

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 128 (2002)
Heft: 10: Alternative Energien

Artikel: Energie aus Biomasse - England gibt Vollgas: Biomasse ist ein erneuerbarer Energieträger und daher fast CO2-neutral
Autor: Scheil, Claudia
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-80383>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Energie aus Biomasse – England gibt Vollgas

Biomasse ist ein erneuerbarer Energieträger und daher fast CO₂-neutral

Energie aus Biomasse ist erneuerbar und daher ökonomisch und ökologisch interessant. Bisher wurde die Vergasung von Holz, Gras oder Gülle aber eher im kleinen Stil praktiziert – etwa in landwirtschaftlichen Betrieben. Die Fördermassnahmen erlauben nun europaweit den Bau von grossen Kraftwerken. Grossbritannien vereint bei der Konzeption von kommerziellen Biomassekraftwerken alte Traditionen mit neuen Technologien. Das Vorzeigeprojekt ist das Holzvergasungskraftwerk «Arbre» in Northumberland – bald eine Konkurrenz für Atomkraftwerke?

Grossbritannien belegt in Sachen Umweltschutz allgemein die hinteren Ränge, gehört jedoch zur europäischen Spitze, wenn es um den Klimaschutz geht. Das Ziel der Briten ist es, den CO₂-Ausstoss bis 2010 um 20% zu reduzieren. Realisiert wird diese Vorgabe hauptsächlich durch die gesetzliche Verpflichtung der britischen Energieversorger, den Anteil der erneuerbaren Energiequellen an der Gesamtenergieerzeugung drastisch zu erhöhen. Mittelfristig soll die Biomassevergasung besonders gefördert werden, da gute Exportmöglichkeiten erwartet werden. Obwohl die Insel waldarm ist – nur gerade 9% der Landesfläche ist heute noch bewaldet –, setzt sie vorwiegend auf Holz als Brennstoff.

Wenn die neue Technologie auf Erfolgskurs bleibt, könnte die Biomassevergasung bezüglich Grössenordnung und Verfügbarkeit in relativ kurzer Zeit mit der Kernenergie konkurrieren. Die Biomassevergasung ist kohlendioxidneutral, und es fällt kein radioaktiver Abfall an. Die Asche aus dem Vergasungsprozess kann sogar in der Landwirtschaft als Dünger verwendet werden.

Die Biomasseplantagen müssen auch keine Monokulturen sein. Da der Vergasungsprozess für eine Fülle von verschiedenen Holzsorten geeignet ist, können Mischkulturen gepflanzt werden, die ökologisch wertvoll sind. Energiekulturen sind ausserdem eine einmalige Chance zur wirtschaftlichen Wiederbelebung von ländlichen Gebieten und zur Regeneration von Ödland oder Wüsten.

Klimarettter Biomasse?

Holz ist Biomasse, das zum Zweck der Energieerzeugung direkt verbrannt oder vergast werden kann. Der transportierbare Energieträger ist dann das im Vergasungsprozess entstandene Biogas. Sowohl Verbrennung als auch Vergasung sind besonders umweltfreundlich, weil sie kohlendioxidneutral sind. Bei der Verbrennung der Biomasse bzw. des Biogases zur Energieerzeugung wird nur so viel Kohlendioxid freigesetzt, wie das organische Material bei seiner Entstehung der Atmosphäre entzogen hat. Der Treibhauseffekt wird also nicht verstärkt – ganz im Gegensatz zur konventionellen Energieerzeugung mit fossilen Brennstoffen. Bei Letzterem wird Kohlendioxid freigesetzt, das seit Millionen von Jahren unter der Erdoberfläche in Kohleflözen und Erdölfeldern gespeichert war.

Aber auch die Verbrennung von Biomasse bzw. Biogas ist nicht ganz emissionsfrei: Bei der Gewinnung, dem Transport und der Aufbereitung des Brennstoffs sowie beim Bau und bei der Wartung des Kraftwerks entstehen CO₂-Emissionen. Insofern kann es keine hundertprozentige CO₂-Neutralität geben. Zudem ist Methan, der Hauptbestandteil von Biogas, ein starkes Treibhausgas (blauer Kasten).



1

Das Biomassekraftwerk «Arbre»: die Abkürzung steht für Arable Biomass Renewable Energy und heisst auf Französisch «Baum» (Bild: First Renewables Ltd.)

