

# Biomasse - Perspektiven für Biogas, Holzheizung und Holzkraftwerke

Christian Leuchtweis  
C.A.R.M.E.N. e.V., Schulgasse 18, D-94315 Straubing  
Tel.: 09421/960300; Netz: [www.carmen-ev.de](http://www.carmen-ev.de)

## Biomasse

Durch Photosynthese bauen Pflanzen Biomasse auf. Die dafür notwendige Energie liefert die Sonne. Biomasse kann somit als gespeicherte Sonnenenergie betrachtet werden. Beim Wachstum der Pflanze wird der Kohlenstoff des Kohlenstoffdioxids der Atmosphäre für den Aufbau der Biomasse genutzt; gleichzeitig wird Sauerstoff von der Pflanze an die Atmosphäre abgegeben.

Bei der energetischen Nutzung der Biomasse wird der Kohlenstoff der Biomasse durch den Sauerstoff der Luft oxidiert und als Kohlenstoffdioxid abgegeben. Damit ist der Kohlenstoffdioxidkreislauf bei der Biomassenutzung geschlossen.

Der Energieträger Biomasse ist nicht nur regenerierbar, sondern auch sehr einfach in großen Mengen speicherbar. Dies ist ein wichtiger Vorteil im Vergleich zu den übrigen regenerativen Energien wie Wind- und Wasserkraft und Solarenergie.

## Biogene Brennstoffe (Biomasse)

Die biogenen Brennstoffe lassen sich nach ihrem Aggregatzustand in drei Klassen einteilen:

- Festbrennstoffe,
- flüssige Brennstoffe,
- gasförmige Brennstoffe.

### Festbrennstoffe

Festbrennstoffe sind die am häufigsten eingesetzten biogenen Brennstoffe. Für sie wird häufig auch der Begriff Biomasse verwendet. Als Beispiele sind hier vor allem zu nennen:

- Holz in Form von Scheitholz, Hackschnitzeln, Hobelspänen, Sägemehl und Holzstaub oder gepresst als Pellets;
- Stroh und speziell angebaute einjährige Pflanzen als Häcksel, Ballen oder Pellets.

Biogene Brennstoffe zeichnen sich durch eine einfache Bereitstellung aus. Das heißt, dass sie entweder schon in der Form anfallen, in der sie direkt in Verbrennungsanlagen eingesetzt werden können (z.B. Hobelspäne in speziellen Spänebrennern) oder dass sie lediglich mechanisch aufbereitet (z.B. gehäckselt oder gepresst) werden müssen. Dadurch können biogene Festbrennstoffe relativ günstig bereitgestellt werden.

Festbrennstoffe werden in Öfen eingesetzt, in denen sie meist reine Heizwärme erzeugen. Ein direkter Einsatz in Wärmekraftmaschinen (Verbrennungsmotoren) ist nicht möglich.

**Flüssige biogene Brennstoffe**

Die wichtigsten flüssigen biogenen Brennstoffe sind:

- biogener Alkohol und
- naturbelassene und veresterte Pflanzenöle.

Flüssige biogene Brennstoffe erfordern einen größeren Aufwand bei der Bereitstellung. Zum einen müssen die Pflanzen, aus denen die flüssigen Brennstoffe gewonnen werden, speziell angebaut werden, zum anderen muss der Brennstoff aufwändig aus den Pflanzen gewonnen werden. Alkohol kann durch anaerobe Vergärung von zuckerhaltigen Pflanzen (z.B. der Zuckerrübe) und anschließender Aufkonzentration gewonnen werden. Pflanzenöl wird durch mechanisches Abpressen von Ölsaaten (z.B. Rapssaat) gewonnen. Die Bereitstellung dieser Brennstoffe ist in der Regel aufwändiger als bei den biogenen Festbrennstoffen, wodurch sich ein höherer Preis pro Wärmeeinheit ergibt. Flüssige biogene Brennstoffe können zur reinen Heizwärmeerzeugung genutzt oder direkt in Verbrennungsmotoren eingesetzt werden. Dadurch ist ein Einsatz in Fahrzeugen oder auch in Blockheizkraftwerken (BHKWs) möglich, die neben Heizwärme zusätzlich auch Strom liefern können.

**Gasförmige biogene Brennstoffe**

Zu nennen sind hier:

- Biogas und
- Pyrolyse- oder Schwachgas.

Gasförmige biogene Brennstoffe erfordern einen hohen technischen Aufwand für ihre Bereitstellung.

Biogas, dessen nutzbarer Bestandteil vorwiegend aus Methan besteht, wird durch die anaerobe Vergärung von biogenen Stoffen gewonnen.

Pyrolyse- oder Schwachgas entsteht durch Erhitzen von biogenen Festbrennstoffen unter Sauerstoffdefizit, wobei die leicht flüchtigen, brennbaren Bestandteile der Stoffe in die Gasphase übergehen und zur weiteren thermischen Nutzung zur Verfügung stehen.

