

Thermische Nutzung von Biomasse – Ausgangsstoffe und Konversionsverfahren

Prof. Dr. Hartmut Spliethoff
 ZAE Bayern
 (Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.)
 spliethoff@tum.de

Dr. Marina Braun-Unkhoff
 DLR
 marina.braun-unkhoff@dlr.de

Dr. Bernd Krautkremer
 ISET
 bkrautkr@iset.uni-kassel.de

Einleitung

Biomasse ist weltweit der bedeutendste erneuerbare Energieträger und wird ihren Stellenwert auch in der Zukunft bewahren. Gemäß dem "White Paper" der EU-Kommission soll der Beitrag der Biomasse zur Deckung des Primärenergieverbrauches von 3,3 % im Jahr 1995 auf 8,5 % in 2010 gesteigert werden. In vielen europäischen Ländern wurden Zielvorgaben für den Beitrag der Biomasse zum Primärenergieverbrauch in der Zukunft definiert.

Die Leistung einer Biomassekonversionsanlage kann sich aus dem örtlichen Aufkommen oder dem Einzugsgebiet der Biomasse ergeben. Sinnvoll erscheinen Brennstoffwärmeleistungen von maximal 50 bis 100 MW_{th}. Neben ausschließlich mit Biomasse gefeuerten Anlagen kommt auch eine gemeinsame Verbrennung mit anderen Brennstoffen, vorzugsweise festen Brennstoffe in Frage. Dafür ist die Eignung einer Feuerungsanlage und einer dazu gehörigen Rauchgasreinigungsanlage zu prüfen.

Zur Umwandlung von Biomasse in Strom und Wärme stehen eine Vielzahl von Verfahren zur Verfügung. Sie unterscheiden sich hinsichtlich:

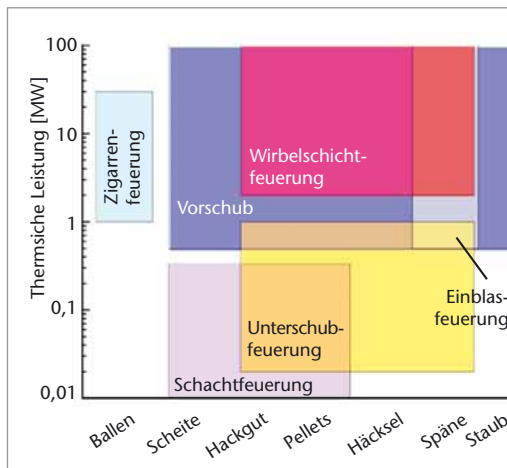
- Brennstoffe: Holz oder Stroh, organische Reststoffe
- Brennstoffumwandlung: Verbrennung, Vergasung, atmosphärisch oder druckaufgeladen
- Stromerzeugung: Verbrennungsmotor, Gasturbine, Dampfturbine, Stirlingmotor,
- Brennstoffzelle thermische Leistungsgröße der Anlage in Megawatt
- erzeugte Produkte: Strom oder Wärme, Strom und Wärme
- ausschließlicher Biomasseeinsatz oder gemeinsame Nutzung mit fossilen Brennstoffen

Biomasseverbrennung

Die Bereitstellung von Wärme und Strom aus Biomasse geschieht üblicherweise in Verbrennungsanlagen, die als Stand der Technik bezeichnet werden können. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Feuerungstechniken erläutert.

Ein wesentliches Kriterium für die Wahl des Feuerungssystems ist die Größe der zu errichtenden Anlage. So wird zwischen Kleinanlagen bis 15 kW thermischer Leistung, mittleren Anlagen bis 1 MW und Großanlagen unterschieden.

