

# Biomasse – Baustein einer CO<sub>2</sub>-armen Energieversor- gung

von Hans Mohr

## Überblick

Reststoffe aus Land- und Forstwirtschaft, vorrangig Stroh und (Rest-)Holz, repräsentieren leicht zugängliche, für Energieerzeugung nutzbare Biomasse. Darüber hinaus können durch den Anbau von Energiepflanzen – vorrangig Getreide und Raps – landwirtschaftliche Überschußflächen sinnvoll genutzt werden. Das für eine Energieversorgung verfügbare Biomassepotential bleibt indessen begrenzt. Die Fragen an die Wissenschaft lauten: Wie groß ist das Potential – regional und global – wie läßt es sich am effektivsten nutzen, zu welchen Preisen?

Residual material from agriculture and forestry, predominantly straw and (residual) wood represents easily accessible biomass suitable for energy production. Moreover growing energy plants – in particular high yielding cereals and rape – on agricultural surplus land is a possibility to use intelligently those traditional agricultural areas which are no longer needed to grow food or fodder. However, the biomass potential available for energy production is obviously limited. The questions which must be answered by scientific analysis are: How great is the potential – regional and global – how can it be used most efficiently, at what prices?

## 1. Argumente zugunsten der energetischen Nutzung von Biomasse

Als Standardargumente für eine energetische Nutzung von Biomasse werden genannt:

- Biomasse ist gespeicherte Sonnenenergie und damit ein erneuerbarer Energieträger, durch dessen Einsatz die fossilen Energievorräte geschont werden.
- Durch den Anbau von Biomasse für energetische Zwecke können landwirtschaftliche Überschußflächen sinnvoll genutzt und neue Perspektiven für die Landwirtschaft eröffnet werden.
- Durch den weitgehend geschlossenen CO<sub>2</sub>-Kreislauf zwischen Aufwuchs und Nutzung entlastet Biomasse als (fast) CO<sub>2</sub>-neutraler Energieträger die globale CO<sub>2</sub>-Bilanz.

- Biomasse kann vergast (Biogas – Methan, CO, H<sub>2</sub>) oder verflüssigt werden (Methanol, Ethanol, Rapsmethylester (RME)). Biomasse kann

aber auch in fester Form (Presslinge, pellets) direkt verbrannt werden. Die erforderlichen Technologien sind im Prinzip verfügbar.

## 2. Überblick über Nutzungspotentiale

Das Biomassepotential ist begrenzt (Tabelle 1), aber relativ leicht zu nutzen. Die größten Chancen, kurzfristig einen gewissen Marktanteil als Primärenergieträger zu erreichen, liegen bei den Reststoffen aus Land- und Forstwirtschaft, also bei Stroh und Restholz. Speziell angebaute Energiepflanzen – Raps, Energiegetreide – haben es aus monetären Gründen schwer, eine Marktnische zu erobern.

Dasselbe gilt für Methanol aus (Rest-) Biomasse (thermochemische Vergasung und Reformierung). Andererseits bilden flüssige Treibstoffe aus Biomasse (RME, Methanol, Ethanol) eine wichtige Option für „die Zeit nach dem Erdöl“. Das Thema „Energie aus Biomasse“ sollte also nicht auf die direkte thermische Nutzung eingeeengt werden.

Es sei betont, daß das Biomassepotential für energetische Zwecke sehr stark von Rahmenbedingungen abhängig ist, z.B. Ausmaß der Flächenstilllegung, Anteil von Raps in der Fruchtfolge, diffuse Nutzung von Holz im ländlichen Raum.

Die Potentiale einer energetischen Verwertung organischer Abfallstoffe sind auf jeden Fall bescheiden (Tabelle 2).

Sowohl regional als auch global bedeutet „Energie aus Biomasse“ keinen technologischen Megatrend; die Nutzung der globalen Nettoprimärproduktion tendiert eher in Richtung verstärkter Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Global nimmt die verfügbare landwirtschaftliche Fläche stetig ab; sie betrug

in 1980: 0,30 ha/Kopf,  
in 2000: 0,22 ha/Kopf (geschätzt).