Die Einsatzmöglichkeiten decken sich mit denen der flüssigen biogenen Brennstoffe, wobei die Speicherung des gasförmigen Brennstoffes wegen der geringen Dichte sehr aufwändig ist. Gasförmige biogene Brennstoffe werden meist aus Reststoffen (z.B. Gülle bei Biogas oder Altholz bei Pyrolysegas) gewonnen, die günstig zur Verfügung stehen. Die Gewinnung ist aber technisch sehr schwierig, wodurch sich der Brennstoff wieder verteuert.

**Biomasse - Argumente für den Einsatz**

Folgende Argumente sprechen für den Einsatz von Biomasse:

- lange Tradition beim Einsatz
- regenerierbar, schont Ressourcen
- kaum fossile Emissionen
- geringe Umweltbelastung bei Unfällen
- positive Energiebilanz
- kurze Transportwege
- regionale Wertschöpfung
- keine Abhängigkeit vom Mineralölmarkt

- erprobte Technik; Entwicklungspotenzial vorhanden
- neues Betätigungsfeld für die Wirtschaft / Landwirtschaft
- standortgebundene Arbeitsplätze

## **Biogas**

Biogas entsteht, wenn organisches Material unter Ausschluss von Sauerstoff mikrobiell abgebaut wird. Biogas ist ein mit Wasserdampf gesättigtes Gasgemisch. Hauptbestandteile sind das energetisch nutzbare Methan (40 - 80 Vol.-%) und Kohlenstoffdioxid (24 - 44 Vol.-%).

## **Potenzial**

Nach einschlägigen Untersuchungen ergäbe die Vergärung des technisch nutzbaren Potenzials organischer Stoffe eine nutzbare Energiemenge von 150 PJ/a (Peta-Joule =  $10^{15}$  Joule). Das entspricht ca. 1 % des deutschen Primärenergieverbrauchs. Allein die organischen Reststoffe aus der Landwirtschaft (tierische Exkrememente) tragen dazu die Hälfte bei. Der Rest kann zu etwa gleichen Teilen aus Klärgas, Deponiegas und sonstigem Biogas (Haus- und Gewerbeabfälle, Grünschnitt) gewonnen werden.

Ende 2001 werden in Deutschland voraussichtlich ca. 1.600 landwirtschaftliche Biogasanlagen installiert sein. Ca. 600 Anlagen sollen dann allein im Jahre 2001 errichtet worden sein. Die Hälfte der Biogasanlagen sind in Bayern installiert. Die größten Leistungen pro Anlage im landwirtschaftlichen Bereich sind aufgrund der größeren Betriebseinheiten im Osten von Deutschland installiert. Nach Daten des Bundeswirtschaftsministerium lassen sich aus Mist und Gülle jährlich ca. 81 Petajoule aus ca. 60.000 Tonnen organischer Substanz / Jahr gewinnen. 220.000 Einzelhof- und Gemeinschaftsanlagen sollen demnach möglich sein (Quelle: taz 02.06.01, „Biomasse steht am Anfang eines Booms“).

## **Produktion**

Biogas entsteht bei der Umwandlung organischer Stoffe durch Bakterien und Enzyme unter Sauerstoffabschluss. Die anaeroben Bakterien bauen nahezu alles biogene Material ab. Im Holz enthaltenes Lignin kann nicht anaerob vergoren werden, weshalb ligninhaltige Stoffe nach Möglichkeit nicht in einer Biogasanlage vergoren werden sollte.

In einem ersten Abbauschritt werden hochmolekulare Stoffe wie Fette, Eiweiße und Kohlenhydrate durch säurebildende Bakterien in niedermolekulare Bausteine wie Einfachzucker, Aminosäuren, Fettsäuren und Wasser zerlegt (Hydrolyse). In einem zweiten Schritt sorgen dieselben säurebildenden Bakterien für den weiteren Abbau zu organischen Säuren (Essig-, Propion- und Buttersäure), Kohlenstoffdioxid, Schwefelwasserstoff und Ammoniak (Versäuerung). In der dritten Stufe werden Essigsäure, Wasserstoff und  $\text{CO}_2$  gebildet. (Essigsäurebildung). Zuletzt wird von den Methanbakterien aus der Spaltung von Essigsäure oder der Reduktion von  $\text{CO}_2$  mittels Wasserstoff Methan gebildet (Methanbildung).

Die Effizienz der Biogas-Erzeugung hängt direkt von der Bakterientätigkeit ab. Wie schnell und vollständig Bakterien die abbaubaren Stoffe in Methan umwandeln und sich vermehren, hängt im wesentlichen ab von: der Gärtemperatur, der Verweilzeit im Faulbehälter (mittlere Aufenthaltszeit des Substrates im Gärbehälter), der Konzen-

tration an vergärbaren Stoffen (Substratkonzentration = Menge organischer Trockensubstanz (OTS) pro Raumeinheit [kg OTS/m<sup>3</sup>]).