Um Energieerzeugungsmethoden und Kraftwerkstypen hinsichtlich realer CO₂-Emissionswerte vergleichen zu können, gibt es den so genannten CO₂-Emissionsfaktor. Er gibt an, wie viel Gramm Kohlendioxid pro erzeugte Kilowattstunde elektrischer Leistung ausgestossen wird. In dieser Zahl sind sowohl die direkten Kohlendioxidemissionen durch die Verbrennung selber als auch die indirekten Kohlendioxidemissionen durch Erzeugung, Transport und Aufbereitung des Brennstoffs sowie Bau und Betrieb des Kraftwerkes berücksichtigt. Der CO₂-Emissionsfaktor für Biomasse¹ beträgt etwa 46 g/kWh. Kohlekraftwerke haben im Vergleich dazu einen CO₂-Emissionsfaktor von 1210 g/kWh.

Obwohl die Biomasse sich deutlich klimafreundlicher zeigt als die konventionelle Energieerzeugung, bleibt noch viel Spielraum für Verbesserungen. Um CO₂-Emissionen zu minimieren, müssten beispielsweise die Brennstoffherzeugung in der Landwirtschaft extensiviert, Transportwege verkürzt und Verbrennungsprozesse vereinfacht werden. Mit diesem Ziel vor Augen geht man in England neue Wege bei der Konzeption von Biomassekraftwerken.

«Arbre» – ein neues Konzept

Das erste kommerziell betriebene Biomassekraftwerk setzt als Brennstoff ausschliesslich auf lokal erzeugtes Holz und Waldrestholz aus der Forstwirtschaft. Es wird von einer Firma aus Leeds in Eggborough/Yorkshire gebaut. Die 10-MW-Anlage mit dem Namen «Arbre» (Bilder 1 und 2) soll laut Dr. Keith Pitcher, dem Strategic Development Manager, in naher Zukunft ans Netz gehen und somit die erste ihrer Art in Europa sein. Sie wird genug Energie erzeugen, um 18 000 Menschen zu versorgen.

Um Transportwege und damit CO₂-Emissionen zu vermeiden, wird der Brennstoff in unmittelbarer Umgebung des Kraftwerkes – teils vom Betreiber selber, teils von lizenzierten Landwirten – auf einer Gesamtfläche von etwa 2000 ha angebaut. «Arbre» verwertet hauptsächlich so genanntes «Short Rotation Coppice» als Brennstoff. Bei diesem Rohstoff handelt es sich um Weiden und Pappeln, deren Holz alle drei Jahre auf den Stock gesetzt, d.h. bis knapp über den Wurzelansatz zurückgeschnitten wird. Das Jungholz wird gehäckselt, getrocknet und anschliessend im Kraftwerk vergast. Der Bedarf an getrockneten Holzschnitteln für das Arbre-Kraftwerk wird auf 43 000 t/a geschätzt – das entspricht 142 000 t frisch geschnittenem Holz. Die eigenständige Brennstoffherzeugung garantiert die konstante Versorgung des Kraftwerkes mit Brennstoff. Dies erhöht die Wirtschaftlichkeit des Betriebs.

Stockausschlagwälder – eine alte Tradition

Die erwähnte Methode der Holznutzung basiert auf einer alten Tradition. Hasel, Weissbuchen, Eschen und Weiden wurden nämlich seit der Steinzeit als Lieferanten von Viehfutter, Brennholz und Einstreu genutzt. Die erwähnten Baumarten wurden periodisch auf den Stock zurückgeschnitten – daher der Name Stockausschlagwälder. Zwei Bewirtschaftungsprinzipien² waren

bekannt: Beim Niederwald wurde der gesamte Baumbestand niedrig gehalten. Im Gegensatz dazu wurden beim Mittelwald einzelne Eichen stehen gelassen. Diese lieferten dann das Holz für den Haus- und Schiffsbau. Beide Bewirtschaftungsformen hielten sich in vielen Ländern Europas noch bis ins 19. Jahrhundert. Heute sind diese Waldbausysteme fast gänzlich verschwunden [Anm. der Red.: Die ETH betreibt auf dem Höggerberg einen Mittelwald, Bild 3]. Schon als der Mensch begann, sesshaft zu werden und Ackerbau zu betreiben, schwand der Wald kontinuierlich. Grosse Gebiete wurden zudem während der industriellen Revolution für den Betrieb der Dampfmaschinen abgeholzt. In England bestehen heute noch grosse, so genannte «Coppice Forests» (dt. Schneitelwälder) – Waldgebiete, die teilweise seit Hunderten von Jahren bewirtschaftet werden. Diese Wälder zeichnen sich durch ihren hohen Artenreichtum aus. Viele Pflanzen und Tierarten haben sich auf dieses Habitat spezialisiert – etwa der Steinkauz, der in den Hohlräumen alter Bäume wohnt und brütet, zur Jagd aber offene Grasflächen bevorzugt.

