 zwei Anlagen mit je 50 kW_{el} in Betrieb nehmen.

Ein komplettes Holzgas-BHKW mit einer elektrischen Leistung von 50 kW soll 4.500 bis maximal 5.000.- DM/kW_{el} kosten.

Konstruktionsprinzip und Brennstoff:

Der von der Firma Viesel eingesetzte Vergaser arbeitet nach dem Prinzip eines absteigenden Gleichstromvergasers.

Die Vergaserentwicklung der Fa. Viesel wird unterstützt durch die Produkte zur Gasreinigung der Fa. Natur-Rohstoff-Pyrolyse GmbH, Oberthingau. Die Reinigung des Produktgases soll mit Dolomitzugeln erfolgen. Die mit Teer angereicherten Dolomitzugeln werden dann dem Vergaser wieder zugeführt und zerfallen bei ca. 700 °C zu Kalkmehl. Der Vergaser ist bisher für Stückholz gedacht und eine Automatisierung schwierig. Betrieb des Vergasers mit Zündstrahl-Dieselmotor. Laut Herstellerangaben bisher ungelöstes Problem der Geruchsbelästigung durch Abgase.

Außerdem arbeitet Fa. Viesel nun an der Nutzung des Gases an einem Stirlingmotor (10 kW_{el}). Diese Entwicklung ist im Versuchsstadium und nicht verfügbar.

³⁵ Das Seminar "Energieträger Holz" fand am 25. 8.95 in Fürstenwalde statt. Siehe auch unter ATES GmbH: Seminar "Energieträger Holz" am 25.8.1995 in Fürstenwalde; ATES; Fürstenwalde 1995.

Messergebnisse:

Die FH Offenburg hat am Versuchsvergaser Messungen vorgenommen, die beim Hersteller angefordert werden können.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand:

Ein kleiner Vergaser mit 25 kW_{el} Motor ist im Wasserschloß in Metzingen im manuellen Betrieb. Die 50 - 75 kW_{el} Anlage soll Mitte November 1995 vollautomatisch und mit verschiedenen Messstellen im 24 Std. Betrieb betrieben werden. Einen Vergaser für eine 100 - 125 kW_{el}-Anlage war zu Tests bei DML. Die alte Versuchsanlage wurde schon ans Netz angeschlossen, aber die neue Anlage mit 50 - 75 kW_{el} soll nur als Insel betrieben werden. Nach Herstelleraussagen jetzt Zielrichtung einen Stirlingmotor an das Holzgas anzupassen. Hierbei besteht noch Entwicklungsbedarf.

3.1.33 Vølund

Die dänische Firma Vølund hat seit 1987 Erfahrungen mit Strohvergasungsanlagen, die zu Heizzwecken eingesetzt werden. Derzeit laufen Entwicklungsarbeiten für eine Holzvergaser nach dem Gegenstromprinzip, der mit einem Gasmotor-BHKW gekoppelt werden soll. Der Versuchsvergaser wird bis 1996 vorerst nur im Heizbetrieb laufen. Dabei werden verschiedene Filter getestet, um ein motortaugliches Gas zu erhalten. Als Quellen dienen mündliche Firmeninformationen sowie Nussbaumer und Diekmann/VDI.

Konstruktionsprinzip und Brennstoff:

Als Basis dient das Prinzip eines Gegenstromvergasers.

Es werden Holzhackschnitzel mit einer Feuchtigkeit von 35 bis 55 % und verschiedener Stückgröße vergast. Je kleiner die Holzhackschnitzel desto größer die Leistung. Späne können beigemischt werden. Anlagengröße bis 6 MW_{el}.

Messergebnisse:

Es liegen keine veröffentlichten Messergebnisse vor, aber es ist bekannt, dass der Versuchsvergaser einen sehr hohen Teergehalt hat³⁶. Diesen versucht man mit verschiedenen Filtern zu verringern, um einen Motoranschluss möglich zu machen. Die aussichtsreichste Möglichkeit, den Teerausstoß zu verringern, ist nach Firmenaussagen das "katalytische Teercracken"³⁷.

Betriebserfahrungen und momentaner Stand:

Ab Mitte September 1995 wird mit dem Vergaser in Harboøre (DK) wieder geheizt. Damit beginnt und die nächste Testphase mit der Untersuchung verschiedener Filter. Wenn diese Phase, die ein Jahr dauern soll, erfolgreich abgeschlossen ist, soll in einer zweiten Phase ein Motor angeschlossen werden.

