

6b. Biomasse

All of a sudden, you know, we may be in the energy business by being able to grow grass on the ranch! And have it harvested and converted into energy. That's what's close to happening.

George W. Bush, Februar 2006

◦Alle verfügbaren Lösungen mit Bioenergie beinhalten, dass zuerst Grünzeug wächst und dann etwas damit passiert. Wie groß kann die Energie wohl sein, die das Grünzeug sammelt? Es gibt vier grundsätzliche Wege, Energie aus solarbetriebenen biologischen Systemen zu extrahieren:

1. Wir können ausgewählte Pflanzen anbauen und diese dann in speziellen Anlagen verbrennen, die Elektrizität oder Wärme oder beides produzieren. Das nennen wir „Kohlesubstitution“.
2. Wir können ausgewählte Pflanzen (Raps, Zuckerrohr oder Korn etwa) anbauen, diese in Ethanol oder Biodiesel verwandeln und dann als Treibstoff in Autos, Züge, Flugzeuge oder ähnliches füllen. Oder wir züchten gentechnisch veränderte Bakterien, Cyanobakterien oder Algen, die direkt Wasserstoff, Ethanol oder Butanol, oder sogar Elektrizität produzieren. Solche Ansätze nennen wir „Ölsubstitution“.
3. Wir können Nebenprodukte der Agrarwirtschaft in Energieanlagen verbrennen. Diese Nebenprodukte reichen von Stroh (ein Nebenprodukt von Müllriegeln) bis Hühnerkacke (ein Nebenprodukt von McNuggets). Verbrennen von Nebenprodukten ist wieder Kohlesubstitution, nur benutzt man einfache Pflanzen, keine energetisch hochwertigen. Eine Energieanlage, die Nebenprodukte verbrennt, wird pro Hektar deutlich weniger Leistung liefern als ein optimierter Biomasse-Anbaubetrieb, doch hat sie den Vorteil, das Land nicht so einseitig zu nutzen. Methangas von Deponien zu verbrennen ist ein ähnlicher Weg der Energiegewinnung, doch ist der nur so lange nachhaltig, wie wir eine nachhaltige Quelle von Abfall zur Verfügung haben, den wir in die Deponien stecken können. (Das meiste Methan-Deponiegas kommt von Speiseabfällen; in England werfen die Leute etwa 300 g Lebensmittel pro Person und Tag weg.) Verbrennen von Haushaltsmüll ist eine andere – kaum minder rezyklische – Art, Energie aus Biomasse zu gewinnen.
4. Wir können Pflanzen anbauen und diese direkt an energie-hungrige Menschen oder Tiere verfüttern.

Bei all diesen Prozessen ist die erste Station der Energie in einem chemischen Molekül wie dem Kohlenwasserstoff in einer Grünpflanze. Wir erhalten also eine Abschätzung für alle diese Prozesse, indem wir die Leistung bestimmen, die durch diese erste Station fließen kann. In allen folgenden Schritten – ob sie nun Traktoren, Tiere, chemische Fabriken, Deponien oder Energieanlagen involvieren – kann die Energie nur



Fig.6.10: Miscanthus-Gras neben Dr. Emily Heaton, die 163 cm groß ist. In Europa kann Miscanthus 0,75 W/m² Leistung pro Flächeneinheit erzielen. Foto: Universität von Illinois.

noch abnehmen. Daher ist die Leistung¹⁰ der ersten Station eine theoretische Obergrenze für alles, was an Leistung durch jedwede pflanzenbasierte Energietechnologie verfügbar gemacht werden kann.

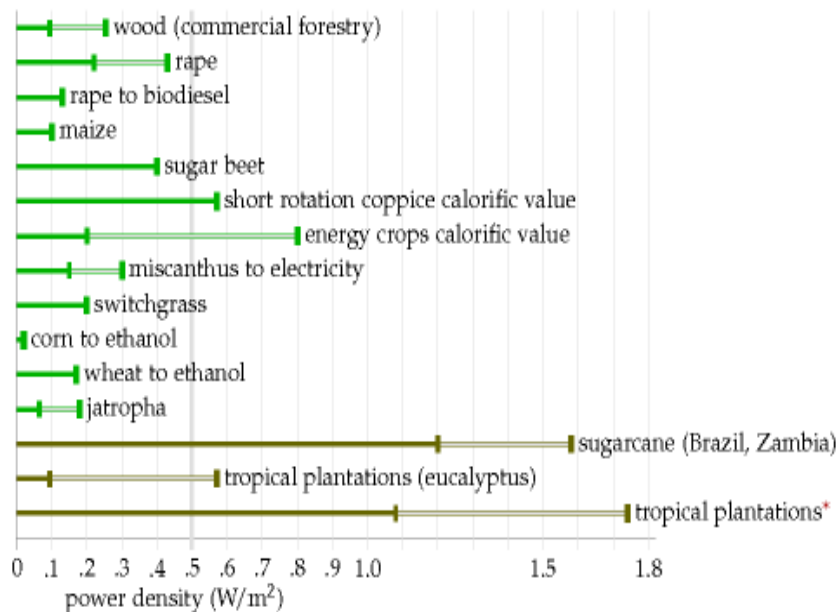


Fig.6.11: Energieproduktion pro Flächeneinheit, die verschiedene Pflanzen erreichen können. (Quellen vgl. Literaturhinweise) Leistungsdichten schwanken abhängig von Bewässerung u. Düngung; z.T. sind Bereiche angegeben, z.B. liegt Holz bei 0,095-0,254 W/m². Die drei letzten Balken stehen für tropische Pflanzen, der letzte geht von Genmodifikation, Düngung u. Bewässerung aus. Im Text benutze ich 0,5 W/m² als Mittelwert für die besten Energiepflanzen NW-Europas.

So lassen Sie uns einfach die Leistung dieser ersten Station abschätzen. (In Anhang D geht es mehr ins Detail und wir bestimmen den maximalen Beitrag jedes einzelnen Prozesses.) Die mittlere Sonnenlicht-Leistung liegt in Deutschland bei 130 W/m². Die effektivsten Pflanzen in Europa sind etwa 2%-effizient beim Umwandeln von solarer Energie in Kohlenwasserstoff. Das legt nahe, dass Pflanzen etwa 2-3 W/m² liefern könnten; jedoch geht ihre Effizienz bei höherem Lichtangebot zurück und die beste Ausbeute von Energiepflanzen in Europa liegt eher bei 0,5 W/m². Wenn wir 75% des Landes mit hochwertigem Grün überziehen, sind das 3000 m² pro Person, die wir der Bioenergie widmen. Das ist so viel Land, wie derzeit als Landwirtschaftsfläche benutzt wird. