

**MARTIN GmbH  
Für Energie- und Umwelttechnik  
(MARTIN)**

**Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH  
(CUTECH)**

**Machbarkeitsstudie über eine Biomassevergasungsanlage  
mit nachgeschalteter Brennkammer mit einer thermischen  
Leistung von 20 MW**

Teil II

Machbarkeitsstudie  
gefördert unter dem Aktenzeichen 12476 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Ing. W. Schmidt, Dipl.-Ing. M. Busch, Dipl.-Ing. J. Horn  
(MARTIN GmbH)

und

Dr.-Ing. M. Beckmann, Dipl.-Ing. M. Davidovic,  
Dipl.-Ing. W. Siemers  
(CUTECH)

Januar 2000



## Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung.....	4
2.	Brennstoffe.....	6
2.1.	Definition von Rest- und Abfallholz.....	6
3.	Anlagentechnik.....	14
3.1.	Brennstofflagerung.....	14
3.2.	Brennstoffförderung, Schurre mit Doppelpendelklappe.....	15
3.3.	MARTIN-Rückschub <sup>®</sup> -Rost mit Verbrennungsluftsystem.....	15
3.4.	Nachbrennkammer.....	16
3.4.1.	Konzeptübersicht der Nachbrennkammer.....	16
3.4.2.	Festlegung der Randbedingungen.....	17
3.4.3.	Bewertung.....	19
3.4.5.	Vergleich der NBK-Konzepte.....	22
3.5.	Kessel.....	23
3.6.	Abgasreinigung.....	23
3.7.	MSR- und Sicherheitstechnik.....	24
3.8.	Energienutzungskonzepte.....	24
3.9.	Gebäude.....	25
4.	Investitionskosten und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für eine 20 MW-Anlage.....	26
4.1.	Brennstoffpreise.....	32



5. Bilder und Tabellen

Tab. 2.1	Altholzpotalential nach alten und neuen Bundesländern.....	8
Tab. 2.2	Altholzpotalential nach einzelnen Bundesländern.....	9
Tab. 3.1	Abgasmengen bei unterschiedlicher Verfahrens- führung für 5 MW und 20 MW.....	20
Tab. 3.2	Stoffwerte der Feuerfest- und Wärmeisulationsmaterialien.....	21
Tab. 3.3	Stoffwerte der Feuerfest- und Wärmeisulationsmaterialien.....	21
Tab. 4.1	Kosten für eine 20-MW-Biomassenvergasungsanlage mit reiner Verstromung.....	27
Tab. 4.2	Kosten für eine 20-MW-Biomassenvergasungsanlage mit KW-Kopplung.....	28
Tab. 4.3	Betriebskostenaufstellung 20 MW Verstromung.....	30
Tab. 4.4	Betriebskostenaufstellung 20 MW KWK.....	31
Diagr. 4.1.	Verlust – Gewinn pro Jahr [TDM].....	34
Literaturverzeichnis.....		35



## Kapitel 1

### Einführung

Im anschließenden Teil II soll untersucht werden, unter welchen Randparametern eine Biomassevergasungsanlage mit separater nachgeschalteter Brennkammer heute wirtschaftlich betrieben werden kann. Ebenso wie im Teil I wird als Brennstoff der Einsatz von Alt- und Abbruchholz unterstellt, da für diesen eine Vergütung kalkuliert werden kann und so eine Rentabilität zu erreichen ist.

Wie im Teil I verdeutlicht, sind für einen wirtschaftlichen Betrieb die Parameter

- Brennstoffkosten
- Investitionskosten
- Einnahmen durch Verkauf von Energie (Wärme, Prozeßdampf, Strom)

maßgeblich für den wirtschaftlichen Betrieb verantwortlich.

Da sich mit steigender Anlagengröße die spezifischen Anlagenpreise reduzieren, ist anzustreben, möglichst Anlagen mit hoher thermischer Leistung zu installieren. Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß hier wirtschaftliche Grenzen nach oben gesetzt sind.

- Laut dem Gesetz zur Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts (April 1998) fällt Alt- und Abbruchholz auch unter den Oberbegriff „Biomasse“. Somit ist Artikel 3, § 3, Höhe der Vergütung, auch für Alt- und Abbruchholz anzuwenden. Dies bedeutet, daß die



Einspeisung von Strom, erzeugt durch Biomasse, mit mindestens 80 % des Durchschnittserlöses je Kilowattstunde aus der Stromabgabe von Elektrizitätsversorgungsunternehmen an alle Letztverbraucher zu vergüten ist. In Artikel 3 § 1, Anwendungsbereich, wird die Anlagengröße auf eine installierte Generatorleistung von 5 Megawatt begrenzt. Dies entspricht einer thermischen Anlagenleistung im Bereich von 20 bis 25 Megawatt (abhängig vom Wirkungsgrad der Anlage und der eingesetzten Turbine).

- Ein weiterer Punkt sind die logistischen Randparameter. In Abhängigkeit von der thermischen Leistung einer Anlage wird der Brennstoffbedarf bestimmt. Es muß also bedacht werden, daß entsprechendes Brennstoffaufkommen in unmittelbarer Umgebung zur Verfügung steht, da weite Transportwege die Transportkosten erhöhen und sich somit negativ auf die Rentabilität auswirken.

In den folgenden Kapiteln wird detailliert auf die genannten Punkte eingegangen, die erforderlichen Randparameter dargestellt und anhand einer Biomassevergasungsanlage mit einer thermischen Leistung von 20 MW beispielhaft eine Kosten/Nutzen-Bilanz erstellt.



## Kapitel 2

### Brennstoffe

Wie eingangs erwähnt, beschränkt sich diese Studie in der Hauptsache auf den Brennstoff Alt- und Abbruchholz, für den eine Vergütung für einen Anlagenbetreiber angenommen werden kann. Anlagen, die mit naturbelassenen Hölzern, landwirtschaftlichen Reststoffen (z.B. Stroh) oder speziell angebauten Energiepflanzen (z.B. Miscanthus) als Brennstoff betrieben werden, können den Brennstoff nicht als Einnahmequelle nutzen, sondern müssen entsprechende Mittel hierfür berücksichtigen. Nach Ansicht des Verfassers können solche Anlagen unter heute geltenden Bedingungen nur mittels (Teil-) Förderungen betrieben werden.

#### 2.1 Definition von Rest- und Abfallholz

Restholz: Als Restholz werden Restmengen aus der Forstwirtschaft und Produktionsreststoffe der Holzverarbeitenden Industrie nach fehlender Verwertungsmöglichkeit (stofflich und energetisch) zu Abfall bezeichnet.

Altholz: Darunter sind Holzprodukte, die nach Gebrauch entsorgt oder verwertet werden müssen/können (Abfallholz), zu zählen.