Nach den Zahlen der UN wird die Weltbevölkerung auch weiterhin um 70 bis 90 Millionen pro Jahr zunehmen. Der steigende Verbrauch an Nahrungs- und (vor allem) Futtermitteln

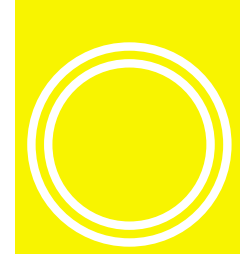


Tabelle 1: Beitrag der Biomasse zur Primärenergieversorgung Deutschlands - Schätzung für das Jahr 2005 [1, 2]

Gesamtprimärenergieverbrauch	14 000 PJ/a
Beitrag der Biomasse:	
Energiepflanzen	650 PJ/a
(Rest-) Holz	140 PJ/a
Stroh	70 PJ/a
Raps	40 PJ/a
Gesamtpotential der Biomasse	900 PJ/a
Beitrag der Biomasse zum Gesamtprimärenergieverbrauch	6,5% <sup>1</sup>
CO <sub>2</sub> -Einsparpotential	6,5%

Tabelle 2: Langfristige Potentiale einer energetischen Verwertung organischer Abfallstoffe [4]

Energiegewinnung	Potential (PJ/a)		Anteil Primärenergiebedarf <sup>2</sup> (%)	
	Deutschland	B-W	Deutschland	B-W
Biogas aus der Landwirtschaft <sup>3</sup>	81	6	0,6	0,4
Biogas aus anderen Quellen	54	9	0,4	0,6
Nicht-Biogas	36	5	0,2	0,4
insgesamt	171	20	1,2	1,4

teln kann im wesentlichen nur durch Ertragssteigerungen auf bereits existierenden Agrarflächen befriedigt werden, da die Flächenreserven weitgehend aufgebraucht sind. Was das Thema Energie aus Biomasse angeht, kann es deshalb

nur darum gehen, während einer Übergangsphase mit agrarischen Überschüssen einen von zu Jahr wechselnden Anteil der agrarischen und forstlichen Biomasseproduktion auf den Energiemarkt zu lenken.

<sup>1</sup> Eine Abschätzung von Heinloth [3] kommt auf 1.200 PJ/a bzw. 8%. Die Differenz geht auf die (unseres Erachtens) viel zu optimistische Einschätzung des kurzfristig verfügbaren Energiepotentials von landwirtschaftlichen Abfällen, Müll und Klärgas zurück (siehe Tabelle 2).

<sup>2</sup> Der Primärenergieverbrauch Deutschlands im Jahr 1992 betrug rund 14.000 PJ, der Baden-Württembergs (B-W) 1.400 PJ im Jahre 1990.

<sup>3</sup> In der Hauptsache basiert die Gewinnung von Biogas auf Reststoffen der Tierhaltung (im wesentlichen Flüssigmist). Als zusätzliche Potentiale bieten sich vergärbare organische Reststoffe aus industrieller Verarbeitung und dem kommunalen Entsorgungsbereich an. Die Technik der Biogasgewinnung ist im Prinzip ausgereift, die vielen Einzellösungen erfordern aber eine Standardisierung der Verfahrenstechnik. Neue Entwicklungen zielen auf die Verbesserung der Energie- und Methanausbeute und auf die Aufbereitung des vergorenen Substrats zu Mineraldünger. Zur Zeit muß man mit einer energetischen Vorleistung von mindestens 25% des Jahres-Bruttoenergieertrags für die benötigte Prozeßenergie rechnen. Die Gasgestehungskosten von Referenzanlagen werden zu 0,10-0,15 DM/kWh kalkuliert. Werden die Investitionskosten eines Block-Heiz-Kraftwerks mit hinzugerechnet, so verteuern sich die Gasverwertungskosten entsprechend.

### 3. Die übliche Fehleinschätzung

Nicht-Fachleute neigen dazu, das regionale und globale Biomassepotential zu überschätzen: „Auf der Erde wächst jährlich der zehnfache Energiewert des weltweiten Verbrauchs an fossilen Energieträgern heran ... Die Nutzung von nur zehn Prozent dieser Pflanzen reichte aus, um sämtliche fossilen Energieträger zu ersetzen“ (Franz Alt).

In der Tat beträgt die globale Netto-primärproduktion (NPP) 120 Mio t Trockenmasse/Jahr, und der weltweite Einsatz an fossilen Energieträgern beläuft sich – umgerechnet – auf 15 Mio t Trockenmasse/Jahr. Aber dies ist eben nur die Hälfte der Wahrheit. In Wirklichkeit dient die Nettoprimärproduktion als Nahrungs- und Rohstoffgrundlage des Menschen und als universelle Lebensgrundlage für Tiere, Pilze und Mikroorganismen. Außerdem schließt die geringe Energiedichte der genuinen Biomasse längere Transportwege aus. Biomasse als Energiequelle bleibt im wesentlichen (mit Ausnahme flüssiger Treibstoffe) eine lokale Ressource. [5]

Die meisten Fachleute gehen davon aus, daß etwa 1 (bis maximal) 4% der jährlichen NPP nachhaltig als Substitut für fossile Energieträger in Frage kommt. Dieser Wert entspricht größenordnungsmäßig den 6-8 Prozent Primärenergieanteil, den wir unter nachhaltigen Rahmenbedingungen für die Biomasse in Deutschland berechnet haben.

