

Anlagenplanung und wirtschaftliche Aspekte

Planung und Wirtschaftlichkeit einer Holzfeuerungsanlage

erschienen in:

BWK Bd. 51 (1999), Nr. 1/2 Januar/Februar, S. 51 ff.

BETRIEB&ENERGIE 2/98, S. 13 ff. unter dem Titel "Feuer frei fürs Holz"



Dipl.-Ing. (FH) Peter Ganter, Dipl.-Ing. Jens Kötting

IGEU Cramer, Ganter, Kötting GbR mbH

Fichtenstraße 2, 82061 Neuried

Tel.: 0 89 / 7 59 83 - 34 Fax: 0 89 / 7 59 83 - 39

Der Einsatz von Holz zur Energieerzeugung in Heizwerken und Heizkraftwerken ist ökologisch sinnvoll und bei Einhaltung gewisser Rahmenbedingungen wirtschaftlich attraktiv darstellbar. Die größten Vorteile des Brennstoffes Holz ist neben der CO₂-Neutralität die Tatsache, daß Holz auch auf lange Sicht in sehr großer Menge zur Verfügung stehen wird. Entscheidend für den wirtschaftlichen Betrieb einer Holzfeuerungsanlage ist eine dem jeweiligen Anwendungsfall angepasste Technik. Welche Faktoren einen wirtschaftlichen Betrieb derartiger Anlagen entscheidend beeinflussen, soll in diesem Beitrag erläutert werden.

Holzfeuerungsanlagen können heutzutage mit hoher Sicherheit und Verfügbarkeit bei Einsatz modernster Technik und Einhaltung strengster Emissionsgrenzwerte betrieben werden. Der Brennstoff „Holz“ ist einer der „saubersten“ Energiequellen, der hilft, wichtige, nur begrenzt verfügbare Rohstoffe einzusparen und die Umwelt nachhaltig zu entlasten. Die EU, der Bund und die Länder haben daher die unterschiedlichsten Förderprogramme aufgelegt, um die technische Entwicklung voranzutreiben und die Verbreitung moderner Technologien zu unterstützen. Die im Vergleich zur Verbändevereinbarung entsprechend höhere Vergütung nach dem Stromeinspeisungsgesetz für Strom aus regenerativen Energieträgern ermöglicht es, die zusätzlich erforderlichen Investitionskosten, die für die Stromerzeugung gegenüber dem reinen Heizbetrieb notwendig sind, auszugleichen und Anlagen auch an dezentralen Standorten wirtschaftlich zu betreiben.

Technische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen

An einem fiktiven Projekt soll die Festlegung der wesentlichen Rahmenbedingungen für ein Heizkraftwerk verdeutlicht werden, das zur Energieerzeugung mit 35 % Waldhackschnitzeln, 15 % Landschaftspflegegut und 50 % Resthölzern (Brennstoffe nach Nr. 1.2 des Anhangs der 4. BImSchV) realisiert werden soll. Um eine Kraft-Wärme-Kopplung nach heutigem Stand der Technik, also z. B. mit einer Dampfturbine realisieren zu können, muß die minimale Feuerungswärmeleistung je nach gewählten Dampfparametern bei ca. 5...7 MW liegen. Nach oben hin begrenzt wird die mögliche Feuerungswärmeleistung durch auftretende Logistikprobleme bei der Brennstoffversorgung und durch eine Begrenzung der installierten Generatorleistung auf 5 MW im Stromeinspeisungsgesetz.

Die Feuerungswärmeleistung der betrachteten, fiktiven Anlage wird für einen jährlichen Brennstoffanfall von ca. 20.000 t Holz und Biostoffe mit einem durchschnittlichen Heizwert von 15.000 kJ/kg bei 8.000 Vollast-Betriebsstunden mit ca. 10 MW festgelegt. Der erzeugte Strom abzüglich des Eigenbedarfes kann in das öffentliche Netz eingespeist werden. Aus Gründen der Flexibilität auf der Brennstoffseite sollte die

Feuerung inkl. der Rauchgasreinigung so ausgelegt werden, daß ein späterer Einsatz von Altholz nach 17. BImSchV ohne größere Nachrüstungsmaßnahmen möglich ist.

Holz – ein komplizierter Brennstoff

Holz ist entgegen der landläufigen Meinung kein einfacher, längst exakt erforschter Monobrennstoff wie Öl oder Gas, sondern vielmehr ein äußerst schwieriger, vielgestaltiger Brennstoff. So entscheidet über die Wahl der richtigen Technik nicht nur die Herkunft, also die Inhaltsstoffe des Holzes bzw. der Holzabfälle, sondern auch sein Feuchtegehalt, die Stückigkeit etc. Bereits während der Vorprojektierung sollten die Brennstoffmengen und -qualitäten möglichst genau definiert werden. Auf Grund der großen wirtschaftlichen Bedeutung des Brennstoffpreises bei Anlagen dieser Größenordnung sollte die Feuerungsanlage so ausgelegt werden, daß sie in gewissen Grenzen flexibel auf Änderungen des Brennstoffes reagieren kann.

Die Brennstoffpalette hat ebenfalls Auswirkungen auf die Auslegung der Rauchgasreinigung, da selbst beim Einsatz von naturbelassenen Brennstoffen, wie Landschaftspflegegut, Stroh oder Heu auf eine Trockensorption zur Abscheidung von Halogenen im Rauchgas in den meisten Fällen nicht verzichtet werden kann.

Das Spektrum der Feuerungsarten

Nach heutigem Stand der Technik unterscheiden wir die in Bild 1 vergleichend dargestellten Technologien. Bei dem gewählten Leistungsbereich von 10 MW thermisch sind für den vorliegenden Brennstoff prinzipiell die Rostfeuerung und die Wirbelschichtfeuerung geeignet, wobei erfahrungsgemäß die Wirbelschicht in der Größenordnung 10 MW thermischer Leistung auf Grund höherer Betriebskosten noch nicht die Wirtschaftlichkeit einer Rostfeuerung erreicht. Dies ist aber im Einzelfall zu entscheiden.

Bei einer Rostfeuerung ist die Flexibilität in Bezug auf die Stückigkeit des eingesetzten Brennstoffes am größten. Die Gestaltung des Feuerraumes ist auf die Brennstoffbeschaffenheit abzustimmen. Größtmögliche Flexibilität bei einer weitgehend unbekanntem Brennstoffpalette ist mit einer Mittelstromfeuerung gegeben.

Die Vorteile der Wirbelschichtfeuerung kommen insbesondere zum Tragen, wenn sehr feuchte Brennstoffe eingesetzt werden sollen, da keine stabile Flamme benötigt wird und über das Sandbett eine sehr gute Vortrocknung stattfindet. Bei der Verfeuerung von Brennstoffen mit niedrigen Schlackeerweichungstemperaturen ist großer Wert auf die Regelung der Betttemperatur zu legen, da Schlackeerweichung oder gar -verflüssigung zwangsläufig zum Stillstand der Anlage führen. Großes Engagement von Instituten und Anlagenbauern haben in den letzten Jahren zu einem großen Fortschritt der Wirbelschichtfeuerungen in kleinerem Leistungsbereich geführt.

Die Vergasungstechnologie ist aufgrund des hohen apparativen Aufwandes nur in Verbindung mit einer Stromerzeugung über Gasmotor oder Gasturbine wirtschaftlich tragbar. Dies erscheint nach derzeitigem Stand der Technik nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand realisierbar.

	EINBLASFEUERUNG	ROSTFEUERUNG	UNTERSCHUBF.	VERGASUNG	WIRBELSCHICHT
Aschequalität	+ guter Ausbrand + flexible Verwertung	+ guter Ausbrand + flexible Verwertung	○ Ausbrand nach Bauart	○ Ausbrand nach Bauart + flexible Verwertung	+ guter Ausbrand - Verwertung bedingt
Brennstoff	- i.d.R. Aufbereitung notwendig, wenn nicht Späne etc. vorhanden - gleichmäßige Körnung - geringer Wassergehalt ○ Inertstoffanteil je nach Ausführung	+ geringer Aufbereitungsaufwand + breite Kornverteilung möglich + hohe Schwankungen im Wassergehalt möglich + hohe Flexibilität	○ je nach Feuerungs-wärmeleistung + Kornverteilung von Spänen bis Hack-schnitzelgröße + Schwankungen im Wassergehalt möglich ○ Flexibilität je nach Bauart	- i.d.R. Aufbereitung notwendig - gleichmäßige Körnung ○ gleichmäßiger Wasser-gehalt ○ Flexibilität je nach Bauart	- i.d.R. Aufbereitung notwendig - gleichmäßige Körnung ○ gleichmäßiger Wasser-gehalt + hohe Flexibilität
Emissionen	○ je nach Ausführung	○ je nach Ausführung	○ je nach Ausführung	+ niedrig	+ niedrig
Feuerungs-wärmeleistg.	> 500 kW je nach Körnung	> 1.000 kW	100...5.000 kW	10...6.000 kW	> 5.000 kW
Investitions-kosten	+ niedrig	○ je nach Ausführung	+ niedrig	- ohne Kombination mit KWK hoch	- bei größeren Leistungen interessant
KWK	+ Stand der Technik	+ Stand der Technik	○ meist zu kleine Leistungen	- nicht Stand der Technik	+ Stand der Technik
Teillast-verhalten	○ je nach Anzahl der Brenner	+ flexibel	- träge Regelbarkeit - diskont. Entaschung	○ je nach Bauart	○ je nach Anzahl der Betten
Wirkungsgrad	○ je nach Ausführung	○ je nach Ausführung	○ je nach Leistung	○ je nach Ausführung	+ hoher Wirkungsgrad - elektr. Eigenbedarf

Bild 1, Vergleich der Feuerungsarten

Optimierter Wirkungsgrad

Der thermische Wirkungsgrad einer Anlage ist neben der, in der Regel nicht beeinflussbaren Brennstoffbeschaffenheit insbesondere von der Anlagenausführung abhängig. Der überwiegende Anteil der Verluste entsteht durch die im Abgas enthaltene, nicht genutzte Wärme bzw. durch hohe Abgasmengen, hervorgerufen durch zu hohen Luftüberschuß. In Bild 2 ist dargestellt, wie durch Nutzung der im Abgas enthaltenen Wärme zur Vorwärmung der Verbrennungsluft und durch Reduzierung der Luftüberschusses, z.B. mittels Rauchgasrezirkulation, der Wirkungsgrad einer Feuerungsanlage erhöht werden kann. Die erreichbare Wirkungsgraderhöhung liegt bei einer Reduzierung der Abgastemperatur um etwa 50 K und Einsatz von Rezipulat bei etwa 6 %. Bei sehr feuchten Brennstoffen wie z.B. Rinde oder Frischholz kann es sinnvoll sein, durch Rauchgaskondensation auch die im Wasserdampf des Abgases enthaltene latente Wärme zu nutzen und den Wirkungsgrad so weiter zu erhöhen. Die so gewonnene Wärme kann bis zu 25 % der Gesamtwärmemenge beitragen. Die Wirtschaftlichkeit einer Rauchgaskondensation ist von der möglichen Verwertung der Niedertemperaturwärme, neben der Verbrennungsluftvorwärmung, abhängig.

Wirkungsgrad einer Feuerung in Abhängigkeit von Luftüberschuß und Heizwert (H_u) eines Brennstoffes

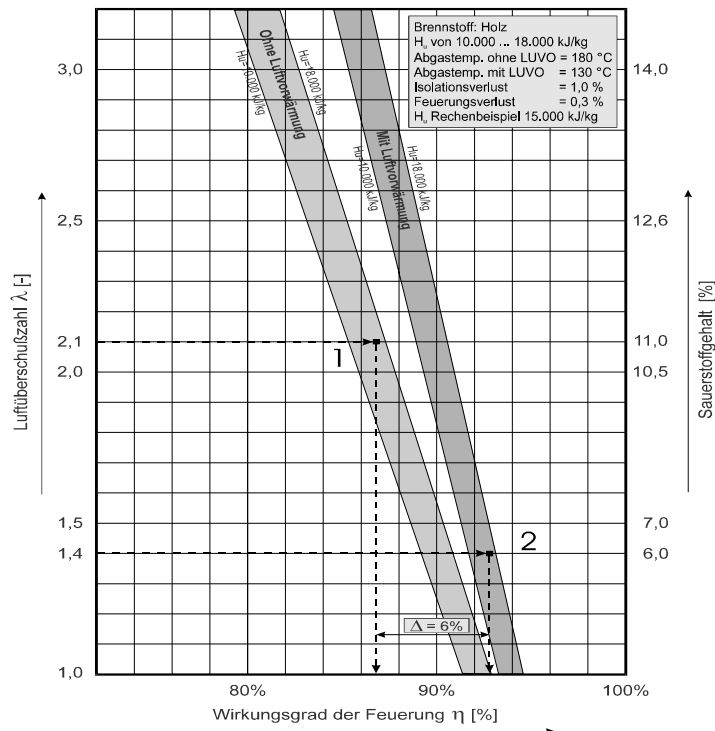


Bild 2, Wirkungsgraderhöhung durch Luftvorwärmung und Reduzierung des Luftüberschusses

Reinigung der Abgase

Nach heutigem Stand der Technik, unterscheiden wir die in Bild 3 vergleichend dargestellten Technologien. Bei dem gewählten Leistungsbereich von 10 MW thermisch ist insbesondere unter Berücksichtigung der notwendigen Sorption das Gewebefilter mit vorgeschaltetem Multizyklon sehr gut geeignet. Werden an einer Anlage neben naturbelassenen Hölzern halogenhaltige Biostoffe wie Stroh etc. zeitlich begrenzt eingesetzt, besteht die Möglichkeit beim Betrieb der Anlage mit naturbelassenem Holz auf die kontinuierliche Eindüsung von Sorptionsmittel (z.B. Kalkhydrat) zu verzichten. Dadurch können die Betriebskosten entsprechend gesenkt werden. Zur Abscheidung weiterer Rauchgasinhaltsstoffe wie leichtflüchtige Schwermetalle und organische Verbindungen kann eine Mischung mit Aktiv- oder Herdofenkoks eingesetzt werden.

Bei der Auslegung der Anlage nach 17. BImSchV ist aufgrund des strengeren NO_x -Grenzwertes über die Sorption hinaus eine Reduzierung der Stickstoffoxide erforderlich. Es stehen prinzipiell zwei Verfahren zur Wahl, die nichtkatalytische Reduktion (SNCR-Verfahren) und die katalytische Reduktion (SCR-Verfahren mit Katalysator). In erster Linie entscheidet dabei, neben der Berücksichtigung von Investitions- und Betriebskosten, der erforderliche Entstickungsgrad über das installierte Verfahren.

	ZYKLON	E-FILTER	G-FILTER	KIESBETTFILTER	RGKA	KERAMIKFILTER
Investitionskosten	+ niedrig	○ mittel	○ mittel	- hoch	- hoch	-- sehr hoch
Betriebskosten	+ praktisch keine	○ Stromeigenbedarf	○ Druckluft für Abreinigung, Ersatzschläuche	- Förderluft, Druckluft	+ niedrig	- Druckluft für Abreinigung, Ersatzkerzen
Sorption	- nicht geeignet	- nur mit vorgeschaltetem Reaktor	+ sehr gut geeignet	○ möglich	+ Naßwäsche	- nicht möglich wegen hoher Temperatur
Abscheidungsgrad Staub	- sehr unterschiedlich min. 50...150 mg/m ³	○ je nach Ausführung min. 5...50 mg/m ³	+ sehr gut geeignet min. 0,5...2 mg/m ³	○ mittel min. 20 mg/m ³	+ gut geeignet (2...5 mg/m ³)	+ gut geeignet (2...5 mg/m ³)
Abscheidung HCl, SO ₂	- nicht geeignet	- nur mit vorgeschaltetem Reaktor	+ sehr gut geeignet	+ gut geeignet	+ sehr gut geeignet	- in diesem Temperaturbereich nicht möglich
Temperaturbereich	+ bis > 1.000 °C	+ 150...350 °C	○ 130...240 °C	○ 130...300 °C	○ 100...250 °C	○ 240...800 °C
Druckverlust	+ niedrig (3...8 mbar)	+ niedrig (1,5...3 mbar)	- hoch (12...16 mbar)	- hoch (10...15 mbar)	○ mittel (4,5...6,4 mbar)	- hoch (je nach Ausführung) (15...50 mbar)
Verwertung der Rückstände	+ gut	○ je nach Temperatur gut möglich	○ je nach Temperatur und Sorption	○ je nach Temperatur und Sorption	- Entsorgung	+ gut
De-novo-Synthese	○ je nach Temperatur	○ je nach Temperatur	+ nicht möglich	○ je nach Temperatur	+ nicht möglich	○ je nach Temperatur (Vermeidung möglich)