Diese Parameter beeinflussen auch direkt Abbaugrad und -geschwindigkeit.

Man unterscheidet drei Temperaturbereiche, in denen anaerobe Bakterien eine Abbautätigkeit entwickeln:

- kleiner 20 °C (psychrophiler Bereich),
- 20 °C - 45 °C (mesophiler Bereich),
- 45 °C - 70 °C (thermophiler Bereich).

Der Großteil aller bekannten Methanbakterien hat sein Temperaturoptimum im mesophilen Bereich. Tendenziell ist die Abbaugeschwindigkeit in höheren Temperaturbereichen größer.

Als Faustzahl gilt, dass aus der Gülle eines Rindes mit etwa 500 kg Lebendgewicht täglich rund 1,5 m<sup>3</sup> Biogas gewonnen wird. In der landwirtschaftlichen Praxis sind Gärtemperaturen von etwa 20 - 37 °C bei Gärzeiten von rund drei Wochen üblich.

## Technik

Eine Biogasanlage funktioniert nach folgendem Prinzip: das organische Material gelangt in einen Faulbehälter (Fermenter). Dort wandeln Mikroorganismen unter Ausschluss von Sauerstoff das Material teilweise in Biogas um; übrig bleibt ausgefaultes Substrat, das meist als Dünger in der Landwirtschaft eingesetzt wird. Das brennbare Gas sammelt sich am höchsten Punkt des Fermenters (Gasdom) und wird meist nach einer Zwischenspeicherung energetisch genutzt.

Als **Fermentertypen** haben sich Pfropfenstrom- oder Durchflussfermenter mit einer kleinen Vorgrube etabliert. Sofern das Substrat sehr reich an anorganischen Feststoffen ist (meist Sand), ist ein Feststoffaustrag im Fermenter zu integrieren.

Die **Gasaufbereitung** erfolgt i.d.R. im Gasdom mittels biologischer Entschwefelung und einfacher Auskondensation des Wasseranteils im Biogas. Zur Entschwefelung wird Luft mit ca. 5 Vol.-% dem Biogas beigemischt.

Als **Gasspeicher** kommt meist ein Kunststoffgassack zur drucklosen Speicherung zum Einsatz.

Es werden überwiegend **Blockheizkraftwerke** (BHKW) zur Verstromung des Biogases anstelle von reinen Heizkesseln eingesetzt. BHKW produzieren über den Generator elektrische Energie. Die **Motor- und Abgaswärme** wird zunächst zur Beheizung des Fermenters genutzt. Überschüssige Wärme kann darüberhinaus für Heiz- oder Trocknungszwecke genutzt werden. Oft sind die örtlichen Gegebenheiten in der Umgebung von Biogasanlagen nicht günstig, so dass die überschüssige Wärme weggekühlt werden muss. Dies gilt vor allem im Sommer. Ungünstig ist, dass Biogasanlagen im Winter für die Fermenterbeheizung einen erhöhten Wärmebedarf aufweisen. Die erzeugte **elektrische Energie** wird auf Basis des EEG meist ins öffentliche Netz eingespeist.

Das **Endlager** für das ausgefaulte Substrat sollte eine wirkungsvolle Abdeckung aufweisen, um Methan- und Ammoniakemissionen und damit auch Nährstoffverluste zu reduzieren.

Sofern das Gelände das notwendige Gefälle ermöglicht, wird auf **Pumpen** bei der Fermenterbefüllung verzichtet.

**Hygienisierungsstufen** werden von den Genehmigungsbehörden vorgeschrieben, wenn entsprechende Kofermentate eingesetzt werden. Die Hygienisierungsstufen

sollten bei Bedarf schon im Eigeninteresse des Landwirtes eingeplant und installiert werden. Nicht alle Erreger und Parasiten können allerdings durch die übliche Hygienisierung zu 100 % abgetötet werden.

## **Biogasverwertung**

Die Verstromung des Biogases in Zündstrahl-Blockheizkraftwerken (BHKW) erzielt gegenüber Gas-Otto-BHKW höhere Wirkungsgrade. Es sind allerdings ca. 10 % Zündöl erforderlich. Für dieses wird überwiegend Heizöl eingesetzt. Zündstrahlmotoren weisen Wirkungsgrade von 25 bis 30 % und Gas-Otto-Motoren von 20 bis 25 % auf. Sehr hohe Wirkungsgrade von 30 bis 35 % weisen Diesel-Motore auf, die mittels Zündkerzen auf reinen Gasbetrieb umgerüstet wurden. Diese Art von Motoren werden derzeit nur in der anaeroben Klärgasverwertung eingesetzt, da dort größere Leistungsbereiche möglich sind.