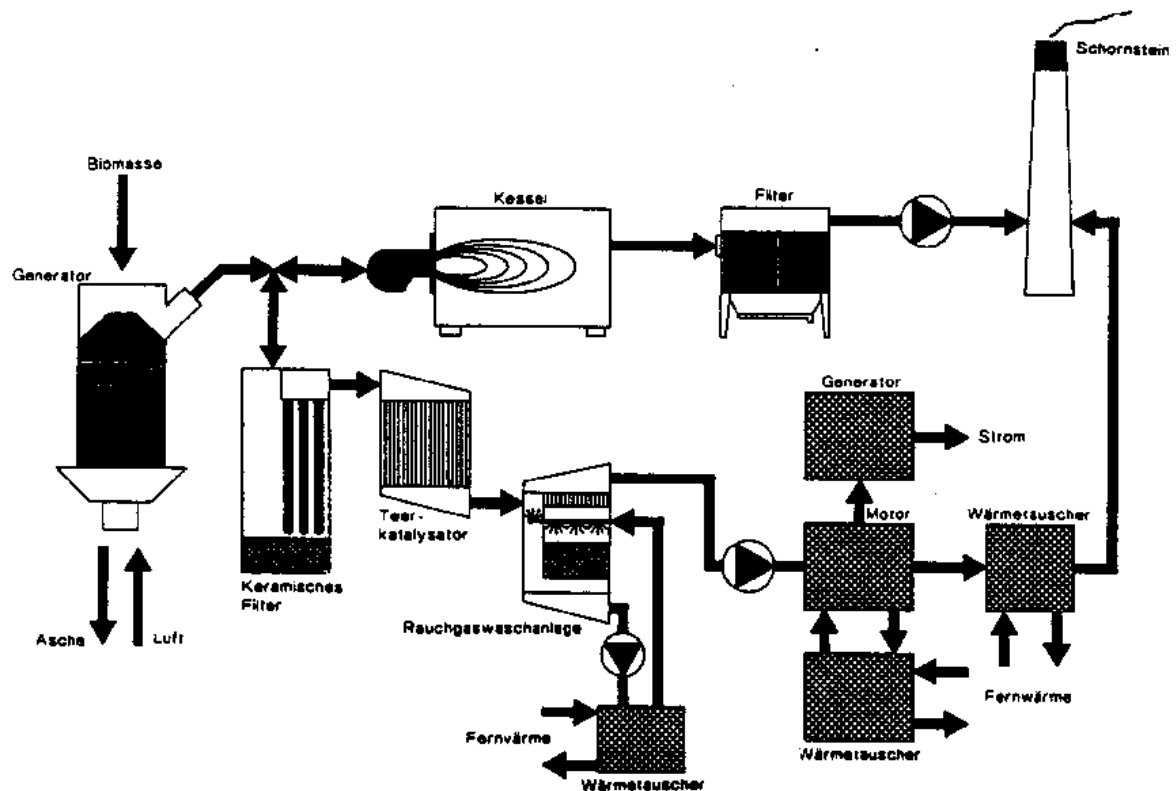
³⁶ Vgl. hierzu die Ausführungen zum Gegenstromvergaser

³⁷ Neben dem Cracken bzw. Spalten der unerwünschten Teere durch Temperaturen um 1000 °C und einer Verweilzeit von mindestens 2 s besteht die Möglichkeit des katalytischen Crackens mit der Unterstützung von Materialien wie Dolomit, Koks und eisenhaltigen Erzen. Vgl. Nussbaumer T.: Grundlagen der Holzvergasung; S. 2-20; Separatdruck aus HeizungKlima, Nr. 7; 1990

Die in der Heizperiode 1995 - 1996 betriebene Anlage (Vergaser mit Wärmeauskopplung) hat 4 MW_{th} und wird mit Holzschnitzeln und -spänen betrieben.

Motorankopplung hat bisher 300-400 Betriebsstunden. Nach Herstellerangaben sind viele Anlagen geplant, Bestellungen werden aufgenommen.

Abbildung 32: Aufbau der Völundanlage



Quelle: Herstellerangaben

3.2 Technische Zuverlässigkeit, Sicherheit und Marktreife

Technische Zuverlässigkeit bzw. Betriebszuverlässigkeit

Aufgrund der langen Erfahrung mit Holzvergasern seit den Dreißiger Jahren ließe sich eigentlich eine gewisse technische Zuverlässigkeit von Holzvergaseranlagen erwarten. Die Erfahrungen beruhten bisher allerdings nur auf manuell mit Brennstoff beschickten Vergasern kleiner Leistungen mit hohen Emissionswerten. Die in dieser Arbeit beschriebenen Vergaser haben jedoch größere Leistungen aufzuweisen und die Anlagen bestehen aus den Komponenten Brennstoffbeschickung, Vergaser und Gasreinigung. Weiter sollen diese Vergaser möglichst ohne Beaufsichtigung durchgehend 24 Stunden arbeiten und automatisch beschickt werden.