- **Kleinstfeuerungen** werden im Haushaltsbereich zur Warmwasser- und Raumwärmenutzung mit Leistungen bis 15 kW_{th} eingesetzt.
- **Schacht- und Unterschubfeuerungen** sind als Feuerungssysteme verbreitet. Anlagen bis zu einer thermischen Leistung von 1 MW_{th} werden in Gewerbe und Handwerk eingesetzt.
- **Rostfeuerungen** werden überwiegend im Leistungsbereich größer als 1 MW_{th} eingesetzt zur Produktion von Wärme, Prozessdampf und Strom, wobei die Anlagen zumeist als Kraft-Wärme gekoppelte Anlagen betrieben werden. Sie eignen sich für stückige, feuchte und problematische Brennstoffe und stellen geringe Anforderungen an die Brennstoffaufbereitung.
- **Wirbelschichtfeuerungen** zeichnen sich durch geringere Emissionen aus, sind jedoch anlagentechnisch aufwendiger und deshalb erst ab Leistungsgrößen oberhalb von etwa 10 MW wirtschaftlich. Staubfeuerungen für Biomasse sind insbesondere dann sinnvoll, wenn der Brennstoff bereits zerkleinert vorliegt.



- **Staubfeuerungen** stellen für den Brennstoff Kohle in Großanlagen die dominierende Feuerungstechnik dar, da sie sich durch eine hohe Leistungsdichte, eine gute Regelbarkeit und einen vollständigen Ausbrand auszeichnen. Bei Brennstoffen mit Fein- und Grobanteilen kann auch eine Kombination von Staub- und Rostfeuerung sinnvoll sein.
- **Zigarrenfeuerungen:** Zur Verbrennung von Strohballen hat sich in Dänemark eine Sonderkonstruktion, der so genannte Zigarrenbrenner, bewährt.
- **Mitverbrennung:** Neben einer Nutzung in ausschließlich mit Biomasse gefeuerten Anlagen kommt auch eine gemeinsame Verbrennung mit anderen Brennstoffen, vorzugsweise festen Brennstoffe in Frage. Dabei ist die Eignung der Feuerungsanlage und der Rauchgasreinigungsanlagen zu prüfen.

Die Wahl des Feuerungssystems hängt neben der Anlagengröße davon ab, in welcher Form (Späne, Häcksel, Pellets, Ballen etc.) die Biomasse vorliegt. In *Abb. 1* ist der Anwendungsbereich von Feuerungssystemen in Abhängigkeit der Anlagengröße und der Form der Biomasse dargestellt.

Schachtf Feuerung

Im unteren Leistungsbereich von 20 kW bis etwa 250 kW werden für die Verbrennung von stückigen Holzresten, aber auch von Hackschnitzeln Schachtf Feuerungen angewandt. Die in den Anlagen nutzbare Brennstoffpalette macht eine zusätzliche Aufbereitung meist nicht erforderlich. Dies, eine einfache Feuerungstechnik und vergleichsweise geringe Anschaffungskosten führen im angegebenen Leistungsbereich zu einer weiten Verbreitung dieser Feuerung.

Unterschubfeuerung

Unterschubfeuerungen, die in einem breiten Leistungsbereich von 20 kW bis 2 MW_{th} angeboten werden, sind für Hackschnitzel, Späne und bis zu einem gewissen Umfang auch für staubförmige Holzreste geeignet. Dieser Feuerungstyp ist für die thermische Nutzung von Produktionsresten aus Holzverarbeitenden Betrieben weit verbreitet, da er

- nahezu vollautomatisch arbeitet,
- im Vergleich zu anderen Feuerungsarten wie Einblase- oder Rostfeuerung aus einfacher Technik und wenigen Komponenten besteht und
- auch unter Berücksichtigung der Bevorratungs-, Beschickungs- und der gegebenenfalls notwendigen Brennstoffaufbereitungseinrichtungen wirtschaftlich attraktiv ist.

Rostfeuerungen

Im Leistungsbereich von 1 MW_{th} und größer sind Rostfeuerungen die dominierende Technologie zur Verbrennung von Biomasse, die relativ geringe Anforderungen an die Brennstoffaufbereitung stellen. Auch problematische Brennstoffe wie feuchte Holzreste oder aschereiche Rindenabfälle können verwendet werden. In Rostfeuerungen kann auch Stroh als ausschließlicher Brennstoff verbrannt werden – wie die Praxis in Dänemark zeigt. Für die Verbrennung von Holz und Holzreststoffen werden Rostfeuerungen zum Teil in Verbindung mit einer Einblasfeuerung für staubförmige Reste eingesetzt. Mit ihrer aufwendigen Anlagentechnik sind Rostfeuerungen erst ab einer Leistung von ca. 1 MW wirtschaftlich.