Als neuartige Verwertungsverfahren werden Mikrogasturbinen und Brennstoffzellen diskutiert. Mikrogasturbinen weisen i.d.R. einen geringeren elektrischen Wirkungsgrad als Zündstrahlmotore auf. Die Mikrogasurbinen sollen sich u.a. durch eine bessere Schwefelverträglichkeit, ein günstigeres Abgasverhalten und durch höhere Standzeiten auszeichnen. Mikrogasturbinen geben ein höheres Abwärmeniveau ab, welches von Vorteil wäre, wenn diese Wärme z.B. für Pasteurierungs- oder Destillationszwecke verwendet werden soll. Während die Mikrogasturbine demnächst in der Praxis mit Biogas direkt zum Einsatz kommen soll, wird die Brennstoffzelle derzeit nur im Labormaßstab mit Biogas getestet. Hier werden hohe Wirkungsgrade bei der Stromerzeugung erwartet. Problematisch bei der Biogasverwertung in einer Brennstoffzelle ist, dass das Biogas nahezu vollständig entschwefelt werden muss. Zusätzlich ist abzuklären, ob die einzusetzende Brennstoffzelle Kohlenmonoxid und einen hohen Kohlenstoffdioxidanteil toleriert. es ist zu erwarten, dass noch größere Entwicklungen notwendig sind, um Brennstoffzellen für Biogasanlagen zu verwenden zu können.

## **Kofermentation**

Man versteht unter Kofermentation das Anmischen der Grundsubstanz Gülle mit weiteren organischen Stoffen. Die Kofermentation ist vor allem bei Schweinegülle, aufgrund des geringen Anteils an oTS, empfehlenswert. Entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hat die ganzjährige Verfügbarkeit des Kosubstrates. Ein Kosubstrat, das nur saisonal anfällt, erhöht ganzjährig die Abschreibungskosten der größer zu dimensionierenden Anlage und erschließt nur während der Saison durch höhere Gaserträge zusätzliche Gewinne.

Wichtig ist, dass keine überhöhten Gaben an Kofermentaten stattfinden, die den anaeroben Abbauprozess gefährden könnten. Überhöhte Gaben können nach kurzfristig drastisch erhöhter Biogasproduktion zum Erliegen derselben führen.

Empfehlenswerte Kofermentate sind biogene Abfälle aus landwirtschaftlichen Betrieben. Eine kostenintensive Hygienisierungsstufe ist hier normalerweise nicht gefordert. Als Beispiele sind anzuführen: Rübenblätter, Grasschnitt, Obst- und Gemüseabputz sowie überlagerte Obst- und Gemüseabfälle.

Der Anbau von Ackerpflanzen auf Stilllegungsflächen mit anschließender Kofermentation kann zusätzliche Gaserträge erschließen, wobei die Wirtschaftlichkeit hierbei sehr genau betrachtet werden muss.

Es können auch biogene Abfälle im Rahmen einer Entsorgungsdienstleistung mitvergoren werden. Diese Abfälle können z.T. aus der Landwirtschaft selbst (nach mehrmaliger Be- und Verarbeitung in Haushalten oder Industrie) oder anderen Bereichen

(z.B. Privatgärten, Landschaftspflege etc.) kommen. Sie können über die Verwertungstätigkeit und über die erhöhte Gasausbeute zusätzliche finanzielle Erträge erschließen, erhöhen jedoch den Planungs-, Genehmigungs- und Investitionsaufwand. Selbstverständlich sind alle geforderten Hygienevorbehandlungen der Kofermentate durchzuführen (eine gängige Hygienisierungsstufe für landwirtschaftliche Kofermentationsanlagen kostet ca. 40-60 TDM). Es gilt das entsprechende Hygienerecht sowie u.U. das Tierkörperbeseitigungsrecht.

Weniger risikoreiche Kofermentate im Rahmen einer Entsorgungstätigkeit sind die Abfälle aus der ersten Verarbeitungsstufe pflanzlicher landwirtschaftlicher Produkte, wie Birtreber, Kartoffelpülpe oder Brennerei-Schlempe.

### **Kompression von Biogas**

Als preisgünstigste Möglichkeit der Biogasspeicherung hat sich die drucklose Gasspeicherung im Kunststoffoliensack und anschließender Nutzung im BHKW etabliert.

Bei einer Mittel- oder Hochdruckgasspeicherung oder der Einspeisung ins Erdgasnetz ist vor allem auf eine sehr wirkungsvolle Entschwefelung und Entwässerung zu achten, da ansonsten Korrosionsprobleme in den Druckgasbehältern auftreten können, was selbstverständlich aus Sicherheitsgründen nicht akzeptabel ist. Im Vergleich zur drucklosen Speicherung fallen bei der Mittel- oder Hochdruckgasspeicherung viel höhere Investitions- (Kompressor, wirkungsvollere Gasaufbereitung, Gasentnahme) und Betriebskosten (Energieverbrauch für Verdichtung) an. Sollen Druckgasflaschen eingesetzt werden, verringern Transportkosten zusätzlich die Wirtschaftlichkeit.