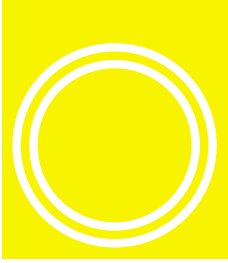
### 4. Die einzelnen Aspekte

#### 4.1 Holz

Die Energiegewinnung aus Holz ist mittlerweile zu einer hochentwickelten Technik ausgereift. Brennstoffaufbereitung (auch in Form von Presslingen, pellets), Zuführung, Verfeuerung, Verbrennungsführung, Rauchgasreinigung und Ascheentsorgung sind in verschiedenen Varianten erprobt. Aus Holz kann heute effizient und umweltverträglich Wärme und Strom gewonnen werden; die Marktreife ist erreicht.

Viele Anlagen sind auch bereits wirtschaftlich, nämlich dann, wenn Rest- und Abfallholz (unbehandelt) aus der Holzverarbeitenden Industrie als kostengünstiger Brennstoff (möglichst zum Nulltarif) zur Verfügung steht. Wenn der Brennstoff etwas kostet, sind Bau und Betrieb einer größeren holzbetriebenen Anlage (z.B. ein Heiz-(kraft)werk ab 1 MW<sub>th</sub> Feuerungsleistung) oft im Vergleich zu den fossil betriebenen Alternativen nicht mehr wirtschaftlich. Das betrifft gerade auch Restholz aus dem Wald. Obwohl hier ein relativ großes Potential auf den Zugriff wartet, wird es nur selten genutzt, weil die Brennstoffbereitstellung zuviel kostet. Hier müssen Mittel und Wege in der Logistik erprobt werden, wie die Kosten gesenkt werden können (forstliche Betriebsgemeinschaften, Organisation von Ernte, Anlieferung, Lagerung und Betrieb). Aber auch der Bau der Feuerungsanlagen selbst ist häufig genug – je nach konkreter Situation – teurer als die Alternative auf Basis fossiler Brennstoffe (Erdgas!).

Die Wirtschaftlichkeit ist freilich nicht der einzige Faktor, der einer verstärkten Nutzung von Holz im Wege steht. Aus Sicht der Hersteller von Holzfeuerungsanlagen gehören mangeln-



de Vertrautheit, geringerer Komfort und schlechtes Image auch zu den Hindernissen, mit denen man beim potentiellen Nutzer rechnen muß.

#### 4.2 Stroh

Die Verbrennung von Stroh ist noch nicht voll ausgereift. Zwar werden in unserem Nachbarland Dänemark Heizwerke und Heizkraftwerke auf Strohbasis bis zur logistisch bewältigbaren Größenordnung von 20–30 MW<sub>th</sub> (Strohkessel) betrieben, dennoch gibt es noch Probleme. Hier sind zu nennen die Einhaltung der benötigten Strohqualität, Korrosion und Versinterung von Anlagenteilen und die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte im Teillastbetrieb. Aufgrund des staatlichen Programms zum verstärkten Einsatz regenerativer Energien ist in Dänemark die Marktreife erreicht, in Deutschland hingegen – mit anderen Rahmenbedingungen – kann man noch nicht von Marktreife sprechen.

Wie die laufenden Anlagen in Dänemark, aber auch das Strohheizwerk in Schkölen (Sachsen-Anhalt) zeigen, werden manche Defizite und Probleme erst im Praxisbetrieb deutlich. Die Erforschung der noch bestehenden technischen Probleme und die Entwicklung von Problemlösungen gelingen am besten im praktischen Versuch. Daher brauchen wir Pilotanlagen (auf Basis Stroh zunächst), auch wenn Investitionen bezuschußt werden müssen und noch Anfangsschwierigkeiten auftreten. Nur die Erfahrung kann lehren, welche Rolle die nachwachsenden Energieträger aus dem Agrarbereich im Strom- und Wärmemarkt spielen könnten.