Erste Erfahrungen mit größeren Vergaseranlagen, die aber manuelle Beschickung und nicht den heutigen Standards entsprechenden Gasreinigungen aufwiesen, wurden schon vor einigen Jahren und zu einem großen Teil im Ausland gemacht. So kann zumindest von einer Zuverlässigkeit des reinen Vergasers (auch bei größeren Durchsätzen) ausgegangen werden.

In Europa und insbesondere in Deutschland ist auch die Zuverlässigkeit in Bezug auf niedrige Umweltbelastungen bzw. die Einhaltung der Schadstoffemissionswerte von großer Bedeutung. Hierbei sind das Anfahren und Betrieb unter Teillast entscheidend, weil es dadurch zu höheren Emissionen kommen kann. Viele Vergaserhersteller müssen zu diesem Problembereich noch Erfahrungen sammeln, da jeder Vergaser mit seinem Brennstoff andere Emissionswerte, aber auch andere Arten von Emissionen hervorruft (z.B. hat Altholz zusätzliche Emissionen im Vergleich mit Naturholz).

Der Übergang in den Verbrennungsmotor ist noch nicht erschöpfend gelöst. Das heiße Holzgas muss gekühlt und von Staub befreit werden, ohne dass Teere oder andere den Motor störende Reststoffe entstehen oder aufkonzentrieren. Die besten Erfolgsaussichten weisen Anlagen mit Gaswäsche im Kreislaufsystem auf.

Die sonstige Filtertechnik bei der Abgasreinigung ist aber soweit fortgeschritten, dass man mit einem Holzvergaser heute ein sauberes Gas bereitstellen kann, bei geeigneter Wartung von Anlage und Filtern. Jedoch kann bei stark verunreinigtem Rohgas eine entsprechende Filtertechnik mit hohen Kosten verbunden sein.

Die technische Zuverlässigkeit der Automatisierung von Holzvergaseranlagen ist bei einigen Herstellern schon gegeben (Diekmann/VDI), wird sich aber im Dauerbetrieb über ein bis zwei Jahre in den ersten kommerziellen Anlagen mit BHKW-Anschluss beweisen müssen. Von der Seite der Technikautomatisierung ist aber hier ebenfalls alles vorhanden (ähnliche Technik bei Holzfeuerungen), sie muss aber für die Vergasungstechnik angepasst werden. Deshalb sind hierbei kaum neue technische Entwicklungen erforderlich.

Die Betriebszuverlässigkeit ist bei einigen Vergasern, die im reinen Heizbetrieb schon einige Tausend Betriebsstunden gesammelt haben, gegeben. Eine Langzeitzuverlässigkeit in allen Betriebszuständen wird sich jedoch auch hier erst bei den kommerziellen Anlagen zeigen, bei denen auch Betriebs- und Wartungsfehler des Personals vorkommen können.

Belastbare Aussagen wird man also erst nach mehrjährigen Dauerbetrieb kommerzieller Anlagen machen können.

Brennstoff

Die Brennstoffanforderung ist das wichtigste Merkmal eines Vergasers. Es ist das erste Kriterium nach denen ein Anwender einen Vergaser wählen sollte. Alle hier vorgestellten Vergaser stellen bestimmte Anforderungen an die Brennstoffe, wie vorgeschriebene Oberflächenbeschaffenheit und Feuchtigkeit. Nur wenn erforderliche Bandbreiten eingehalten werden, ist ein dauerhafter Betrieb möglich. Es gibt keinen "Alles-Vergaser", der jeden Brennstoff verarbeiten kann. Es ist auch unwahrscheinlich, dass es einen solchen Vergaser, der dazu noch ein sauberes Gas erzeugt, in naher Zukunft geben wird.

So wird zum Beispiel ein Reaktor, der für die Vergasung von faustgroßen Holzklötzchen ausgelegt wurde, beim Betrieb mit Holzhackschnitzeln eine geringere Rohgasleistung, einen größeren Teergehalt im Rohgas und andere negative Effekte aufweisen. Hackschnitzel, die ein breites Stückgrößenspektrum aufweisen (von groben Schnitzeln bis zum Sägemehl), eignen sich meist schlecht für die Vergasung. Schüttungen solcher Brennstoffe haben ungenügende Fließeigenschaften. Sie neigen daher zu unerwünschten Brücken-, Schacht- sowie zu Hohlraumbildungen. Holzstücke einheitlicher Abmessungen, deren Form Würfeln oder Kugeln ähnelt, bilden hingegen ideale Schüttungen, insofern ihre Oberflächenqualität ebenfalls nicht variiert (Nussbaumer)³⁸.