Als Summe des gesamten Abfallholz- und Restholzanfalls wird ein Wert von 9 bis 15 PJ angenommen [1]. Anderen Angaben zufolge ist ein Anfall von Restholz in Höhe von 54 PJ/a



vorhanden. Davon werden etwa 8,4 PJ genutzt [2]. Das Potential aus Abbruchholz, Abfallholz und aus Sperrmüll und anderer Entsorgung soll laut [3] bei etwa 50 PJ/a liegen.

Mit unklarerer Trennungskriterien wird ein Aufkommen von 72 PJ/a bei einer vollständigen Nutzung und der Annahme, daß Sägerestholz, Sägespäne usw. mit einbezogen sind, geschätzt [4].

Eine neuere Untersuchung befaßt sich schwerpunktmäßig mit dem Aufkommen und der Verwertung von Altholz [5]. Hier wird bestätigt, daß keine belastbaren Daten vorliegen, da zum einen Aufkommen und Verwertung und zum anderen die Zuordnung zu Altholz (nach Gebrauch als Produkt) oder Restholz (Rückstände aus Be- und Verarbeitung, Verschnitt) bzw. zu naturbelassenem und behandeltem Holz fehlen.

Wie durch die oben genannten Quellen ersichtlich, variieren die Mengenangaben über das verfügbare Potential an Abfallholz stark. Nach einer Abschätzung kann von einem Gesamtaufkommen von ca. 7,7 Mio. t/a ausgegangen werden (Bau- und Abbruchholz, Verpackungsholz und Holz aus Möbeln). In den neuen Bundesländern liegen dabei einwohnerspezifische Werte für Bau- und Abbruchholz sowie über Möbelrestholz stark über den westdeutschen Werten (siehe Tabelle 2.1). Nur 0,7 Mio t davon sollen energetisch verwertet worden sein. Bei einem  $H_u$  von 12 MJ/kg ergibt dies 92 PJ/a Gesamtkapazität und



8,4 PJ/a energetische Verwertung [2]. Der Wert für die energetische Verwertung kann laut Schätzung bis 2005 auf etwa 4,5 Mio.t/a ansteigen (Altholzzusammensetzung, Sanierungen, TA Siedlungsabfall), was einer Versechsfachung entsprechen würde.

**Tabelle 2.1 Altholzpotalential nach alten und neuen Bundesländern [5]**

	Einheit	Bau- und Abbruchholz	Verpackungs- holz	Möbel und Sonstiges	Summe
Alte Bundesländer	Kg/E a	51,5	14,5	16,1	<b>82,1</b>
Neue Bundesländer	Kg/E a	99,3	14,5	32,2	<b>146</b>
Bundesrepublik Deutschland	Kg/E a	60,4	14,5	19,1	<b>94,1</b>
<hr/>					
Alte Bundesländer	000 t/a	3.433	966	1.073	<b>5.473</b>
Neue Bundesländer	000 t/a	1.524	222	494	<b>2.241</b>
Bundesrepublik Deutschland	000 t/a	4.957	1.189	1.567	<b>7.714</b>



**Tabelle 2.2: Altholzpotalential nach einzelnen Bundesländern**

Land	Altholzanfall t/a
Schleswig-Holstein	78.946
Mecklenburg-Vorpommern	268.503
Hamburg	1.852
Bremen	411
Niedersachsen	537.513
Sachsen-Anhalt	236.828
Brandenburg	559.217
Berlin	8.479
Nordrhein-Westfalen	524.842
Hessen	523.232
Thüringen	282.752
Sachsen	266.748
Rheinland-Pfalz	501.236
Saarland	53.440
Baden-Württemberg	889.361
Bayern	1.597.389

Die Ergebnisse dieser Untersuchung decken sich mit den Ergebnissen nach [6]. Hier wird von einer jährlichen Entsorgungsmenge von 8 Mio. t/a ausgegangen, was einem Durchschnittsaufkommen von 100 kg/Ea entspricht.



Im Folgenden wurde eine Einteilung nach Herkunft und möglicher Verwendung vorgenommen:

- Holzpackmittel ohne Fremdstoffe (Kisten, Steigen, Paletten) zu 1,0 Mio. t/a geschätzt
- Holz aus dem Baubereich mit Fremdstoffen und z.T. mit Holzschutzmitteln (Fenster, Türen, Treppen, Dachstühle, Bretter) zu 3,2 Mio. t/a
- Holz aus der Aussenanwendung, im Regelfall mit Holzschutzmitteln (Schwellen, Masten, Pfähle) zu 0,7 Mio t/a
- Gebrauchte Möbel und holzbasierte Einrichtungen mit zahlreichen Fremdstoffen ohne Holzschutzmittel mit 2,8 Mio. t/a, und
- Sonstige Holzteile (Kabeltrommeln, Gründungspfähle) mit variabler Belastung zu 0,3 Mio t/a.

### **Einteilung von Abfallholz:**

Zur Zeit kann die Einordnung von Abfallhölzern nach verschiedenen Kriterien bzw.

Vorschriften durchgeführt werden: Der im Folgenden aufgeführte LAGA-Entwurf liegt noch nicht als gültige Ausgabe vor. Es steht der technische und finanzielle Aufwand bzw. die Notwendigkeit für eine Probenahme zur Einstufung der Abfallhölzer in Diskussion.

Ist ein Vorhaben für eine (genehmigungsbedürftige) Anlage geplant, so ist das

Bundesimmissionsgesetz (BImSchV) als Grundlage hierfür bindend. Hier werden Angaben über die Belastung des einzusetzenden Brennstoffes gemacht.



A) Bundesimmissionsgesetz

1) 1. BImSchV, Kleinfeuerungsanlagen-Verordnung:

- Holzbrennstoffe sollen naturbelassen, bzw. allenfalls mit geringen Schadstoffen belastet sein.
- Feuerungsanlagen werden überwiegend handbeschickt, ab 50 kW Nutzwärmeleistung ist auch der Einsatz behandelter Holzabfälle zulässig, z.B. Holzwerkstoffe mit Beschichtung und/oder Farbauftrag; unzulässig sind Holzschutzmittel oder halogenorganische Beschichtungen.
- Rauchgasreinigung erfolgt über einfache Fliehkraftentstauber, Emissionsgrenzwerte nach der 1. BImSchV.

2) 4. BImSchV / Anhang Nr. 1.2, Genehmigungsbedürftige Anlagen:

- Holzbrennstoffe enthalten überwiegend mit holzfremden Stoffen behaftete Abfälle der Holzbe- und -verarbeitung, vor allem Holzwerkstoffe mit Beschichtung und/oder Farbauftrag; unzulässig sind Holzschutzmittel oder halogenorganische Beschichtungen
- Feuerungsanlagen rechtlich genehmigungsbedürftig ab 1 MW Feuerungswärmeleistung, ca. 250 kg Holzdurchsatz pro Stunde.
- Rauchgasreinigung über technisch verbesserte Fliehkraftentstauber und/oder Elektrofilter, Emissionsgrenzwerte nach TA Luft.



3) 4. BImSchV / Anhang Nr. 1.3, Genehmigungsbedürftige Anlagen (TA-Luft):

- Holzbrennstoffe wie unter Punkt 2 beschrieben; hier dürfen sie jedoch auch Holzwerkstoffe enthalten, die mit halogenorganischen Verbindungen beschichtet sind (z.B. PVC).
- Feuerungsanlagen sind rechtlich genehmigungsbedürftig ab 100 kW Feuerungswärmeleistung, das entspricht ca. 25 kg Holzdurchsatz pro Stunde.
- Rauchgasreinigung: Elektrofilter oder Gewebefilter, möglichst Trockenabsorption, Emissionsgrenzwerte nach TA Luft einschließlich Chlorwasserstoff (HCl).

4) 4. BImSchV / Anhang Nr. 1.3, Genehmigungsbedürftige Anlagen (17. BImSchV):

Diese Feuerungsanlagen sind mit Müllverbrennungsanlagen zu vergleichen:

- Holzbrennstoffe wie unter 2 und 3 beschrieben, sie dürfen jedoch auch Holzwerkstoffe enthalten, die mit Holzschutzmitteln behandelt sind (PCP, Lindan, sowie Holzschutzmittel mit Schwermetallen wie Quecksilber, Kupfer, Chrom, Arsen etc.).
- Feuerungsanlagen sind rechtlich genehmigungsbedürftig ab 100 kW Feuerungswärmeleistung, d.h. ca. 25 kg Holzdurchsatz pro Stunde.
- Rauchgasreinigung: Gewebefilter, Trockenabsorption, nasse Rauchgaswäsche, Emissionsgrenzwerte nach 17. BImSchV (u.a. verschärft in Bezug auf Schwermetalle sowie Grenzwert für Dioxine / Furane).



## B) LAGA-Entwurf

In einem Entwurf der LAGA bezüglich "Anforderungen an die Entsorgung von Altholz" werden neben Technischen Regeln für Entsorgung, Probenahme und Analyse die Hölzer in drei Belastungsgruppen eingeteilt:

- H1 Abfälle von nicht behandeltem Holz (naturbelassen, nur mechanisch bearbeitet)
- H2 Abfälle von behandeltem Holz ohne schädliche Verunreinigungen mit drei Untergruppen (H 2.1 ohne halogenorganische Verbindungen und ohne Holzschutzmittel, H2.2 mit halogenorganischen Verbindungen und ohne Holzschutzmittel und H2.3 mit Holzschutzmitteln behandelte sowie mit sonstigen Verunreinigungen)
- H3 Holzabfälle mit schädlichen Verunreinigungen (nach Abfallrecht besonders überwachungsbedürftig).



## Kapitel 3

### Anlagentechnik

Ausgehend von einer Biomassevergasungsanlage mit separater nachgeschalteter Nachbrennkammer mit einer thermischen Leistung von  $Q_{\text{brutto}} = 20 \text{ MW}$  wird im Folgenden auf die eingesetzte Technik und auf die Unterschiede zu der im Teil I beschriebenen Technik eingegangen.

#### 3.1 Brennstofflagerung

Entsprechend der im Teil I beschriebenen 5-MW-Anlage kommt ein im Prinzip identisches Brennstofflager- und Beschickssystem zum Einsatz. Es ist hier, wie schon angesprochen, darauf zu achten, daß keine zu hohen Lagerkapazitäten eingeplant werden, da dies bei den Brandschutzmaßnahmen die Investitionskosten unnötig erhöhen würde. Bei Einsatz von belastetem Alt- und Abbruchholz muß von der Forderung nach separaten Löschwasserrückhalteeinrichtungen ausgegangen werden. Da sich der geforderte Löschwasserbedarf und somit die Größe der Löschwasserrückhalteeinrichtungen nach der gelagerten Brennstoffmenge richtet, ist dies bei der technischen Planung und bei den betriebswirtschaftlichen Betrachtungen entsprechend zu berücksichtigen. Es sind also von Fall zu Fall mit den entsprechenden Behörden die einzuhaltenen Auflagen abzusprechen.



### 3.2 Brennstoffförderung, Schurre mit Doppelpendelklappe

Dieses System entspricht dem der 5-MW-Anlage und wird, dem größeren Brennstoffdurchsatz entsprechend, einem Upscaling unterzogen.

### 3.3 MARTIN-Rückschub<sup>®</sup>-Rost mit Verbrennungsluftsystem

Bei einer thermischen Leistung von 20 MW, entsprechend einem Brennstoffdurchsatz von ca. 5,1 Mg/h, muß im Gegensatz zu der 5-MW-Anlage aus Gründen der thermischen und mechanischen Rostbelastung ein 2-Bahn-Rost eingesetzt werden. Dies erfordert entsprechende Änderungen bei der Grundkonstruktion und bei den Peripheriekomponenten. Zum Beispiel wird bei einem 2-Bahn-Rost auf Grund der optimierten Prozeßführung für jede Rostbahn eine getrennte Luftversorgung realisiert.

Die Hydraulikantriebe für Beschickung, Rostantriebe und Regelklappen und größeren Zünder seien hier beispielhaft für den notwendigen Mehraufwand an konstruktiven und regelungstechnischen Arbeiten aufgeführt und sind bei der Kostenkalkulation zu berücksichtigen.

Die prinzipielle Arbeitsweise und der Aufbau des MARTIN-Rückschub<sup>®</sup>-Rostes entspricht der 5-MW-Anlage und ist im Teil I unter Punkt 2.4 MARTIN-Rückschub<sup>®</sup>-Rostes mit spezieller Beschickung und Luftsystem ausführlich beschrieben.



### 3.4 Nachbrennkammer

Bei der nachgeschalteten Nachbrennkammer muß aus verfahrenstechnischen und wirtschaftlichen Gründen, anders als bei dem Rost, eine veränderte Technik eingesetzt werden.

Die Überlegungen, die hierfür zugrundegelegt wurden, sind im Folgenden erläutert.

Zielsetzung ist dabei, nähere Aussagen zu möglichen Kostenverringerungen durch optimierte Betriebsparameterwahl zu erhalten und somit in einem künftigen Schritt die Wirtschaftlichkeitsgrenze der Anlagengröße ermitteln zu können.

#### 3.4.1 Konzeptübersicht der Nachbrennkammer

Ausgehend von der im Rahmen des Projektes Biomassevergasungsanlage Hartha detailliert erarbeiteten Auslegung und Konstruktion einer zweistufigen Nachbrennkammer mit einer Feuerungswärmeleistung von 5 MW für die Verbrennung der auf dem MARTIN-Rückschub<sup>®</sup>-Rost erzeugten Schwelgase wurde für eine 20-MW-Anlage ein optimiertes Konzept erarbeitet. Analog zu der 5-MW-Anlage sind die technischen Anforderungen wie

- optimaler Ausbrand und Wirkungsgrad
- minimierte Abgasmenge und minimierte Anlagenkosten
- Ausnutzung aller primären Minderungspotentiale (NO<sub>x</sub>)
- Gewährleistung maximaler Anlagenverfügbarkeit durch Variation des Betriebsparameterfeldes

zu erfüllen.