Abbildung 1
Feuerungssysteme in Abhängigkeit der Anlagengröße und der Form der Biomasse

Wirbelschichtfeuerungen

Wirbelschichtfeuerungen eignen sich insbesondere zur Verfeuerung mehrerer, auch stark unterschiedlicher Brennstoffe. Die prozessbedingte intensive Mischung und Verbrennung, die gute Wärmeübertragung im Wirbelbett, sowie die Entkopplung der Verweilzeit der Partikel und der Rauchgase im Feuerungsraum lassen hinsichtlich Feuchte, Zusammensetzung und Aufbereitung eine breite Brennstoffpalette zu. Da die Wirbelschichtverbrennung apparativ aufwändig ist, kann sie wirtschaftlich nur in größeren Einheiten ab $10 \text{ MW}_{\text{th}}$ betrieben werden. In den skandinavischen Ländern und zunehmend auch in anderen Ländern werden in der Papier- und Zellstoffindustrie anfallende Holzreste und Schlämme zumeist in Wirbelschichtfeuerungen verbrannt, die integraler Bestandteil des Produktionsprozesses sind. Aufgrund der wirtschaftlichen Leistungsgröße werden neben Biomasse verschiedene weitere Brennstoffe wie Torf, Kohle und Abfallstoffe eingesetzt.

Staubfeuerungen

Wenn der Brennstoff bereits zerkleinert vorliegt, sind Staubfeuerungen besonders sinnvoll. Staubfeuerungen stellen für den Brennstoff Kohle in Großanlagen die dominierende Feuerungstechnik dar, da sie sich durch eine hohe Leistungsdichte, eine gute Regelbarkeit und einen vollständigen Ausbrand auszeichnen. Staubfeuerungen werden oft in Holzverarbeitungsbetrieben genutzt, die zu einem Großteil mit schnell laufenden Maschinen arbeiten. Bei Brennstoffen, die einen gewissen Grobanteil aufweisen, kann auch eine Staubfeuerung mit Nachverbrennungsrost sinnvoll sein. Staubfeuerungen zeichnen sich durch hohe Leistungsdichten, hohe Feuerungswirkungsgrade und eine gute Regelbarkeit aus. Die genaue Abstimmung von Brennstoff und Verbrennungsluft ermöglicht effektive feuerungstechnische Maßnahmen zur Verminderung von Stickstoffoxiden (NO_x).

Gaserzeugung aus Biomasse

Biomasse wie auch andere kohlenstoffhaltige feste Brennstoffe können durch eine thermochemische Umwandlung unter Zugabe eines Oxidationsmittels (Luft, Sauerstoff, Wasserdampf) in einen gasförmigen Energieträger umgewandelt werden. Technische Gaserzeugungsprozesse laufen bei Temperaturen von über 500 °C ab, je nach Verfahren können bis zu 1200 °C erreicht werden. Wird Luft oder Sauerstoff eingesetzt, können die exothermen Oxidationsreaktionen die zur Deckung der endothermen Teilschritte notwendige Wärme liefern, sodass eine Energiezufuhr von außen nicht erforderlich ist (autotherme Vergasung).

Die entwickelten Gaserzeugungsverfahren lassen sich in sogenannte Festbettvergaser, Wirbelschichtvergaser sowie in andere Bauarten (Drehrohr, Flugstrom) einteilen. Am weitesten verbreitet sind dabei die Festbett- und die Wirbelschichtvergaser. Der Anwendungsbereich von Festbettvergasern liegt bei kleinen Leistungen bis zu einigen MW_{th} , der von Wirbelschichtanlagen im Bereich über 5 MW_{th} . Bei den Wirbelschichten lassen sich stationäre und zirkulierende Systeme unterscheiden. Darüber hinaus können Vergaser in druckaufgeladene und atmosphärische Anlagen unterteilt werden.

Festbettvergaser

In Festbettvergasern wird der Brennstoff in einer Schüttschicht vergast. Der Brennstoff durchläuft verschiedene Zonen, bei denen die einzelnen Gaserzeugungsreaktionen (Pyrolyse, Oxidation und Reduktion) stattfinden. Man unterscheidet zwischen Gegenstrom- und Gleichstromvergaser. Der wichtigste Vorteil der Gleichstromvergaser ist, dass ihre Rohgase wesentlich weniger Teerprodukte und andere hochsiedende Verbindungen enthalten als die Gase aus Gegenstromvergasern.