Bild 3, Vergleich der Verfahren zur Abgasreinigung

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In der Regel wird die Kostenermittlung und die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit nach dem Kurzverfahren der VDI-Richtlinie 2067 durchgeführt, die Grundlage für eine Sensitivitätsanalyse ist. Dabei ist die absolute Größe der jährlichen Über- oder Unterdeckung meist die ausschlaggebende Größe. Weitergehende Analysen führen zu Betrachtungen der erreichbaren Gesamt- und Eigenkapitalrenditen.

Bei unserem fiktiven Beispiel mit dem Brennstoffmix aus Hackschnitzeln, Landschaftspflegegut und Resthölzern gehen wir nun für die Wirtschaftlichkeitsberechnung von den in Bild 4 genannten Rahmendaten aus.

Unter Berücksichtigung der genannten Rahmendaten ergibt sich bei einer 100 %igen Fremdfinanzierung (oder des gleiches Ansatzes des Eigenkapitalzinses wie für den Fremdkapitalzins) eine jährliche Überdeckung von etwa 400.000 DM. Führt man nun auf dieser Basis eine Sensitivitätsanalyse durch, bei der die einzelnen Kosten- bzw. Erlöspositionen partiell verändert werden, so zeigt sich auf welche Änderung das Projekt besonders empfindlich reagiert und in welchen Positionen eine hohe Planungssicherheit erreicht werden muß.

Bild 4, Rahmendaten für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung

Investitionskosten	20 Mio. DM
Betriebsstunden	8.000 h/a
Förderquote (Bayern)	48 %
Fremdkapitalzins	8 %
Feuerungswärmeleistung	10 MW
Thermischer / Elektrischer Wirkungsgrad	89 % / 24 %
Heizölpreis (für Reservekessel)	450 DM/t
Biomassepreis	75 DM/t
Entsorgung der Rückstände	300 DM/t
Erlös Stromeinspeisung (1998)	149,2 DM/MWh
Stromeinspeisung	14.700 MWh/a
Erlös Wärmeverkauf	30 DM/MWh
Wärmemenge	42.000 MWh/a

Bild 5 stellt die Ergebnisse dar, wobei die zusätzlich erreichbaren Erlöse in % der jährlichen Überdeckung bei 1 %iger (relativer) Änderung der jeweiligen Größe berechnet wurden. Der große Einfluß der Investitions- und der Brennstoffkosten war zu erwarten. Interessant erscheint in diesem Zusammenhang aber, daß die Wirtschaftlichkeit von der Stromeinspeisung in höherem Maße abhängig ist als von der Wärmelieferung. Bei dieser Darstellung wird ferner deutlich, wie wichtig die Optimierung des Wirkungsgrades ist. So kann es beispielsweise durchaus sinnvoll sein, eine hochwertige, deutlich teurere Turbine einzusetzen, da die erzielbaren Mehrerlöse die höheren Kapitalkosten weit übersteigen können.