Gegenstromvergaser vergasen zwar auch Brennstoffe, die keine einheitliche Oberflächenbeschaffenheit wie beim Gleichstromvergaser aufweisen müssen, aber auch hier sind Grenzen gesetzt. So sollte auch beim Gegenstromvergaser das Stückgrößenspektrum nicht zu groß sein. Dieser Vorteil wird aber mit dem Nachteil eines sehr teerhaltigen Gases erkauft, das mit teuren Filtern motorverträglich gereinigt werden muss.

Ein Vergaser bringt seine optimale Leistung und damit einen guten Wirkungsgrad nur bei dem für ihn bestimmten Brennstoff, der optimalen Feuchtigkeit und Stückigkeit. So wird bei verschiedenen Vergaserherstellern der Vergaser in einer Testphase auf den Brennstoff des Anwenders eingestellt.

Nebenprodukte

Die Nebenprodukte des Vergasers sind Asche, Kondensat und eventuell Kohle. Asche kann bei optimalem Betrieb noch einen Kohlenstoffgehalt von 25 % (Gew.%) haben. Das Kondensat besteht bei unbelastetem Holz hauptsächlich aus Wasser und geringen Mengen Teer. Asche und Kondensat sind bei einigen Herstellern so gereinigt, dass sie nicht als Sondermüll gelten. Das Kondensat kann dann meist in die Kanalisation gegeben werden und die Asche auf eine normale Deponie. Manche Vergaser erzeugen jedoch hohe Konzentrationen von Schadstoffen in ihren Nebenprodukten (Asche und Kondensat), besonders bei der Nutzung von Altholz. Diese belasteten Nebenprodukte müssen teuer entsorgt werden oder die Anlage muss so umgebaut werden, dass sie nicht mehr in dieser Form anfallen. Kohle wird bei einigen Herstellern ausgekoppelt und hat dann ähnliche Eigenschaften wie Aktivkohle.

Da eine befriedigende Sauberkeit von Asche und Kondensat noch nicht bei allen Herstellern erreicht ist, wird hier noch einige Entwicklungsarbeit nötig sein.

³⁸ Oberflächenqualität beschreibt hier den Oberflächenzustand (faserig, glatt, rauh, etc.), die Härte und den Verschmutzungsgrad eines Brennstoffes.

Im Prinzip kann die Automatisierung der Brennstoffbeschickung von Holzvergasern als gelöst bezeichnet werden, muss sich aber noch zusammen mit der Automatisierung des Vergasungsprozesses im Langzeitbetrieb bewähren. Wichtig für eine Automatisierung sind Betriebsbedingungen, die den Auslegungskriterien entsprechen, wie z.B. der Betrieb mit vorgeschriebener Brennstoffqualität.

Eignung für den Motorbetrieb

Die Eignung für den Motorbetrieb ist bei ausreichend sauberem Gas gegeben. Da es eine billige und effektive Filtertechnik für die Holzvergasung bislang nicht auf dem Markt existiert und auch in der nahen Zukunft nicht geben wird, versucht man ein möglichst reines Gas zu erzeugen, dass den Ansprüchen der Motoren genügt. Hier wird auch wieder die Brennstoffabhängigkeit deutlich, da sich die Reinheit des Gases sehr schnell verschlechtern kann, wenn ein anderer, bzw. mit anderen Eigenschaften (z.B.: höhere Feuchte) behafteter Brennstoff, eingesetzt wird.

Messdaten von Gasmotoren, die in einem Industrieland mit umweltgerechter Entsorgung der Nebenprodukte und mit Rohgas aus einem Gleichstromvergaser während mehr als 1.000 Stunden ohne Revisionsstillstand gelaufen sind, wurden bis heute nicht veröffentlicht.

Von einigen Herstellern wird auch versucht, robustere Motoren einzusetzen, um der Gasreinigung ein wenig aus dem Weg zu gehen. Bei einer Reihe von Vergaserherstellern haben sich Zündstrahlmotoren aufgrund ihrer einfachen Veränderung des Zündzeitpunktes bewährt.