Für diese Aufgabe wurden die drei Grobkonzepte

- a) Brennkammer (BK) ohne Ascheerweichung mit Temperaturregelung über Abgasrückführung (AGR) (entspricht dem Konzept der 5-MW-Anlage)
- b) Schmelzkammerfeuerung (SKF) mit AGR zur Einstellung einer definierten maximalen Kesseleintrittstemperatur
- c) Schmelzkammerfeuerung mit Wasserkühlung als integriertes Kesselkonzept zur Minimierung der AGR

näher untersucht und ein Vergleich zur 5-MW-Anlage durchgeführt.

### 3.4.2 Festlegung der Randbedingungen

Den Berechnungen ist als Einsatzbrennstoff der Referenzbrennstoff analog dem Projekt Biomassevergasung Hartha zugrundegelegt. Hierbei handelte es sich um Alt- und Abbruchholz mit einem  $H_u$ -Wert von 14.200 kJ/kg. Für die Verweilzeit nach der letzten Verbrennungsluftzugabe in der Nachbrennkammer werden 0,75 Sek. angesetzt; die restliche Verweilzeit (1,25 Sek.) muß im anschließenden Kessel im Temperaturbereich bis 850 °C verwirklicht werden (Forderung der 17. BImSchV). Alle Daten sind für eine Gesamtluftzahl von  $\lambda = 1,3$  bezogen auf die Gesamtanlage berechnet.

#### Konzept a) Brennkammer (BK) ohne Ascheerweichung mit Temperaturregelung über Abgasrückführung (AGR)

Für das Konzept gemäß Projekt Biomassevergasung Hartha (ohne Ascheerweichung) wird die Betriebstemperatur auf maximal 1050 °C festgelegt. Hohe Temperaturen fördern zwar



die Verbrennungsumsätze und verringern damit die notwendigen Verweilzeiten, jedoch muß die Ascheerweichung vermieden werden, da Schlackeanbackungen zu Betriebsstörungen bzw. –ausfällen führen können. Das Temperaturniveau wird bei gestufter Verbrennungsluftzugabe (unterstöchiometrischer Drallbrennkammer (= NBK 1) und überstöchiometrischer Nachbrennkammer (=NBK 2)) durch AGR eingestellt. Das Abgas wird bei maximal 200 °C hinter dem Abhitzekegel entnommen und soll durch gezielte Zuführung der besseren Durchmischung und damit dem besseren Ausbrand dienen.

#### Konzept b) Schmelzkammerfeuerung (SKF) mit AGR zur Einstellung einer definierten maximalen Kesseleintrittstemperatur

Eine wesentliche Erhöhung der Brennkammertemperatur führt zur Schmelzkammerfeuerung, bei der Aschebestandteile in den schmelzflüssigen Zustand überführt und z.B. über eine Wassertasse als Granulat abgeführt werden können. Die Temperatur muß einerseits (durch Luftzugabe) so gesteuert werden, daß immer die Schlackeerweichung gewährleistet ist, andererseits können (örtlich) zu hohe Temperaturen zu Ausmauerungsschäden führen, dies insbesondere bei Eutektikabildung der Feuerfest-Zustellung in Verbindung mit eingebrachten Salzen aus den Biomassen. In der Literatur werden für Schmelzkammerfeuerungen abhängig vom Einsatzgut Temperaturen von 1250 bis 1450 °C und höher genannt.

Schlackeverflüssigung bei Holzverbrennungsanlagen, z.B. Holzschnitzleinblasung, soll bei etwa 1300°C gewährleistet sein. Für eine ausreichende Standzeit bei nicht zu hohen Investkosten wird als Betriebstemperatur 1350 °C für die SKF gewählt, und für die NBK 2 werden max. 1250 °C angesetzt.



Konzept c) Schmelzkammerfeuerung mit Wasserkühlung als integriertes Kesselkonzept zur Minimierung der AGR

Die Begrenzung des Temperaturniveaus kann statt durch Zugabe eines inerten Kühlmittels (AGR) auch durch die Wärmeabfuhr über die Brennkammerwände erzielt werden. Hierbei müssen allerdings zur Vermeidung von Quencheffekten mit den bekannten negativen Auswirkungen Wandoberflächentemperaturen größer 850 °C („heiße Wände“) verwirklicht werden. Es wird eine Konstruktion aus Flossenrohrwänden, die innen bestiftet und mit SIC-Material belegt sind, vorgeschlagen. Je nach Material, FF-Dicke und Schlackeschichtdicke lassen sich mit diesem Wandaufbau Wärmestromdichten von 80 bis 100 kW/m<sup>2</sup> erzielen.

**3.4.3 Bewertung**

In der Übersichtstabelle 3.1 ist der Abgasvolumenstrom für die 3 Konzepte für 5 und 20 MW aufgelistet. Als Eingangswerte für die Berechnung des Abgasvolumenstromes werden dabei jeweils die Schwelgase aus der Rostvergasung bei  $\lambda_{\text{Rost}} = 0,4$  und eine Verbrennungslufttemperatur von 40 bis 60 °C (vorgewärmte Luft aus dem Doppel-/Kühlmantel der Brennkammer, s.a. Teil I Pkt. 3.2 Nachbrennkammer) zugrundegelegt.



**Tabelle 3.1: Abgasmengen bei unterschiedlicher Verfahrensführung für 5 MW und 20 MW**

Konzept	Verfahrensführung	5 MW Anlage	20 MW Anlage
		Abgasvolumenstrom Eintritt Kessel [Nm <sup>3</sup> /h]	Abgasvolumenstrom Eintritt Kessel [Nm <sup>3</sup> /h]
A	Abgasrückführung zur Kühlung der Nachbrennkammer	11.500	45.008
B	NBK als Schmelzkammerfeuerung mit zusätzlicher Abgasrückführung	8.846	35.549
C	NBK als Schmelzkammerfeuerung und mit Wasserkühlung ohne Abgasrückführung	6.686	26.745

Eine Überprüfung des Wärmedurchganges für die höheren Innentemperaturen des Schmelzkammerbetriebes zeigte, daß der beim Projekt Biomassevergasung Hartha gewählte Wandaufbau mit einer Gesamtdicke von etwa 300 mm beibehalten werden kann.

In den Stoffwertetabellen 3.2 und 3.3 zu Feuerfestmaterialien sind die spezifischen Kenngrößen von marktüblichen Materialien aufgelistet. Man sieht, daß die auftretenden Temperaturen bei Konzept c) beherrscht werden können, wobei jeweils nur gefährdete Bereiche („Luftzugabering“) mit höherwertigem Material zugestellt sein müssen.



Tabelle 3.2: Stoffwerte der Feuerfest- und Wärmeisulationsmaterialien

	Wärmeleit- koeffizient [W/(mK)]	bei mittl. Temperatur [° C]	Dichte gewählt [kg/m <sup>3</sup> ]	Dichtebereich	
				von [kg/cm <sup>3</sup> ]	bis [kg/cm <sup>3</sup> ]
Feuerbeton Kergun Ca 28 HF	1,050	1000	2400	2300	2500
Feuerleicht- steine Gruppe 23	0,180	800	700	500	900
Calcium- Silikatplatte Silcal 900	0,092	400	240		
Keramische Fasermatte	0,050	100	128		

Tabelle 3.3: Stoffwerte der Feuerfest- und Wärmeisulationsmaterialien

	Anwendungsgrenztemperatur in °C		Dichte in kg/m <sup>3</sup>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> in%
Feuerbeton	1470 bis 1600		2,03 bis 2,45		46-69
Hochtoner- den-Steine	1650		2,5		ca 60
Feuerleicht- stein JM 26	1430		0,78		58
Feuerleicht- stein JM 23	1260		0,48		37
Molerstein	900		0,5		12
Isolierplatten	900		0,25		
keram. Faser	1260		0,128	unverdichtet	53



Im einzelnen wurde die Luftzugabe  $\lambda$  Drallbrennkammer in die Drallbrennkammer in Schritten von 0,1 zwischen 0,3 und 0,6 variiert und die benötigten Mengen an Verbrennungsluft und rezirkuliertem Abgas und die sich daraus ergebenden Abgasmengen berechnet.

Eine Abschätzung bezüglich der Wandflächen für die Drallbrennkammer (=NBK 1) aus den Hauptabmessungen im Fall c) zeigte, daß sich hier nur 5 bis 10 % der entstehenden Wärme auskoppeln ließe. Der notwendige konstruktive und apparatetechnische Aufwand wäre hierfür aber unverhältnismäßig hoch, weshalb ausschließlich die Wände der NBK 2 aus Flossenwänden aufgebaut sein sollten, der Kühlkreislauf der Nachbrennkammer ist in den Wasser-/Dampfkreislauf der Gesamtanlage mit integriert.

#### **3.4.5 Vergleich der NBK-Konzepte:**

Vergleich Konzept a) und c):

Der Vergleich zwischen Konzept a) Brennkammer ohne Ascheerweichung mit Temperaturregelung über Abgasrückführung und Konzept c) Schmelzkammerfeuerung mit Wasserkühlung als integriertes Kesselkonzept zur Minimierung der AGR im Leistungsbereich von 20 MW zeigt auf, daß durch Konzept c) eine Abgasvolumenstromreduzierung im Bereich von ca. 40 % erreicht werden kann.

Vergleich Konzept b) und c):

Es ist ersichtlich, daß sich im Konzept c) für  $\lambda$  Drallbrennkammer = 0,3 beim gewählten Temperaturniveau und dem Referenzbrennstoff der günstigste Fall mit niedrigster Gesamtabgasmenge und damit kleinster Brennkammer ergibt, da die Abgasrückführung auch



in die obere Brennkammer entfällt. D.h., es kann auf die gesamte Abgasrückführung mit Leitung, Ventilator und Verteilung verzichtet werden. Eine Wassereinspritzung zum Abfangen von Temperaturspitzen kann als Notfallabsicherung vorgesehen werden.

Als Ergebnis ist hieraus abzuleiten, daß es für die hier betrachtete Gesamtanlage sinnvoll ist, eine wassergekühlte Nachbrennkammer, die im Schmelzkammerbetrieb gefahren wird, einzusetzen.

Dieses ausgewählte Konzept wird bei der späteren Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zugrundegelegt.

### **3.5 Kessel**

Als Abhitzekeessel wird, analog zu dem Projekt Biomassevergasung Hartha, ein konventioneller Wasserrohrkeessel eingesetzt. Die Gründe für diesen Systementscheid sind im Teil 1 unter Punkt 3.3 Kessel detailliert beschrieben.

### **3.6 Abgasreinigung**

Zu grundegelegt wird, wie auch bei dem Projekt Biomassevergasung Hartha, ein System, welches nach dem konditionierten Trockensorptionsverfahren arbeitet und die Werte der 17.BimSchV einhält bzw. unterschreitet. Die Entscheidungskriterien für das System und die Funktionsbeschreibung der Komponente sind in Teil 1 unter Punkt 3.4 Abgasreinigung erklärt.



### 3.7 MSR- und Sicherheitstechnik

Die Anforderungen an die MSR- und Sicherheitstechnik entsprechen denen der 5 MW-Anlage bei dem Projekt Biomassevergasung Hartha und sind im Teil 1 unter Pkt. 3.6, MSR- und Sicherheitstechnik, erläutert.

### 3.8 Energienutzungskonzepte

Es werden im Rahmen dieser Studie zwei Konzepte untersucht und gegenübergestellt.

#### a) Kraft-Wärme-Kopplung:

Bei diesem Konzept wird über eine Turbine elektrische Energie erzeugt, der Turbinenabdampf wird im Primärkreislauf des Fernwärme-Wärmetauschers kondensiert, im Kondensatbehälter gesammelt und über die Kondensatpumpen dem Entgaser zugeführt. Im Sekundärkreislauf des Fernwärme-Wärmetauschers wird der vom Wärmeabnehmer kommende Rücklauf von 70 °C auf 90 °C erwärmt und im geschlossenen Kreislauf dem Wärmeabnehmer wieder zugeführt. Da die Wärmenutzung im wesentlichen von den am Standort vorherrschenden Bedingungen abhängt, muß dies bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Fall zu Fall separat bewertet werden. Bei dem in dieser Studie betrachteten Konzept wird davon ausgegangen, daß eine 75%ige Wärmeabgabe bezogen auf 7.500 Betriebsstunden abgenommen wird.



b) Verstromung:

Bei dem zweiten Konzept wird analog zum Biomasseprojekt Hartha eine reine Verstromung betrachtet. Eine für diesen Zweck geeignete Kondensationsturbine (Kondensationsdruck 0,2 bar<sub>abs.</sub>) wird eingesetzt. Der Turbinenabdampf wird im luftgekühlten Kondensator niedergeschlagen, im Kondensatbehälter gesammelt und über die Kondensatpumpen dem Entgaser zugeleitet. Auf eine Wärmenutzung wird aufgrund des niedrigen Energieniveaus des Turbinenabdampfes verzichtet. Dies könnte in Betracht gezogen werden, wenn sich in unmittelbarer Nähe ein geeigneter Abnehmer, wie z.B. eine Gärtnerei, befände.