Wirbelschichtvergasung

Grundsätzlich existieren stationäre (SWS) und zirkulierende (ZWS) Wirbelschichten. Die ZWS weist eine deutlich höhere spezifische Leistung auf, und durch die Gas/Feststoffströmung ist das Mischungsverhalten besser als bei SWS was sich in besserem Brennstoffumsatz und niedrigeren Teerwerten niederschlägt. Nachteilig ist der höhere Anspruch an die Brennstoffeigenschaften (Körnung) und der deutlich höhere Druckverlust (Eigenverbrauch). Zudem ist die Regelung aufwändiger und die Bauhöhe ist erheblich größer als bei SWS. Für kleinere Leistungen kommt daher eher die stationäre Wirbelschicht in Frage. Hinsichtlich des Teergehalts sind stationäre Wirbelschichten ungefähr eine Größenordnung schlechter als Gleichstrom-Festbettvergaser. Zirkulierende Wirbelschichten sind etwas besser, erreichen jedoch nicht die Werte der Festbettvergaser.

Gaserzeugungsanlagen mit Wirbelschichttechnik für Biomassen werden von verschiedenen Herstellern angeboten, wobei die kommerziell betriebenen Anlagen in der Mehrzahl Gas zur thermischen Nutzung beispielsweise zur Befeuerung von Kalk- oder Zementöfen liefern, darunter auch die mit einer thermischen Leistung von 100 MW derzeit größte Anlage in Rüdersdorf. Erfahrungen mit integrierten Gaserzeugungsprozessen mit Gasturbinen beschränken sich auf wenige Anlagen. In Värnamo (Schweden) wurde von 1993 bis 2000 eine Wirbelschichtanlage mit einer elektrischen Leistung von 6 MW_e betrieben, in der die Gaserzeugung unter Druck betrieben wird.

Gasnutzung und Anforderungen

Das erzeugte Gas lässt sich auf verschiedene Arten zur Elektrizitätserzeugung oder der Erzeugung von Prozesswärme nutzen. Die Systeme weisen dabei unterschiedliche Wirkungsgrade, Kosten und Anforderungen an die Gasqualität auf. Motoren eignen sich für Leistungsgrößen zwischen ca. 50 kW_e und 10 MW_e im Zusammenhang mit atmosphärischen Festbett- oder Wirbelschichtvergasern. Mit Motoren oder Gasturbinen ohne Abhitzenutzung lassen sich Gesamtwirkungsgrade der Elektrizitätserzeugung von maximal 30 % erreichen. Bei kleineren Anlagen (< 10 MW_e)

ist allerdings eher von 25 % auszugehen. Die Wirkungsgrade liegen damit etwas über denen, die sich in diesem Leistungsbereich mit einem Dampfturbinenprozess erzielen lassen.