#### 4.3 Raps

Raps als Lieferant für Biodiesel ist populär. Bei Ausweitung des Rapsanbaus auf die aus pflanzenbaulicher Sicht maximal mögliche Fläche könnte Rapsöl aus deutscher Erzeugung aber höchstens 4% des Verbrauchs an Mineraldiesel in Deutschland ersetzen. Auch die Energiebilanz mahnt zur Vorsicht. Während Getreideganzpflanzen beispielweise in der Energie-Input-Output-Bilanz mit ca. 1:10 recht gut abschneiden, liegt die Energiebilanz von Rapsölmethylester (RME) mit etwa 1:2

wesentlich ungünstiger. Für die CO<sub>2</sub>-Bilanz gilt ähnliches. Rapsöl oder RME sollten daher als Treibstoff dort zum Einsatz kommen, wo ein ökologischer Nutzen erbracht wird: in umweltsensiblen Bereichen und Innenstädten. RME ist dabei sofort einsetzbar (Adaptationen an Schläuchen, Ventilen und Dichtungen mancher Kfz-Modelle vorausgesetzt), die Marktreife ist erreicht. Bei Rapsölmotoren hingegen läßt die Serienreife noch auf sich warten. Rapsöl/RME ist als Heizölersatz zwar auch für Heizzwecke einsetzbar, dieser Pfad erscheint uns aus Gründen der Energiebilanz aber nicht weiter förderungswürdig.

Wir plädieren dafür, die verfügbaren Zuschüsse nicht auf die Biodiesel-Schiene zu konzentrieren, sondern die geringe Ökotoxizität von Rapsöl nutzbringend einzusetzen und zunächst Schmier- und Hydrauliköle auf Mineralölbasis, wo immer technisch möglich, durch entsprechende Pflanzenölprodukte zu ersetzen (also zunächst den chemisch-technischen Pfad zu forcieren).

#### 4.4 Energiepflanzen

Unter den möglichen Energiepflanzen-Kandidaten räumen wir neben Raps nur noch Getreide-Ganzpflanzen mittelfristig eine Chance ein. Ihre Nutzung ist noch in der Erprobungsphase, ließe sich aber im Prinzip mit der von Stroh kombinieren. Strohbefeuerte Anlagen könnten somit auch als Schrittmacher für die Einführung von Getreide-Ganzpflanzen als Brennstoff dienen. Sorgen bereiten noch Kornverluste bei der Ernte, Qualitätsschwankungen des Erntegutes, eine durch den inhomogeneren Brennstoff bedingte schwierigere Steuerung der Verbrennung und die gegenüber Stroh und Holz höheren Stickstoff- und Alkali-Gehalte (NO<sub>x</sub> Emissionen, Erweichungstemperatur der Asche und Verschlackung). Bestimmte Weizen-, Roggen- und Triticale-Sorten kämen am ehesten in Frage.

#### 5. Die marktnahe Option

Die Zufeuerung von Biomasse zu bereits bestehenden Braunkohle- oder Steinkohle-Heizkraftwerken ist eine marktnahe, von uns favorisierte Option. Sie wird im Einzugsgebiet der Bayernwerk AG derzeit mit Erfolg er-

probt. Probleme der Logistik, Bevorratung und der Brennstoffaufbereitung wurden entschärft. Auch die klassischen Probleme der Biomasse-nutzung wie

- Verschlackung der Trockenraumfeuerungen,
- Korrosionserscheinungen am Überhitzer,
- Deaktivierung oder zumindest Kapazitätsreduktion von Katalysatoren zur Rauchgasreinigung (in „high dust“-Anordnung) und
- Probleme mit der Verwertung der Aschen in der Zement- und Betonindustrie

haben sich im praktischen Betrieb bei einer Zufeuerung von 5-10% Biomasse als vernachlässigbar herausgestellt. Je geringer der Anteil an Biomasse, desto geringer sind natürlich die schädlichen Auswirkungen. Verstärkte Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen auf diesem Sektor sollten höchste Priorität erhalten. Auf diesem Wege könnte der Biomasse regional rasch ein sicheres Absatzpotential erschlossen werden. Der zusätzliche Investitionsaufwand der Betreiber ist relativ gering, die Versorgungssicherheit ist dank der genossenschaftlichen Organisation kein Problem mehr. Zeitliche Schwankungen der Anlieferung können durch eine entsprechend angepaßte Kohlebeschickung leicht kompensiert werden.

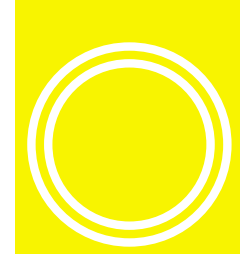
#### 6. Vergleich

Vorteile der Biomasse als Primärenergieträger sind:

- ökonomische Chancen für Land- und Forstwirtschaft, ökologisch vernünftige Entsorgung der überschüssigen Biomasse aus Land- und Forstwirtschaft,
- partielle Substitution fossiler durch regenerierbare Energieträger, und
- günstige CO<sub>2</sub>-Minderungskosten im Vergleich zu Solarthermie und Photovoltaik.