### 3.9 Gebäude

Für die Machbarkeitsstudie einer Biomassevergasungsanlage 20 MW wird unter dem Punkt „Gebäude“ von einer Neuerrichtung ausgegangen. Eine Abschätzung der Investitionskosten für einen Neubau mit den benötigten Nebeneinrichtungen und einer technischen Gebäudeausrüstung wurde durchgeführt und kommt bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zum Ansatz. Für den Erwerb des Grundstückes sowie für Erwerbsnebenkosten, Vermessungen, Abbrucharbeiten eventueller Altbauten, Entsorgung von Altlasten oder Erschließung des Grundstückes wurde kein Kostenansatz in Rechnung gestellt.



---

## **Kapitel 4**

### **Investitionskosten und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für eine 20 MW-Anlage**

Im anschließenden Kapitel werden, basierend auf den oben beschriebenen Komponenten, die Kosten ermittelt und in Tabelle 4.1 (nur Verstromung) und 4.2 (Kraft-Wärme-Kopplung) zusammengestellt.

Bei diesen Kosten sind die Investitionen für Projektvorplanung, begleitendes Projektmanagement und Genehmigungsplanung nicht berücksichtigt. Zuschläge bei den Anlagenkomponenten sind ebenfalls nicht berücksichtigt.

Lfd. Nr.	Aufschlüsselung Hardware:	20 MW
1	Brennstoffaufbereitung	
1.1	Holztransport	2.500.000
	Schlacketransport	
	<b>Zwischensumme</b>	<b>2.500.000</b>
2	Vergasungsanlage:	
2.1	Vergasungsrost m. Ausmauerung	2.601.000
2.2	Nachbrennkammer mit Ausmauerung	600.000
2.3	Gebläse	600.000
2.4	Brenner (Zünd- und Stützbrenner)	200.000
2.5	Stahlbau	
	<b>Zwischensumme</b>	<b>4.001.000</b>
3	Kessel	
3.1	Dampferzeuger	2.500.000
3.2	Wasseraufbereitung	150.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>2.650.000</b>
4	Abgasreinigung	
4.1	Abgasreinigung	2.020.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>2.020.000</b>
5	Wasser/Dampf-Kreislauf	
5.1	Wasser/Dampfkreislauf	1.400.000
5.2	Turbine	1.147.500
5.3	Luko	2.628.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>5.175.500</b>
6	Bau	
6.1	Gebäude und Holzlagerung	3.900.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>3.900.000</b>
7	zusätzliche Ausrüstungsgüter	
7.1	Kamin	80.000
7.3	Sonstiges (z.B. Außenanlagen m. Zufahrtswegen, Öllagerung m. Verrohrung etc.)	400.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>480.000</b>
8	Emissionsmeßeinrichtung	
8.1	Emissionsmeßeinrichtung	434.600
	<b>Zwischensumme</b>	<b>434.600</b>
9	E- und MSR-Technik	
9.1	E- und MSR-Technik m. PL-System	2.540.000
9.2	Notstrom	250.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>2.790.000</b>
10	Engineering	
10.1	Engineering	2.400.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>2.400.000</b>
11	Unvorhergesehenes, Versicherung	
11.1	Unvorhergesehenes, Versicherung	2.400.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>2.400.000</b>
	<b>Gesamtsumme</b>	<b>28.751.100</b>

Tab. 4.1 Kosten für eine 20-MW-Biomassevergasungsanlage mit reiner Verstromung



Lfd. Nr.	Aufschlüsselung Hardware:	20 MW
1	Brennstoffaufbereitung	
1.1	Holztransport	2.500.000
	Schlacketransport	
	<b>Zwischensumme</b>	<b>2.500.000</b>
2	Vergasungsanlage:	
2.1	Vergasungsrost m. Ausmauerung	2.601.000
2.2	Nachbrennkammer mit Ausmauerung	600.000
2.3	Luft- u. Abgassystem m. Rohrleitung und Gebläse	600.000
2.4	Brenner (Zünd- und Stützbrenner)	200.000
2.5	Stahlbau	
	<b>Zwischensumme</b>	<b>4.001.000</b>
3	Kessel	
3.1	Dampferzeuger	2.500.000
3.2	Wasseraufbereitung	150.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>2.650.000</b>
4	Abgasreinigung	
4.1	Abgasreinigung	2.020.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>2.020.000</b>
5	Wasser/Dampf-Kreislauf	
5.1	Wasser/Dampfkreislauf	1.400.000
5.2	Turbine	978.000
5.3	Luko	1.260.000
5.4	Wärmetauscher f. Fernwärme	100.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>3.738.000</b>
6	Bau	
6.1	Gebäude und Holzlagerung	3.900.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>3.900.000</b>
7	zusätzliche Ausrüstungsgüter	
7.1	Kamin	80.000
7.3	Sonstiges (z.B. Außenanlagen m. Zufahrtswegen, Öllagerung m. Verrohrung etc.)	400.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>480.000</b>
8	Emissionsmeßeinrichtung	
8.1	Emissionsmeßeinrichtung	434.600
	<b>Zwischensumme</b>	<b>434.600</b>
9	E- und MSR-Technik	
9.1	E- und MSR-Technik m. PL-System	2.540.000
9.2	Notstrom	250.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>2.790.000</b>
10	Engineering	
10.1	Engineering	2.400.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>2.400.000</b>
11	Unvorhergesehenes, Versicherung	
11.1	Unvorhergesehenes, Versicherung	2.400.000
	<b>Zwischensumme</b>	<b>2.400.000</b>
	<b>Gesamtsumme</b>	<b>27.313.600</b>

Tabelle 4. 2 Kosten für eine 20-MW-Biomassevergasungsanlage mit KW-Kopplung



---

In den Tabellen 4.3 und 4.4 wird beispielhaft eine Betriebskostenaufstellung dargestellt. Es zeigt sich, daß bei der reinen Verstromung ein Preis für die Tonne Alt- und Abbruchholz von ca. 30 DM erzielt werden muß. Bei dem Fall Kraft-Wärme-Kopplung liegt der geforderte Mindestpreis bei ca. 36 DM, um die Anlage kostendeckend betreiben zu können.