Zum Kompressor für die Verdichtung ist ein Brenner für die Fermenterbeheizung vorzusehen, da es wichtig ist, dass der Fermenter beim Erstanlauf oder nach Ausfällen wieder beheizt werden kann.

### **Erneuerbare-Energien-Gesetz bei Stromeinspeisung**

Wer überschüssige elektrische Energie aus Biomasse ins öffentliche Stromnetz einspeist, für den gilt bei bis 31.12.01 errichteten Anlagen die Strom-Einspeisevergütung gem. Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) in Höhe von 20 Pfennig pro eingespeister Kilowattstunde Strom aus Biomasse (Leistung bis 500 kWel/Anlage). Werden die Anlagen nach dem 01.01.02 errichtet, reduziert sich die Einspeisevergütung um jährlich ein Prozent (Angabe der Vergütung bis Ende 2001 in Pfennig, Rundung auf eine Nachkommastelle). Die zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme gültige Einspeisevergütung ist für 20 Jahre bindend. Ein Inflationsausgleich ist nicht vorgesehen. Die Biomasseverordnung definiert u.a. Erzeugnisse aus Vergasungsprozessen als Biomasse. Die Begründung zur Verordnung spricht explizit von Biogas. Darüberhinaus wird im Rahmen der technischen Verfahren ermöglicht, dass für das gewählte Verfahren zusätzlich Zünd- oder Stützfeuerungen eingesetzt werden können. Dies gilt jedoch nur, wenn das Verfahren anderweitig technisch nicht zu realisieren ist. Zünd- oder Stützfeuerungen dürfen auch mit nicht-biogenen Stoffen unterhalten werden. In der Begründung zur Biomasseverordnung wird ausdrücklich erwähnt, dass mit dieser Regelung Diesel-Zündölmotore im kleineren Leistungsbereich für die Biogasverwertung gebilligt werden. Das EEG sowie die Biomasseverordnung können im Internet unter <http://www.bmu.de> im pdf-Format bezogen werden.

## Heizen mit Holz

### Verbrennung von Holz

Die Verbrennung von Holz läuft in drei Phasen ab:

- Trocknung,
- Pyrolyse,
- Oxidation.

**Trocknung:** In der ersten Phase der Verbrennung wird das im Holz gebundene Wasser verdampft. Je mehr Wasser im Holz gebunden ist, um so mehr Energie wird dazu benötigt, das Wasser zu verdampfen. Erntefrisches Holz weist Heizwerte zwischen 1,5 bis 3,0 kWh/kg auf; luftgetrocknetes Holz besitzt Heizwerte zwischen 4,0 und 4,5 kWh/kg. Die Trocknungsphase ist bei Temperaturen bis zu 150 °C abgeschlossen.

Bei der **Pyrolyse** gehen die leicht flüchtigen Holzbestandteile in die Gasphase über. Dieser Prozess läuft bei Temperaturen zwischen 150 und 600 °C ab und verbraucht wie die Trocknung Energie. Trockenes Holz besteht zu ca. 81% aus flüchtigen brennbaren Bestandteilen. Übrig bleibt Holzkohle (ca. 14% der Holzbestandteile).

Ab ca. 400 °C reagieren die brennbaren Gase mit Luftsauerstoff. Bei dieser **Oxidation** findet die eigentliche Energiefreisetzung statt. Die erreichbaren Temperaturen können bis zu 1.300 °C betragen. Gleichzeitig wird die Holzkohle oxidiert, wobei ebenfalls Energie frei wird. Übrig bleibt Asche, also die nicht brennbaren Bestandteile des Holzes (ca. 1%).

### Technik und Konzepte von Holzfeuerungen

Die Technik für die Feuerungen hat sich über Jahrtausende vom einfachen Holzfeuer bis zur Sonderfeuerung für Spezialbrennstoffe weiterentwickelt.

#### Feuerungsarten

Die offene **Feuerstelle** ist wohl der erste Einsatzort für Biomasse zur Wärmenutzung. Es besteht ein sehr hoher Bedienungsaufwand, der mit geringem Komfort, sehr hohen Emissionen und einem sehr niedrigen Wirkungsgrad verbunden ist.

Der **offene Kamin** (mehrere kW Leistung) unterscheidet sich nicht wesentlich von einer offenen Feuerstelle. Durch den Kamin ist je nach Modell eine zusätzliche Wärmekonvektion gegeben, wodurch der Wirkungsgrad gegenüber einem offenen Feuer etwas ansteigen kann. Der Bedienungsaufwand und die Emissionen sind relativ hoch.

**Stückholzkessel** (Leistungsreich ca. 10 bis 100 kW) haben in den letzten Jahren einen erheblichen Entwicklungsschub erlebt. Die Verbrennungsgase werden vollständig durch eine heiße Verbrennungszone geleitet und verbleiben für ausreichend lange Zeit in einer heißen Nachverbrennungszone, in der eine vollständige Verbrennung sichergestellt werden kann. Die Emissionen der modernen Anlagen sind dadurch gering und der Wirkungsgrad sehr hoch. Das Schwachlastverhalten gestaltet sich bei diesen Kesseln schwierig, weshalb die Kombination mit einem Wärmepufferspeicher angestrebt werden sollte.