Schwachpunkte der Biomasse als Energieträger sind:

- der niedrige Preis für fossile Energieträger kann von der Bio-



masse derzeit kaum unterboten werden,

- die Biomassenutzung stellt höhere Ansprüche an Brennstofflogistik und Verbrennungstechnik,
- höherer Arbeitsaufwand,
- Chlorgehalt der halmgutartigen Biomasse (Chlorwasserstoff-Emissionen),
- schwierigere Entsorgung der Reststoffe (u.a. niedriger Ascheerweichungspunkt), und
- Inhomogenitäten und Qualitätsschwankungen.

Ein Teil dieser Schwachpunkte kann bei Zufeuerung von Biomasse zu Kohlekraftwerken umgangen werden (siehe Abschnitt 5).

### 7. Marktanreizprogramme

Wir plädieren vorrangig für eine Investitionsförderung (Anschubfinanzierung). Diese sollte sich an dem zu erwartenden Nutzen-Kosten-Verhältnis orientieren. Dieses wiederum errechnet sich nicht nur betriebswirtschaftlich, sondern auch nach Maßgabe von Ökopunkten.

Eine Dauersubvention (Stromerzeugungsbeihilfe, Wärmeerzeugungsbeihilfe) sollte sich ebenfalls an einem Katalog von Ökopunkten orientieren, vor allem an den CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten: Mit je weniger Geld eine Tonne CO<sub>2</sub> vermieden werden kann, um so eher läßt sich eine Anschub- oder Dauersubvention rechtfertigen.

### Literatur

[1] H. Flaig, H. Mohr (Hrsg.) „Energie aus Biomasse – Eine Chance für die Landwirtschaft“, Springer-Verlag, Heidelberg (1993)

[2] H. Flaig, G. Linckh, H. Mohr „Die energetische Nutzung von Biomasse aus der Land- und Forstwirtschaft“, Gutachten der Akademie für Technikfolgenabschätzung, Stuttgart (1994)

[3] K. Heinloth „Die Energiefrage – Bedarf und Potentiale, Nutzung, Risiken und Kosten“, Vieweg-Verlag, Wiesbaden (1997)

[4] G. Linckh, H. Sprich, H. Flaig, H. Mohr „Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft“, Springer-Verlag, Heidelberg (1997)

[5] H. Mohr (Hrsg.) „Spannungsfeld Energie – Probleme und Perspektiven“, Rombach-Verlag, Freiburg (1995)

Theoretische Fallstudie zur energetischen Nutzung von Energiepflanzen [1]; sie zeigt, daß die Anforderungsprobleme im Prinzip lösbar sind.

Auslegungsdaten/ Dimensionen	Wärmeleistung	1,5 MW <sub>th</sub>
	Jahresbetriebsstunden:	5.000 h
	Brennstoffbedarf:	2.500 t/a feldtrockene Pellets
Folgerungen:	Flächenbedarf:	1.500 ha (bei einem jährlichen Flächenertrag von 15 t/ha feldtrockene Pellets)
	Einzugsgebiet:	1.500 km <sup>2</sup> (wenn 1/100 der Fläche um die Anlage Energiepflanzen trägt)
	Max. Transportdistanz:	20 km (für Pellets)
	Lagerkapazität der Anlage:	2–3 Monate
	Versorgungssicherheit:	durch Bildung von Genossenschaften
	Alternativbrennstoff:	Pellets auf forstlicher Biomasse
	Brennstofftransport:	mittels angepaßter Transporter für Pellets
Betriebsgarantie für EVU:	> 20 Jahre	

Als günstige Energiepflanzen stellten sich die als Futtergetreide etablierten Wintergetreidearten (z. B. Triticale oder Hybridroggen) heraus. Das Getreide kann als Ganzpflanze (Stroh und Körner) geerntet und auf dem Feld zu Pellets oder Großballen verarbeitet werden. Futtergetreide bietet ferner den Vorteil, daß die Agrarflächen jederzeit wieder auf Brotgetreide umstellbar sind und etablierte Fruchtfolgen, Produktionstechniken und Erntetechniken weiter verwendet werden können. Ohne den Anbau von Energiepflanzen bleibt der Anteil der Biomasse an der Primärenergieerzeugung Deutschlands auf unter 2 Prozent beschränkt [1, 2].