Die Gewinnung des Biogases

Die Gewinnung von Biogas aus Holz ist ein sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvoller Prozess. Holz fällt in grossen Mengen als Nebenprodukt in bewirtschafteten Wäldern an und kann auch landwirtschaftlich erzeugt werden. Energiemässig steht dieser Rohstoff anderen kaum nach: Holzhäcksel enthalten einen Energiewert von bis zu 18 MJ – 4 kWh/m³, Erdgas etwa 10 kWh/m³. Die Vergärung in Fermentiertanks ist die bekannteste Form der Biogaserzeugung (grüner Kasten). Holzige Pflanzenteile können aber durch reine Vergärung nur sehr schlecht in Biogas umgewandelt werden. Die Vergasung von Holz und stark holzhaltigem Pflanzenmaterial erfordert deshalb die Anwendung anderer Verfahren zur Biogasgewinnung.



2

Im Innern des Biomassekraftwerkes: die Gasturbine (Bild: First Renewables Ltd.)

Biogas – ein Klimakiller?

Treibhausgase wie Kohlendioxid, Methan, Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Distickstoffoxid halten die Infrarotstrahlung der Sonne in der Erdatmosphäre zurück, so dass sich die Erdoberfläche und der untere Bereich der Erdatmosphäre erwärmen. Treibhausgase waren während der gesamten Erdgeschichte immer ein natürlicher Bestandteil der Atmosphäre und haben dazu beigetragen, dass die Temperaturen auf der Erde die Entwicklung von Leben ermöglichten. Seit der industriellen Revolution kommen zu den natürlichen Quellen für Treibhausgas jedoch viele anthropogene Quellen hinzu. Dadurch hat sich der Anteil der Treibhausgase in der Erdatmosphäre drastisch erhöht. Die Folgen davon: Die Temperatur der Erdatmosphäre steigt, das Klima gerät aus der Balance.

Methan, ein Hauptbestandteil von Biogas, ist nach Kohlendioxid das zweitwichtigste Treibhausgas. Es ist etwa zwanzigmal so wirksam wie Kohlendioxid, und seine Konzentration in der Erdatmosphäre hat sich in den letzten hundert Jahren um das Zweieinhalbfache erhöht. Das Gas entsteht auf natürliche Weise und in signifikanter Menge bei Gärungsprozessen in Feuchtgebieten, besonders in den Torfmooren der nördlichen Breiten, beim Verbrennen von Biomasse (Waldbrände), beim Gasaustausch zwischen der Atmosphäre und den Meeren und – so merkwürdig es klingt – in Termitenhügeln.

Eine der wichtigsten anthropogenen Quellen von Methan ist die Landwirtschaft. Grosse Mengen Methan entstehen etwa in Reisfeldern (künstliche Feuchtgebiete), durch tropische Brandrodung und durch Gärungsprozesse im Darm von Wiederkäuern. Andere Quellen sind Lecks in Erdgaspipelines, Gasfreisetzungen durch Erdöl- und Erdgasbohrlöcher, bei der Kohlegewinnung und -veredelung sowie in Mülldeponien.

Obwohl Methan ein starkes Treibhausgas ist, kann es dazu beitragen, den Treibhauseffekt zu verringern, wenn wir es nutzen. Biogas mit seiner Hauptkomponente Methan ist trotz der potentiellen Gefahr für das Klima ein regenerativer und damit klimafreundlicher Energieträger.



3

Stockausschlag (Bild: ETHZ, Professur Forsteinrichtung und Waldwachstum)

Herkömmliche Biogasanlagen

Die Vergärung in Fermentiertanks ist die bekannteste Methode der Biogaserzeugung. Die Biomasse mit einem Mindestwasseranteil von 50 % wird in einem isolierten und beheizten Beton- oder Stahltank eingebracht. Besonders nasse, energiereiche Biomasse wie Rinder- oder Schweinegülle, Bioabfall, Klärschlamm, Altfett oder Grasschnitt ist hierfür geeignet.