**Hackschnitzelheizkessel** (ca. 15 kW bis mehrere MW Leistung) haben in letzter Zeit in noch größerem Maße als die Stückholzkessel eine technische Weiterentwicklung erlebt. Die Verbrennung lässt sich besser regeln als bei Stückholzkesseln, da der Brenn-

stoff jederzeit dosiert und der geforderten Leistung angepasst zugegeben werden kann. Die Verbrennung erfolgt teilweise sensor- und prozessorgesteuert und garantiert in jedem Betriebszustand optimales Ausbrandverhalten und sehr hohe Wirkungsgrade. Da der Brennstoff weitgehend homogen und schüttfähig vorliegt, erfolgt die Brennstoffzuführung automatisch, was den Bedienungsaufwand erheblich vermindert. Nachteilig gegenüber den fossilen Brennstoffen wirkt sich der Umstand aus, dass der Heizwert der Biomasse volumenbezogen relativ gering ist und daher ein umfangreiches Lager für den Brennstoff vorhanden sein muss.

### **Nahwärmeversorgung mit Biomasse**

Der hohe technische Aufwand bei der Installation einer Biomasseheizanlage legt den Gedanken nahe, mehrere Wärmeverbraucher über ein Wärmenetz mit einer solchen Anlage zu verbinden. Ein biomassebefeuetes Heizwerk mit Nahwärmenetz liefert gebrauchsfertige Nutzwärme in Form von Heißwasser, das über isolierte, erdverlegte Rohre zu den angeschlossenen Wärmeabnehmern gepumpt wird (Vorlaufleitung). Dort wird die Wärme über einen Wärmetauscher, der den eigenen Heizkessel im Haus ersetzt, an den Heizkreislauf des Gebäudes weitergegeben. Das abgekühlte Wasser wird zum Heizwerk zurückgeleitet (Rücklaufleitung). Nach der neuerlichen Aufheizung im Heizwerk beginnt der Kreislauf von vorne.

Im Gegensatz zu vielen Einzelheizungen ist es in einer zentralen Anlage wesentlich einfacher und billiger, verbesserte Technologie nachzurüsten oder auf zukünftige Technologien umzustellen (z.B. auch Solarthermie oder Blockheizkraftwerke).

Für einen wirtschaftlichen Betrieb wird ein Heizwerk in der Regel so dimensioniert, dass die Grundlast des Wärmebedarfs durch Biomasse abgedeckt wird. Die Spitzenlast des Wärmebedarfs tritt nur an wenigen kalten Tagen auf und wird durch einen fossil befeuerten Kessel (Spitzenlastkessel) gedeckt. Dieser Kessel kann auch bei einem eventuellen Ausfall des Biomassekessels die Wärmeversorgung sicherstellen.

Die Kombination von Biomasse für die Grundlast und fossilen Energieträgern für die Spitzenlast gewährleistet eine hohe Versorgungssicherheit.

Die Nahwärmeversorgung hat zusätzlich den Vorteil, dass der Wärmeabnehmer keine gesonderten Heiz- und Lagerräume benötigt, denn die Übergabestationen mit ihren geringen Abmessungen können in kleinen Wandkästen untergebracht werden. Wartung und Reparatur übernimmt in der Regel der Betreiber des Nahwärmenetzes.

## **Holzkraftwerke**

### **Reine Stromerzeugung**

Zur Stromerzeugung mit Biomasse-Festbrennstoffen bestehen unterschiedlichste Möglichkeiten. Die wichtigsten Wege aus fester Biomasse Strom zu erzeugen lassen sich folgendermaßen unterteilen:

- Dampfkraftprozesse
- Direkte Nutzung
- Vergasung
- gekoppelte Prozesse

Im Nachfolgenden sind die Möglichkeiten der Stromerzeugung sehr vereinfacht dargestellt.

## Dampfkraftprozesse

Der Umweg über die Dampferzeugung ist die gebräuchlichste Möglichkeit, aus der Verbrennung von festen Biomassen Strom zu gewinnen und wird als Stand der Technik seit vielen Jahrzehnten angewandt. Diese Technik läuft in vergleichbarer Weise z.B. auch in Kohlekraftwerken ab, nur dass anstatt der Kohle Biomasse eingesetzt wird.

Die Feuerung und der Kessel einer Anlage zur Dampferzeugung entsprechen im Wesentlichen denen, die in großen Wärmenetzen zur Warmwassererzeugung für das Fernwärmenetz eingesetzt werden. Der Kessel ist hier allerdings so ausgelegt, dass dem Wasser im Kessel mehr Wärme zugeführt wird, das Wasser zu sieden beginnt und somit Dampf mit entsprechendem Druck entsteht - ähnlich wie das in einem Dampfkochtopf geschieht. Je mehr Wärme aus der Biomasseverbrennung dem Kessel zugeführt wird, um so größer wird der Druck des Dampfes im Kessel.