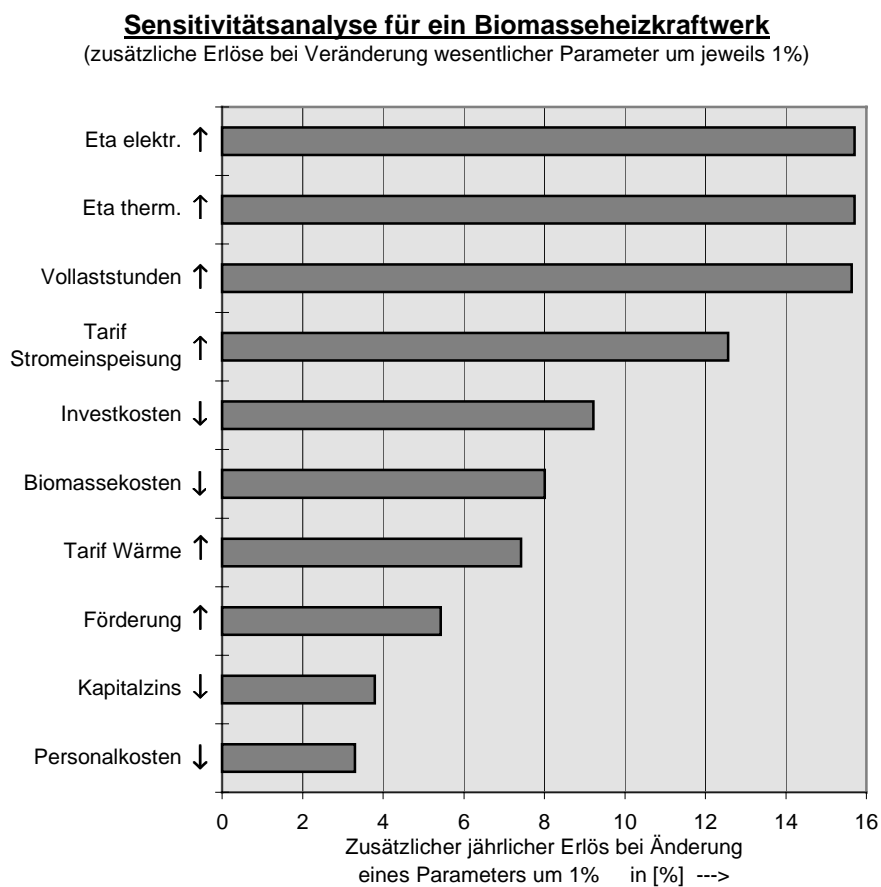


Bild 5, Ergebnis einer Sensitivitätsanalyse

Zusammenfassung

„Ein neu zu errichtendes regeneratives Energiesystem ist gegenüber einem bestehenden konventionellen System wettbewerbsfähig, wenn die Gesamtkosten der regenerativen Energieerzeugung niedriger sind als die variablen Kosten der schon bestehenden konventionellen Energieerzeugung“.[1]

Mit diesem Satz ist das Wesentliche ausgedrückt. Bei den derzeitigen, sehr niedrigen Preisen für fossile Energieträger hat der Brennstoff Holz bzw. Biomasse nur dann eine Chance gegen die Konkurrenz zu bestehen, wenn entweder mit erheblichen Investitionszuschüssen die Mehrkosten kompensiert werden und / oder der Brennstoff Biomasse entsprechend subventioniert wird.

Ausgenommen hiervon sind ausdrücklich Rest- und Abfallhölzer, die entweder zu sehr geringen Preisen verfügbar sind oder sogar Geld „mitbringen“.



*Dipl.-Ing. (FH) Peter Ganter, Dipl.-Ing. Jens Kötting
IGEU Cramer, Ganter, Kötting GbR mbH
Fichtenstraße 2, 82061 Neuried
Tel.: 0 89 / 7 59 83 34 Fax: 0 89 / 7 59 83 39*

[1] Volkswirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Aspekte der Wirtschaftlichkeitsrechnung, Prof. Dr. W. Schulz, Köln. Veröffentl. in: Regenerative Energien, Betriebserfahrungen und Wirtschaftlichkeitsanalysen der Anlagen in Deutschland, VDI-Gesellschaft Energietechnik, VDI-Berichte Nr. 851, Düsseldorf VDI-Verlag 1991, S.4.