Betriebskostenaufstellung					
Auslegungsdaten:			Lieferumfang:		
Mülldurchsatz:	1 x	5,1 Mg/h	Biomassevergassungsanlage 20 MW		
Heizwert:		14.200 kJ/kg	Verstromung		
Jährl. Betriebsstunden:		7.500 h/a			
Jahresdurchsatzleistung:		ca. 38.250 Mg/a	1 Linie		
<b>1. Investitionskosten:</b>			<b>Jahreskosten (DM)</b>	<b>DM/Mg</b>	<b>Anteil %</b>
a.) Verf.-techn. Gesamtanl.	24.851.100	DM			
Abschreibung:	15,00	Jahre			
Annuität:	11,68	-			
Zinssatz:	0,08	-	2.903.342,70	75,90	52,99
b) Baukosten	3.900.000	DM			
Abschreibung:	20,00	Jahre			
Annuität:	10,19	-			
Zinssatz:	0,08	-	397.223,61	10,38	7,25
Zwischensumme					
<b>Investitionskosten:</b>			<b>3.300.566,32</b>	<b>86,29</b>	<b>60,24</b>
<b>2. Verbräuche:</b>		<b>Preis</b>	<b>Verbrauch</b>		
Zusatzbrennstoff (Heizöl EL)		0,52 DM/l	1,20 m³/h 400,00 h/a	249.600,00	6,53
Brauchwasser		1,80 DM/m³	1,26 m³/h	17.010,00	0,44
Absorptionsmittel		310,00 DM/Mg	0,03060 Mg/h	71.145,00	1,86
Zwischensumme der Verbräuche:				337.755,00	8,83
<b>3. Reststoff - Entsorgung:</b>					
Reaktionsprodukt (Asche u. Rest AGR)		210,00 DM/Mg	0,07 Mg/h	116.550,00	3,05
Schlacke		60,00 DM/Mg	0,20 Mg/h	90.000,00	2,35
Zwischensumme der Reststoff - Entsorgung:				206.550,00	5,40
<b>4. Nebenkosten:</b>					
Personalkosten, Verwaltungskosten, Versicherungen, Wartungs- und Reparaturkosten					
Zwischensumme der Nebenkosten:				1.634.163,12	42,72
<b>Gesamtsumme der Ausgaben:</b>				<b>5.479.034,44</b>	<b>143,24</b>
<b>Einnahmen:</b>					
el. Energie Generator			4.219 kW		
Einnahmen: Strom		0,15 DM/kWh	3.869 kW	4.352.625,00	113,79
<b>Summe der Einnahmen:</b>				<b>4.352.625,00</b>	<b>113,79</b>
<b>Gesamtkosten pro Tonne Brennstoff</b>				<b>29,45 DM</b>	

Tabelle 4.3 Betriebskostenaufstellung 20 MW Verstromung



Betriebskostenaufstellung					
Auslegungsdaten:			Lieferumfang:		
Mülldurchsatz:	1 x	5,1 Mg/h	Biomassevergasanlage 20 MW		
Heizwert:		14.200 kJ/kg	Kraft-Wärme-Kopplung		
Jährl. Betriebsstunden:		7.500 h/a			
Jahresdurchsatzleistung:		ca. 38.250 Mg/a	1 Linie		
<b>1. Investitionskosten:</b>			<b>Jahreskosten (DM)</b>	<b>DM/Mg</b>	<b>Anteil %</b>
a.) Verf.-techn.Gesamtanl.	23.413.600	DM			
Abschreibung:	15,00	Jahre			
Annuität:	11,68	-			
Zinssatz:	0,08	-	2.735.400,23	71,51	52,06
h) Baukosten	3.900.000	DM			
Abschreibung:	20,00	Jahre			
Annuität:	10,19	-			
Zinssatz:	0,08	-	397.223,61	10,38	7,56
<b>Zwischensumme Investitionskosten:</b>			<b>3.132.623,85</b>	<b>81,90</b>	<b>59,62</b>
<b>2. Verbräuche:</b>	<b>Preis</b>	<b>Verbrauch</b>			
Zusatzbrennstoff (Heizöl EL)	0,52 DM/l	1,20 m³/h 400,00 h/a	249.600,00	6,53	
Brauchwasser	1,80 DM/m³	1,26 m³/h	17.010,00	0,44	
Absorptionsmittel	310,00 DM/Mg	0,03060 Mg/h	71.145,00	1,86	
<b>Zwischensumme der Verbräuche:</b>			<b>337.755,00</b>	<b>8,83</b>	<b>6,43</b>
<b>3. Reststoff - Entsorgung:</b>					
Reaktionsprodukt (Asche u. Rest AGR)	210,00 DM/Mg	0,07 Mg/h	116.550,00	3,05	
Schlacke	60,00 DM/Mg	0,20 Mg/h	90.000,00	2,35	
<b>Zwischensumme der Reststoff - Entsorgung:</b>		<b>2903</b>	<b>206.550,00</b>	<b>5,40</b>	<b>3,93</b>
<b>4. Nebenkosten:</b>					
Personalkosten, Verwaltungskosten, Versicherungen, Wartungs- und Reparaturkosten					
<b>Zwischensumme der Nebenkosten:</b>			<b>1.577.813,12</b>	<b>41,25</b>	<b>30,03</b>
<b>Gesamtsumme der Ausgaben:</b>			<b>5.254.741,97</b>	<b>137,38</b>	<b>100,00</b>
<b>Einnahmen:</b>					
el.Energie Generator		3.026 kW			
Einnahmen:					
Strom	0,15 DM/kWh	2.676 kW	3.010.500,00	78,71	77,32
Fernwärme	0,01 DM/kWh	11.775 kW	883.125,00	23,09	22,68
<b>Summe der Einnahmen:</b>			<b>3.893.625,00</b>	<b>101,79</b>	<b>100,00</b>
<b>Gesamtkosten pro Tonne Brennstoff</b>				<b>35,58 DM</b>	

Tabelle 4.4 Betriebskostenaufstellung 20 MW KWK



Für Biomassen werden ebenfalls weite Preisspannen genannt. So bewegen sich die für Anlagenbetreiber aufzuwendenden Beträge bei:

- Stroh: 80 - 135 DM/t
- Schnellwachsende Energiepfl. (z.B. Miscanthus) 120 - 315 DM/t
- Naturbelassene Hölzer aus der Forstwirtschaft u. Landschaftspflege: 0 - 220 DM/t

Ab Sommer 1998 war ein starker Preisverfall von Alt- und Abbruchholz in den neuen Bundesländern zu verzeichnen. Dies wird u.a. mit dem Rückgang der Bautätigkeit im Vergleich zum Anfang der 90er Jahre und somit auch mit der Sanierung und Abbrucharbeiten von bestehenden Gebäuden begründet. Es wird davon ausgegangen, daß der Preis sich an den der alten Bundesländer anpassen wird. Ein Preis, je nach Region und Belastung des Brennstoffes, im Bereich von ca. 20 bis 40 DM/t inkl. Aufbereitung und Transport kann als realistisch angesehen werden.

Im Diagramm 4.1 wird an Hand der in Teil 1 und Teil 2 betrachteten Anlagen der mögliche Verlauf des Verlustes/Gewinnes dargestellt. Es sei hier nochmals erwähnt, daß Kosten für Grundstückserwerb und Erschließung, und bei KW-Kopplung das Fernwärmenetz zum Abnehmer, aufgrund der starken Abhängigkeit vom Standort nicht berücksichtigt ist. Ebenfalls sind Kosten für begleitendes Projektmanagement, Genehmigungsplanung und anfallende Zuschläge auf Komponenten nicht einkalkuliert.