Diese Druckdifferenz gegenüber der Außenluft oder dem Verdampfungsdruck des Wassers bei Temperaturen in der Nähe der Umgebungstemperatur kann dazu genutzt werden, Arbeit zu leisten.

Dies geschieht in den allermeisten Fällen über zwei unterschiedliche Maschinen:

- ⊗ Dampfturbine
- ⊗ Dampfmotor.

### *Dampfturbine*

Der unter Druck stehende Dampf aus dem Biomassekessel wird bei einer Turbine über Schaufelräder geleitet, bevor er an die Umgebungsluft abgegeben oder kondensiert wird und kann somit Arbeit leisten. Die Schaufelräder versetzen die Achse, auf der sie befestigt sind, in eine Drehbewegung. Die Turbinenachse treibt direkt oder indirekt über ein Getriebe einen Generator an, der den Strom erzeugt.

Wird der Dampf kondensiert, kann das Wasser in einem Kreislauf dem Kessel wieder zugeführt werden und geht nicht verloren.

Die mit dieser Technik maximal erreichbaren Wirkungsgrade bei der Stromproduktion bezogen auf den Brennstoffeinsatz liegen bisher bei ca. 30 %.

### *Dampfmotor*

Beim Dampfmotor wird der Dampf aus dem Kessel über Ventile in die Kolben des Motors geleitet und setzt die Kurbelwelle über Pleulstangen (ähnlich wie beim Verbrennungsmotor) in eine Drehbewegung. Die Kurbelwelle treibt wie bei der Turbine direkt oder indirekt einen Generator an, der wiederum den Strom erzeugt.

Aus den Kolben wird der Dampf wie bei der Dampfturbine an die Umgebungsluft abgegeben oder kondensiert.

Die Wirkungsgrade bei der Stromerzeugung sind beim Dampfmotor geringer als bei der Dampfturbine und liegen unter 20 %.

## Direkte Stromerzeugung

Bei der direkten Stromerzeugung wird die in der Biomassefeuerung entstehende Wärme unmittelbar dazu genutzt Strom zu erzeugen. Dies wäre z.B. durch den Einsatz von thermoelektrischen Generatoren denkbar, die eine Temperaturdifferenz direkt in elektrischen Strom umwandeln können, aber neben anderen technischen Problemen auch einen recht schlechten Wirkungsgrad aufweisen. Ebenso sind direkt befeuerte Gasturbinen denkbar, deren Einsatz aber hauptsächlich an der Staubbelastung der Abgase von Biomassefeuerungen scheitert.

Eine Möglichkeit, die in Demonstrationsanlagen bereits relativ erfolgreich eingesetzt wird, ist der Einsatz von Stirlingmotoren in Verbindung mit Biomassefeuerungen. Stirlingmotoren bieten im Gegensatz zu üblichen Verbrennungsmotoren den Vorteil, dass bei ihnen die Verbrennung außerhalb des Motors abläuft und die Wärme mit Hilfe eines Wärmetauschers auf das Arbeitsgas im Innern des Stirlingmotors übertragen wird. Theoretisch können mit Hilfe eines Stirlingmotors hohe Wirkungsgrade erreicht werden. Bei den realisierten Anlagen stellen sich allerdings Probleme durch die Verschmutzung der Wärmetauscherflächen, das nicht Erreichen genügend hoher Temperaturen und den allgemeinen Entwicklungsstand bei Stirlingmotoren, der dem von Verbrennungsmotoren hinterherhinkt, ein. Der Stirlingmotor treibt wiederum einen Generator zur Stromerzeugung an.

Die erreichbaren Wirkungsgrade beim Einsatz von Stirlingmotoren in Verbindung mit Biomassefeuerungen sind wegen den relativ niedrigen erreichbaren Temperaturen sehr gering und liegen bei ca. 10 %.

### **Biomassevergasung**

Bei der Vergasung von Biomasse wird in einem Zwischenschritt ein gasförmiger Sekundärenergieträger aus Biomasse erzeugt, der dann ähnlich wie Erdgas in unterschiedlichen Anlagen zur Stromerzeugung eingesetzt werden kann.

Die Biomasse wird hierbei unter Zuführung von Wärme in die Gasphase überführt, wodurch ein brennbares Gas entsteht. Die Wärmezufuhr kann intern durch die Teilverbrennung der Biomasse unter Sauerstoffmangel oder extern über Wärmetauscher bei Sauerstoffausschluss erfolgen, wobei dieses Gas den höheren Heizwert aufweist.