Einige Hersteller können bereits Vergaser mit "sauberem"³⁹ Gas zum passenden Brennstoff anbieten bzw. bauen.

4 Grenzen der Aussagen und Ausblick

Die vorliegende Marktübersicht stützt sich auf bestehende Untersuchungen und den Erfahrungsschatz der Bearbeiter. Es wurde keine umfassende Suche nach neuen Vergasertypen und -entwicklungen veranlasst, wodurch manche interessante Entwicklung eventuell hier nicht auftaucht. Diese Arbeit erhebt deshalb auch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Die Marktanalyse 2000 stellt die aktuell verfügbaren Daten über Holzgas-Systeme zur Verfügung. Alle InteressentInnen können gezielt auf Hersteller zugehen und für ihr Projekt nach der Umsetzbarkeit fragen.

Letztlich kann der Bericht der Grundlage für die Diskussion in der Fachwelt dienen und steht für eine Aktualisierung bereit, sobald in der Leistungsklasse um 1.000 kW weitere Demonstrationsprojekte mit Holzvergaser ihren kommerziellen Dauerbetrieb aufnehmen.

³⁹ Es ist nur noch eine geringe Reinigung erforderlich, welche keine zu hohen Kosten verursacht.

5 Literatur

- Altner, Günter u.a. 1994: Zukünftige Energiepolitik - Vorrang für rationelle Energienutzung und regenerative Energiequellen, Economica Verlag GmbH, Bonn
- ATES GmbH 1995: Seminar "Energieträger Holz" am 25.8.1995 in Fürstenwalde, Dokumentation zum Seminar, ATES, Fürstenwalde
- Balzer G. 1995: Vorlesung Kraftwerke, Fachbereich Energieversorgung, FH Darmstadt
- Barp, B./Diethelm, R./Honegger, K. 1992: Brennstoffzellen für Wärme-Kraft-Kopplung, in: gwa Schweiz, Winterthur, S. 883-888
- Becker G. 1994: Umweltrelevante Gesichtspunkte bei der Verbrennung von Holz, Hess. Landesforstverwaltung, EAM, Förderverein für Nachwachsende Rohstoffe: Chancen für eine moderne Energieversorgung mit Holz - Im Kreislauf der Natur, Tagungsband S. 25-34, Kassel
- Bierter W./Gaegauf C. 1982: Holzvergasung Umweltfreundliche und effiziente Energieholznutzung, Karlsruhe
- BMFT (Bundesministerium für Forschung und Technologie) 1996: Nachwachsende Rohstoffe, Übersicht über Forschungsförderung 1993 – 1995, Bonn
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) 1990: Bundeswaldinventur 1986-1990, Bonn
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.) 1991: Unser Wald - Die Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland, Bonn
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) 1992: Waldzustandsbericht der Bundesregierung - Ergebnisse der Waldschadenserhebung, Bonn
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) 1994: Nationaler Waldbericht der Bundesrepublik Deutschland, Bonn
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) 1994: Waldzustandsbericht der Bundesregierung - Unterrichtung durch die Bundesregierung, Deutscher Bundestag 13. Wahlperiode, Bonn
- Böhnisch H. u.a. 1994: Kommunale Konzepte für eine umweltverträgliche Energieversorgung, S. 43-49, DLR-Nachrichten Heft 76 (August 1994), Stuttgart
- Bordonzotti I. 1994: Etude comparative des procédés de combustion directe et de pyrolyse appliquée au traitement des ordures ménagères, 180 Seiten, Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne
- Born P. 1991: Die Beurteilung ausgewählter Verfahren der Biomassenkonversion bei den unterschiedlichen Industrialisierungsgraden in Indien und der BRD, 180 Seiten, VDI-Berichte 265, Hagen
- Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1994, Teil I: Gesetz zur Änderung des Stromeinspeisungsgesetzes vom 19. Juli 1994, Änderung der Paragraphen 2 und 3, Bonn
- Carminati R./Mischaeler K. 1995: Fernwärme aus Biomasse, EUT Ing.-büro für Energie und Umwelttechnik, Brixen
- Diekmann J. u.a. 1995: Fossile Energieträger und erneuerbare Energiequellen, S. 188-203, IKARUS DIW Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin

- Diekmann R. 1995: Energetische Nutzung von Holz, Einsatz von Vergasungsanlagen, S. 201-217, VDI Verlag - Fortdruck aus VDI Berichte Nr. 1182, Düsseldorf
- Dreiner K. u.a. 1994: Holz als umweltfreundlicher Energieträger, Landwirtschaftsverlag GmbH Heft 432, Münster
- Drenckhahn W./Hassmann K./Kühne H.-M. 1991: Zukunftstechnologie Brennstoffzelle und Batteriespeicher, in: Brennstoff Wärme Kraft 43, Nr. 9, S. 414-431
- Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages, Hg.: Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre Erneuerbare Energien, Studie A.2 Band 3 Erneuerbare Energien, Energie und Klima. Bd. 3, Bonn 1990
- FhG WKI 1994: Bibliographie Literaturverzeichnis 1986-1994, Braunschweig
- Fischer U. 1995: Holzpotentiale für die energetische Nutzung, unveröffentlichtes Arbeitspapier der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg
- Flaig H./Linckh, G./Mohr H. 1995: Die energetische Nutzung von Biomasse aus der Land- und Forstwirtschaft, Akademie für Technikfolgenabschätzung in BaWü., Stuttgart
- Flaig H. u.a. 1995: Energiegewinnung aus Biomasse - agrarische, technische und wirtschaftliche Aspekte, Akademie für Technikfolgenabschätzung in BaWü., Stuttgart
- Flaig H./Mohr, H. 1993: Energie aus Biomasse - Eine Chance für die Landwirtschaft, Springer Verlag, Berlin u.a.
- Forstdirektion Freiburg 1995: Energie-Holz die Alternative, Forstdirektion Freiburg, Freiburg
- Forum für Zukunftsenergien 1994: Energetische Nutzung von Biomasse - Im Konsens mit Osteuropa- Internationale Tagung März 1994, Jena/Bonn
- Freitag T. 1994: Entwurf einer Labor Holzvergasanlage, Technische Universität Chemnitz-Zwickau Fakultät Maschinenbau, Chemnitz-Zwickau
- Fritsche Uwe R. u.a. 1994: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 2.1, Öko-Institut, Darmstadt
- Frühwald, A. 1990: Holzbe- und -verarbeitung, In: Energie aus nachwachsenden Rohstoffen und organischen Reststoffen, S. 9-21, VDI-Verlag, Düsseldorf
- Frühwald, A. 1994: Möglichkeiten und Chancen der Energiegewinnung aus Holz, Jahresbericht des Hessischen Forstvereins 1994 ENERGIE AUS HOLZ, S. 9-21, Hessischer Forstverein, Rotenburg/Fulda
- Gernhardt u.a.: 1993 Thermisch verwertbares Restholz der holzbe- und -verarbeitenden Betriebe im VEW-Versorgungsgebiet, 140, Bochumer Forschungsberichte zum Berg- und Energierecht 15, Bochum x
- Giere A. 1993: Technische Möglichkeiten der KWK in der Forst- und Holzwirtschaft, 55, Fachhochschule Hildesheim/Holzminde-Fb. Forstwirtschaft in Göttingen, Göttingen
- Gosch, T. 1995: Vergasung von Biomasse zur Energieerzeugung - Technik und Anwendung, 120 Seiten, Fachhochschule Flensburg, Kiel
- Hahn W. 1994: Vergasung nachwachsender Rohstoffe in der zirkulierenden Wirbelschicht, Verlag Shaker, Aachen
- Hartmann H./Strehler A. 1995: Die Stellung der Biomasse, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster

- Heinrich P. 1995: Kraftwärmekopplung bei der thermischen Nutzung nachwachsender Energieträger, in: VDI Verlag - Fortdruck aus VDI Berichte 1182, S. 183-199, Düsseldorf
- Hessische Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie 1995: Fachbegriffe der Forsteinrichtung, Gießen
- Hessisches Ministerium für Landesentwicklung, Wohnen, Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz 1992: Wald in Hessen, Wiesbaden
- Hessisches Ministerium für Landesentwicklung, Wohnen, Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz 1993: Richtlinien für die Bewirtschaftung des Staatswaldes, Wiesbaden
- Holm G. 1994: Die Erneuerbaren, S. 6-38, IZE, Frankfurt
- Holz-Zentralblatt 1995: Die thermische Holzverwertung ist ein ökonomisches Problem - VDI Seminar, S. 1110, Holz-Zentralblatt Jahrg. 121, Nr. 67/68 vom 7. Juni, Stuttgart
- Holz-Zentralblatt 1994: Die zukünftige Rest- und Altholzverwertung in Berlin, S., Holz-Zentralblatt 120 (1994), Nr. 147 vom 9. Dezember, Stuttgart
- Holz-Zentralblatt 1994: Energiegewinnung aus Holz bedarf keiner Dauersubventionen - über eine Starthilfe mittels Anschubfinanzierung, S. 2455-2456, Holz-Zentralblatt 120 (1994), Nr. 147 vom 9. Dezember, Stuttgart
- Holz-Zentralblatt 1995: Holzvergaser mit Gasmotor in voller Funktion, S. 670, Holz-Zentralblatt Jahrg. 121, Nr. 40 vom 3. April, Stuttgart
- Hydrogen from Biomass, 1997: Tagung 4th Discussion Meeting, Munich. Hydrogen from Biomass And its Utilisation. ZAE Bayer, München, 2.12.1997. Vortrag von Herrn Kubiak zum DMT-Vergaser.
- Kaltschmitt M./Wiese A. 1992: Potentiale und Kosten regenerativer Energieträger in Baden-Württemberg, S. 165- 300, IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart
- Kaltschmitt M./Wiese A. 1993: Erneuerbare Energieträger in Deutschland, Springer Verlag, Darmstadt
- Kleemann M., Meliß, M. 1993: Regenerative Energiequellen, Springer Verlag, Berlin u.a.
- Klien J. 1991: Planungshilfe BHKW's, C.F. Müller-Verlag, Karlsruhe
- Landesgewerbeamt Baden-Württemberg 1995: Energetische Nutzung von Holz und Nahwärmeversorgungssysteme, Haus der Wirtschaft, Modul 4.2, Stuttgart
- Landesgewerbeamt Baden-Württemberg 1998: Tagungsband zum 1. Fachsymposium „Stand der Holzvergaser-Technik – Ist die Marktreife schon gegeben? Karlsruhe, 10.12.98.
- Landtag von Baden-Württemberg 1993: CO₂-Reduktionsprogramm Baden-Württemberg. Einstieg in die Biomasse-Nutzung, Stuttgart
- Meißner M., Zehr M. 1994: Biomassenutzung aus energetischer Sicht, Studie im Auftrag der Gruppe 2010
- Meliß, M. 1993: Regenerative Energiequellen, in: Brennstoff Wärme Kraft 45 (1993) Nr. 4, S. 155-164,
- Nast M. 1995: Vorteilhafte Koppelung von Biobrennstoffen mit solarer Wärme, DLR, Stuttgart

- Nitsch J. u.a. 1994: Wirtschaftliches und ausschöpfbares Potential der Kraft-Wärmekopplung in Baden-Württemberg, Untersuchung im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, DLR, Stuttgart
- Nitsch J., Dienhardt H. 1995: Combined Heat and Power Produktion from Biomass of Communities, DLR Stuttgart Abteilung STB, Stuttgart
- Nitsch J./Klaiß, H. 1994: Technische und ökonomische Bewertung der regenerativen Energiequellen für die Bundesrepublik Deutschland, in: VDI-Berichte 1076, S. 31-56, Stuttgart
- Nitsch J. 1995: Energetische Nutzung von Biomasse - Potentiale, Kosten und mittelfristige Perspektiven, DLR, Stuttgart
- Nitsch J.: Gesamtenergiekonzepte für Kommunen, 17 Seiten, DLR, Stuttgart 1994
- Nussbaumer T. u.a. 1992: Neue Konzepte zur schadstoffarmen Holzenergie-Nutzung, BEW, Enet, Zürich
- Nussbaumer T. u.a. 1994a: Emissionsarme Altholznutzung in 1-10 MW-Anlagen, BEW Energie 2000, DIANA, Zürich
- Nussbaumer T. u.a. 1994b: Neue Erkenntnisse zur thermischen Nutzung von Holz, BEW (Bundesanstalt für Energiewirtschaft), Zürich
- Nussbaumer T. u.a. 1995: Energetische Nutzung von Altholz zur Wärmeerzeugung, S. 115-123, HeizungKlima, Zürich
- Nussbaumer T. u.a. 1995: Energietechnik und Umwelt, 190 Seiten, Abteilung Umweltnaturwissensch. ETH, Zürich
- Nussbaumer T. u.a. 1994: Neue Erkenntnisse zur thermischen Nutzung von Holz, BEW (Bundesanstalt für Energiewirtschaft), Enet Schweiz, Zürich
- Nussbaumer T. u.a. 1995: Projektieren automatischer Holzfeuerungen, 191 Seiten, Bundesamt für Konjunkturfragen, Pacer, Bern
- Nussbaumer T. 1990: Grundlagen der Holzvergasung, Separatdruck aus HeizungKlima Nr. 7, S. 2-20
- Ojaniemi H. 1995: Multifuel Gasification Moves Closer to Commercialisation, S. 7-9, CAD-DET Renewable Energy Newsletter, Tampere, Finnland
- Paar U. u. a. 1995: Waldschadensbericht 1994 Waldökosystemstudie Hessen, Hessisches Ministerium für Landesentwicklung, Wohnen, Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz, Münden
- Patterson W. 1994: Power from Plants, The Global implications of new Technologies for Electricity from Biomass, The Royal Institute of international Affairs, Earthscan, London
- Rapp S.W. 1994: Neue Erkenntnisse zur thermischen Nutzung von Holz, Landesgerwerbeamt BaWü, Stuttgart
- Reddemann 1994: Förderung der Thermischen Verwertung von Holz aus heimischen Wäldern - Antwort des Ministeriums auf eine Anfrage des Landtags, Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Stuttgart
- Reetz B./Kretschmer R. 1995: Energetische Nutzung von Holz, S. 162-163, Allgemeine Forstzeitung (AFZ) Nr. 3, Dresden, Hannover