#### 4.1 Brennstoffpreise

Der Preis für Altholz und insbesondere belastete Hölzer richtet sich nach derzeitiger Entsorgungsstruktur und sonstigen anfallenden Entsorgungskosten. Er ist einer Dynamik ausgesetzt, sobald neue und alternative Verwertungswege aufgezeigt werden und Konkurrenzsituationen entstehen.

Die Spannweite möglicher Annahmekosten (ohne Transportkosten) von Alt- und Abbruchholz beträgt nach [7] je nach Region und Konkurrenzsituation 40 bis 880 DM/t.

Andere Erhebungen bis Anfang 1998 ergeben erlösbare Preise für Altholz zwischen 20 und 250 DM/t, wobei für kontaminiertes Altholz (nicht aufbereitet) eine relativ stabile Spanne von 150 bis 250 DM/t angegeben wird [8].

Je nach vorliegendem Fall sind Aufbereitungskosten hinzuzurechnen. Sie betragen nach [9] etwa 80 bis 100 DM/t.

Eigene Recherchen, die im Frühjahr 1998 im Rahmen des unter Teil 1 beschriebenen Projektes durchgeführt wurden, ergaben Preise für unaufbereitetes Alt- und Abbruchholz je nach Belastung und Verunreinigung von 70 DM/t bis 220 DM/t. Der Durchschnittspreis wurde mit 120 DM/t ermittelt. Für die Aufbereitung und den Transport müssen ca. 30 bis 50 DM/t berücksichtigt werden, so daß sich ein Preis von ca. 70 DM/t Alt- und Abbruchholz ergibt.

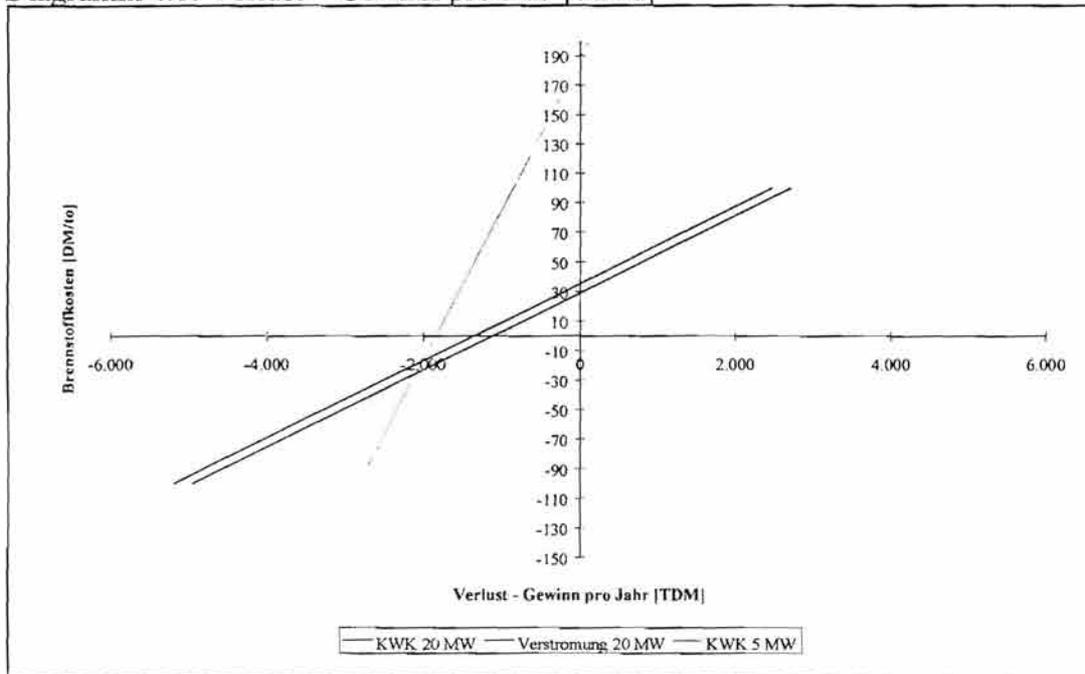


---

## Literaturverzeichnis

- 1 Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz, Energie und Klima“ Band 3: Erneuerbare Energien, Economica Verlag, C.F. Müller, Bonn, Karlsruhe 1990.
- 2 Becher, S.; Kaltschmitt, M.; Frühwald, A.: CO<sub>2</sub>-Substitutionspotential und CO<sub>2</sub>-Minderungskosten einer energetischen Nutzung fester Biomassen in Deutschland, Brennstoff-Wärme-Kraft (BWK), Bd. 47, Nr. 1 / 2, (1995) 33.
- 3 Nitsch, J.: Energetische Nutzung von Biomasse – Potentiale, Kosten und mittelfristige Perspektiven, DLR Stuttgart, 1995.
- 4 Hartmann, H.; Strehler, A.: Die Stellung der Biomasse, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Band 3, Münster, 1995.
- 5 Hartmann, H.: Energetische Nutzung von biogenen Festbrennstoffen, MR Management & Technik Nr. 6/1995, München/Frankfurt 1995.
- 6 Marutzky, R. (Hrsg.): Alt- und Restholz. Energetische und stoffliche Verwertung, Beseitigung, Verfahrenstechnik, Logistik. Springer-VDI-Verlag, Sonderpublikation Umwelt, Düsseldorf, 1997.
- 7 Keller-Reinspach, H.W.: Wirtschaftlichkeitsvergleich von Anlagen zur thermischen Altholzverwertung, Loseblattsammlung Müllhandbuch, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin 1997.

Diagramm 4.1: Verlust – Gewinn pro Jahr [TDM]



Es zeigt sich, daß ein wirtschaftlicher Betrieb einer Biomassevergasungsanlage mit einem thermischen Leistungsbereich von 20 MW erreicht werden kann, wenn die Brennstoffpreise sich im oberen Bereich des genannten Spektrums bewegen. Bei Berücksichtigung von Zuschlägen, Genehmigungsplanung und projektbegleitendem Management müßte der Brennstoffpreis zwischen 70 und 80 DM/t liegen. Wie schon eingangs erwähnt, ist ein wesentlicher Faktor für die Umsetzung solcher Projekte der Standort mit seinen Randbedingungen. Hierbei ist im Besonderen die Brennstoffsituation (Aufkommen, konkurrierende Entsorgungsmöglichkeiten, Vergütung für Wärmeabgabe etc.) maßgeblich entscheidend für ein Pro oder Contra einer Biomassevergasungsanlage. Weiterhin wird deutlich, daß Anlagen mit ca. 5 MW thermischer Leistung keine Wirtschaftlichkeit unter den heutigen Randparametern erreichen.