Der Nutzung des Gases muss eine Gasreinigung vorgeschaltet werden, da das Gas durch den Ascheanteil in der Biomasse und durch Teere aus der unvollständigen Vergasung verschmutzt ist. Diese Verschmutzungen können die Funktionstüchtigkeit bzw. Langlebigkeit der nachgeschalteten Aggregate stark beeinträchtigen.

Bestandteil	Gehalt
CO	10 - 15 Vol-%
H <sub>2</sub>	15 - 20 Vol-%
CH <sub>4</sub>	3 - 5 Vol-%
andere C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	< 1 Vol-%
CO <sub>2</sub>	10 - 15 Vol-%
N <sub>2</sub>	45 - 50 Vol-%
Heizwert	4 - 6 MJ/m <sup>3</sup>

Tabelle: Zusammensetzung und Heizwert von Holzgas nach der Gasreinigung (nach Marutzky/Seeger 1999)

Als nachgeschaltete Aggregate sind wie z.B. beim Einsatz von Erdgas auch, folgende Möglichkeiten gegeben:

- ⊗ Gasturbine
- ⊗ Gasmotor
- ⊗ Brennstoffzelle

#### Gasturbine

Das Gas aus der Biomassevergasung wird zusammen mit verdichteter Luft in den Brenraum der Turbine gegeben und dort verbrannt. Die dabei freigesetzte Energie wird dadurch genutzt, dass die heißen Abgase aus der Verbrennung über eine Turbine geleitet werden und diese wie der Dampf in der Dampfturbine in Rotation versetzen.

Die Wirkungsgrade bei der Stromerzeugung liegen bezogen auf den Brennstoffeinsatz bei knapp über 20 %.

#### Gasmotor

Der Gasmotor entspricht im Wesentlichen einem Erdgasmotor, der dem niedrigeren Heizwert des Gases aus der Biomassevergasung angepasst ist.

Der hier erreichbare Wirkungsgrad beträgt ungefähr 25 %.

#### Brennstoffzelle

Eine elegante Möglichkeit der Nutzung des Gases aus der Biomassevergasung bietet die Brennstoffzelle. In der Brennstoffzelle werden auf elektrochemischem Weg Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser umgesetzt, wobei elektrische Energie frei wird. Da das Gas aus der Biomassevergasung relativ wenig Wasserstoff enthält muss für eine sinnvolle Betriebsweise entweder das Gas mittels eines Dampfreforming genannten Prozesses mit Wasserstoff angereichert werden, bei dem im Wesentlichen das CO im Gas mit Wasserdampf zu CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> umgesetzt wird oder es muss auf Brennstoffzellen zurückgegriffen werden, die auch mit CO betrieben werden können (z.B. Schmelzkarbonat-Brennstoffzellen).

Die Vorteile der Brennstoffzelle liegen darin, dass bei der Umwandlung von chemisch gebundener Energie in elektrische kein mechanischer Zwischenschritt benötigt wird und hohe theoretische Wirkungsgrade erreicht werden können.

Schwierigkeiten bereitet beim Einsatz von Brennstoffzellen die Bereitstellung von hochreinem Wasserstoff bzw. haben Brennstoffzellen, die auch CO als Brennstoff einsetzen können noch nicht die Serienreife erlangt. Bisher konnten noch keine Verga-

sungsanlagen in Verbindung mit Brennstoffzellen im technischen Maßstab demonstriert werden.

Wegen der theoretisch hohen Wirkungsgrade der Brennstoffzelle sind hier in Zukunft Wirkungsgrade von über 40 % denkbar.

### **Gekoppelte Prozesse**

Den direkten Prozessen und den Prozessen auf Basis von Biomassevergasung lässt sich jeweils noch ein Dampfkraftprozess nachschalten. Hierdurch können die Wirkungsgrade bei der Stromproduktion nochmals deutlich gesteigert werden. So lässt sich z.B. einer Gasturbine ein Dampfkessel nachschalten, der die Abgase aus der Gasturbine zur Dampferzeugung nutzt. Auf diese Weise können Wirkungsgrade von um die 40 % erreicht werden. Negativ wirken sich hier die zusätzlichen Kosten für den Dampfkraftprozess aus.

### **Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)**

Bei der reinen Stromproduktion geht ein Großteil der Energie durch die Abwärme der eingesetzten Prozesse verloren. Den größten Teil dieser Wärme kann man aber noch gut zu Heizzwecken nutzen. So können sämtlichen hier vorgestellten Prozessen Wärmetauscher nachgeschaltet werden, die Warmwasser zu Heizzwecken zur Verfügung stellen. Da die Abwärme der Anlagen immer parallel zur Stromproduktion anfällt, ist es aus energetischer Sicht sinnvoll, die Anlagen nur dann zu betreiben, wenn ein Wärmebedarf gegeben ist.

In Kraft-Wärme-Kopplung betriebene Anlagen können als Summe aus elektrischem und thermischem Wirkungsgrad Gesamtwirkungsgrade von bis zu 90 % erreichen und bieten somit eine optimale Brennstoffausnutzung.