Unter Luftabschluss bauen die im Substrat natürlich vorhandenen Bakterien in einem mehrstufigen Prozess die hochmolekulare organische Substanz zu niedermolekularen Stoffen ab. Es entsteht neben dem Biogas eine Gärückstandsfraktion aus schwer vergärbaren Substanzen, etwa Holz, Wasser und anorganischen Substanzen.

Der Prozess der Vergärung dauert meist Wochen. In dieser Zeit können Schwimmschichten im Substrat entstehen, die den Vergärungsprozess behindern können. Der Inhalt des Tanks muss daher regelmässig umgewälzt werden. Das so gewonnene Biogas wird gereinigt und anschliessend in einem angeschlossenen Blockheizkraftwerk verfeuert, wobei ein Teil der Abwärme und des erzeugten Stromes für den Betrieb der Biogasanlage verbraucht wird (Heizung des Fermenters, Rührwerk, Zerkleinerer usw.). Wenn die Anlage kontinuierlich Strom und Wärme liefern soll, müssen täglich neue Biomasse zugefügt und Gärückstände abgeführt werden. Andernfalls wird die Anlage nach Abschluss der Vergärung heruntergefahren, gereinigt, mit frischer Biomasse bestückt und ein neuer Gärprozess gestartet.

Je nach Anwendungsbereich und Beschaffenheit des Holzbrennstoffs unterscheiden sich diese Verfahren mehr oder weniger voneinander. Für den Betrieb von Kraftwerken zur Energieerzeugung stehen mittlerweile ausgereifte Holzvergasungstechnologien zur Verfügung, die niedrige Betriebskosten mit hoher Betriebssicherheit und hohem Wirkungsgrad verbinden.

Eines dieser Verfahren ist seit langem aus der Vergasung von fossilen Brennstoffen, etwa Steinkohle, bekannt. Die Vergasung erfolgt mittels zirkulierender Wirbelschicht. Diese Methode ist ein apparativ sehr aufwendiges Verfahren und daher erst bei grösseren Kraftwerksleistungen wirtschaftlich. Für die Vergasung von Holz eignet es sich bestens, denn der Vergasungsprozess ist hinsichtlich Feuchte und Struktur des Brennstoffs relativ robust und darüber hinaus tolerant gegenüber dem für Holz typisch hohen Asche- und Fremdstoffanteil. Zudem können gute Wirkungsgrade erzielt werden.

Die Energieerzeugung im Arbre-Kraftwerk erfolgt mittels eines vierstufigen Prozesses mit dem Namen «BIG-CC» (für Biomass Integrated Gasification Combined Cycle). Dies ist eine Weiterentwicklung des «IG-CC»-Prozesses, der ursprünglich für die Vergasung von Steinkohle konzipiert worden war. Hierbei werden ein Gas- und ein Dampfkreislauf miteinander kombiniert, um die Energieausbeute des Kraftwerkes zu erhöhen (Bild 4).

1. Stufe: Vorbereitung

Vor der eigentlichen Vergasung der Holzhäcksel müssen diese auf übergrösse Partikel (>50 mm) und Fremdstoffe überprüft werden. Anschliessend wird der Brennstoff mittels Trocknung durch Prozessabwärme auf ein Feuchteniveau von 10 % gebracht.