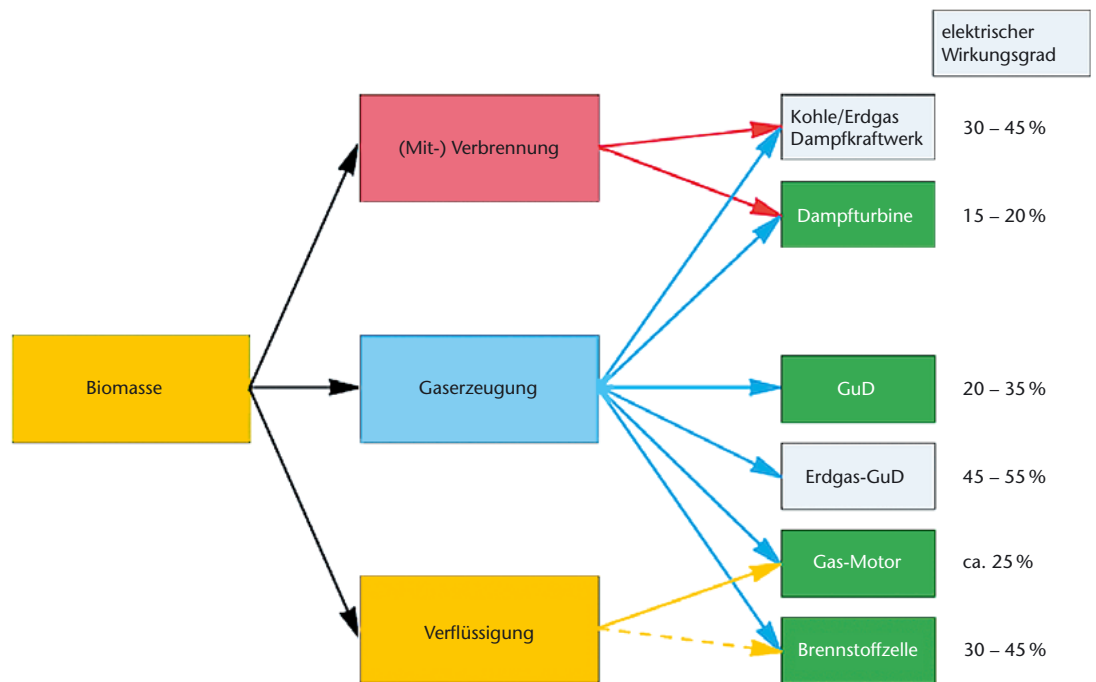
Ab einer Leistungsgröße von ca. 5 MW_e erscheint der Einsatz von Gasturbinen sinnvoll. Geeignete Gaserzeuger sind hier Wirbelschichtanlagen, die unter Normal- oder Überdruck arbeiten. Bei Gasturbinen mit einer Leistung > 25 MW_e bietet sich zudem die Möglichkeit, den Wirkungsgrad bis auf 48 % zu steigern durch Nachschaltung eines Abhitzeessels mit Dampfturbine. Bei Anlagen mit einer Leistung bis 10 MW_e lassen sich ungefähr noch 30 % Wirkungsgrad erreichen. Um Verschmutzungen und Ablagerungen im Motor zu vermeiden, sollte das Gas weitgehend teer- und staubfrei sein. Die Anforderungen an die Gasqualität sind also sehr hoch. Typische Zielwerte für die Nutzung in Gasmotoren sind in *Tab. 1* zusammengestellt.

Komponente	max. zulässige Konzentration (Richtwert)	anzustrebende Konzentration
Partikel	< 50 mg/m ³	< 5 mg/m ³
Teer	< 100 mg/m ³	< 50 mg/m ³

Tabelle 1
Anforderung an die Gasqualität für die Nutzung in Gasmotoren

Motoren mit Turbolader stellen dabei höhere Anforderungen an die Gasqualität. Von den heute verfügbaren Vergasern werden die angegebenen Werte beim Betrieb ohne Gasreinigung bei weitem überschritten. Eine Entfernung sowohl von Teeren als auch Partikeln ist also erforderlich. Die Zielwerte für die Gasqualität ergeben sich dabei als Kompromiss zwischen erhöhtem Aufwand für die Gasreinigung und erhöhtem Wartungsaufwand für Motor bzw. Turbine.

Abbildung 2
Elektrischer Wirkungs-
grad von Umwand-
lungsverfahren



Verfahrensvergleich

Abb. 2 gibt eine Übersicht über die verschiedenen Möglichkeiten der Krafterzeugung und deren Wirkungsgrade.

Es wird deutlich, dass sich die Leistungsgröße unmittelbar auf den Wirkungsgrad auswirkt. Größere Anlagen erlauben effizientere und wirtschaftlichere Konversionsverfahren. Die Gaserzeugung aus Biomasse und die Mitverbrennung des erzeugten Produktgases in einem erdgasgefeuerten GuD-Prozess¹ oder die direkte Mitverbrennung in einem kohlegefeuerten Dampfkraftwerk zeichnen sich durch Wirkungsgrade aus, die über den Wirkungsgraden bei ausschließlich mit Biomasse gefeuerten Anlagen liegen.

Die Gaserzeugung aus Biomasse bietet den Vorteil, dass die Nutzung des Biogases in GuD-Anlagen, internen Verbrennungskraftmaschinen oder auch künftig in Brennstoffzellen mit hohen Wirkungsgraden erfolgt, der im Allgemeinen über dem von Verbrennungsverfahren liegt.