- Reetz B. u.a. 1994: Umweltgerechte Energieversorgung im Öko-Kinder- und Jugenddorf des "Erholung und Natur" (ERNA) e.V., 10, FOWUT Dresden
- Reetz B. 1995: Gekoppelte Strom- und Wärmezeugung aus Holz- Konzeption für ein Nahwärmesystem mit Holzgas-Blockheizkraftwerk in Sachsen, S. 322-328, Allgemeine Forstzeitung (AFZ) Nr. 6, Dresden/Hannover
- Seeger K. 1989: Energietechnik in der Holzverarbeitung (Handbuch für Holzindustrie und Handwerk), DRW Weinbrenner GmbH, Leinfelden-Echterdingen
- Stahlberg R./Feuerriegel U. 1995: Das THERMOSELECT- Verfahren zur Energie und Rohstoffgewinnung -Konzept, Verfahren, Kosten, VDI Berichte 1192, Düsseldorf, S. 319-348
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 1995: Bevölkerungsstand (31.12.94) und Waldflächen (1993) der Gemeinden in Baden-Württemberg, Stuttgart
- Steinbrecher, Nils 1996: Effiziente und verträgliche Bereitstellung von Strom aus fester Biomasse mit Hilfe des Vergasungsprozesses. Technische Studienarbeit der TH Darmstadt. Öko-Institut, Darmstadt, 20.02.96
- Strehler, A. 1992: Das CO₂-Einsparpotential durch Verwendung von Brennstoffen und Treibstoffen aus Biomasse mit Schwerpunkt Energiepflanzen, in: VDI 1992, S.127-147
- Umwelttechnik 1998: Grüner Strom. Holzgaskraftwerk gewinnt aus kontaminiertem Holz Strom, Wärme und wertvolle Holzkohle. Veröffentlicht in der Zeitschrift umwelttechnik, Landberg, Ausgabe Dezember 1998, S. 10-14
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 1991: Möglichkeiten und Grenzen der Kraft-Wärme-Kopplung, VDI-Berichte 923, Düsseldorf
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 1992: Energiehaushalten und CO₂-Minderung - Einsparpotentiale durch die Einbindung Regenerativer Energieträger, VDI-Berichte 942, Düsseldorf
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 1993: Fortschrittliche Energiewandlung und- anwendung, VDI Bericht 1029, Düsseldorf
- versch. 1994: Energieträger Restholz - Seminar am 14.11.1994, Stadt Freiburg
- versch. 1994: Forst und Holz Nr. 18, M. & H. Schaper Alfred - Hannover, Alfeld
- VEW 1992: Erneuerbare Energien, S. 60-86, VEW
- Wagner E. 1993: Erneuerbare Energien - Ihre Nutzung in der Elektrizitätswirtschaft, S. 1534-1536, IZE, Frankfurt
- Walter J. 1993: Vergasung von Biomasse in Kleinanlagen, Öko-Institut, Darmstadt/Bingen
- Weimann H.-J. 1994: Natur-Struktur-Kultur, Forschungsberichte 17, Hessisches Ministerium für Landesentwicklung, Wohnen, Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz, Gießen
- Williams, Robert H./Larson, Eric D. 1993: Advanced Gasification-Based Biomass Power Generation, Burnham
- Wintzer D. u.a. 1994: Modellversuch: "Wärme und Strom aus nachwachsenden Rohstoffen" – Machbarkeitsstudien, FNR/AFAS, Karlsruhe
- Wintzer D. u.a. 1993: Technikfolgenabschätzung zum Thema Nachwachsende Rohstoffe, BML, Landwirtschaftsverlag GmbH, Karlsruhe