2. Stufe: Vergasung

Die Vergasung erfolgt unter atmosphärischem Druck in einem mit feuerfestem Material ausgekleideten Stahltank. Die getrockneten Holzhäcksel werden mittels einer Förderschnecke kontinuierlich eingebracht. Zusätzlich wird Luft mit einem hohen Wasserdampfanteil eingeblasen. Die gesamte Mixtur bewegt sich wie eine schnell zirkulierende Flüssigkeit (Wirbelschicht). Dadurch können sich alle Komponenten optimal miteinander vermischen, was die schnelle und komplette Konversion des Holzes in Biogas ermöglicht. Zum Anfahren des Reaktors wird die Temperatur im Vergaser mittels Verbrennung von Erdgas auf 850 °C gebracht. Die Erhitzung der Holzhäcksel führt dazu, dass diese ihre letzte innere Feuchtigkeit abgeben und sich anschliessend thermisch zersetzen (Pyrolyse). Dabei entstehen Wasserdampf, gasförmige, flüchtige Stoffe, feste Holzkohle und eine Flüssigkeit, die als Primärteer bekannt ist. Bei den flüchtigen Substanzen handelt es sich hauptsächlich um Wasserstoff (H₂), Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Ethan (C₂H₆), Ethylen (C₂H₄) und kleinere Mengen an schwereren Kohlenwasserstoffen. Mit Hilfe des Sauerstoffs in der eingeblasenen Luft oxidieren die flüchtigen Substanzen und heizen dabei den Reaktor weiter auf. Von nun an bleibt der Vergasungsprozess stabil, ohne dass Hilfswärme hinzugefügt werden muss.

Die Holzkohle wird ebenfalls durch den vorhandenen Sauerstoff oxidiert ($2C + O_2 \rightarrow 2CO_2$) oder reagiert mit Kohlendioxid zu Kohlenmonoxid ($C + CO_2 \rightarrow 2CO$) oder mit dem Wasserdampf zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff ($C + H_2O \rightarrow CO + H_2$). Weil die Menge Sauerstoff, die zur Oxidation zur Verfügung steht, begrenzt ist, entsteht ein Rohgas, dessen brennbare Hauptkomponenten Methan (CH₄), Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂) sind.

3. Stufe: Reinigung des Rohgases

Das Rohgas enthält typischerweise noch einen Anteil von etwa 0,5–2 % Teer und andere Verunreinigungen. Bevor es in einer Gasturbine verfeuert werden kann, muss es deshalb gereinigt werden.

Teer besteht aus schweren Kohlenwasserstoffen, die, wenn sie kondensieren, zur Verstopfung von Rohren, Ventilen, Filtern und zur Beschädigung der Gasturbine führen können. Im «Cracker» werden die langen Kohlenstoffmoleküle des Teers gespalten, was sie ungefährlich macht. Dies geschieht in einer weiteren zirkulierenden Wirbelschicht, die mit einer geringfügig höheren Temperatur (900 °C) arbeitet. Als Katalysator dient Dolomit.

Beim Verlassen des «Crackers» wird das Gas gekühlt. Die Abwärme wird abgeführt und zum Heizen des Dampfkessels verwendet. Anschliessend durchströmt das Gas einen Sackfilter, der Flugasche und andere feine Partikel ausfiltert. Nach weiterer Kühlung durchläuft das Gas einen Wäscher, in dem mittels Schwefelsäure jegliche Teerreste, Wasserdampf sowie Spuren von Ammonium und Alkalimetallen auskondensiert werden. Das Produkt ist nun von hoher Qualität und kann in einer konventionellen Gasturbine verbrannt werden.

4. Stufe: Energieerzeugung

Der Hauptanteil des Biogases wird komprimiert und bei hoher Temperatur in der Gasturbine verbrannt. Die heissen Abgase aus dieser Turbine werden – wie die Abwärme aus der Gaskühlung – zum Heizen des Dampfkessels verwendet. Ein kleiner Anteil des Biogases dient zur Unterstützung der Dampferzeugung. Mit dem Dampf wird eine weitere Turbine angetrieben. Der Dampf wird nach Austritt aus der Turbine kondensiert und wieder in den Dampfkreislauf eingebracht.

Die Drehzahl der Gasturbine beträgt 17 000 rpm, die der Dampfturbine 8500 rpm. Über eine Kupplung werden diese Umdrehungszahlen auf 1500 rpm heruntergebracht, so dass jede Turbine einen konventionellen Synchrongenerator antreiben kann.

Die gesamthaft erzeugte elektrische Leistung des Kraftwerkes beträgt 10 MW. Davon erzeugt die Dampfturbine 5,25 MW, die Gasturbine 4,75 MW. 2 MW werden für den Betrieb des Kraftwerkes benötigt, so dass insgesamt 8 MW in das Netz eingespeist werden können. Der erreichte Wirkungsgrad ist mit 31 % nahezu vergleichbar mit dem eines konventionellen Kohlekraftwerkes. Bei Biomassekraftwerken mit grösserer Leistung könnte sich der Wirkungsgrad theoretisch allerdings auf bis zu 42 % erhöhen.

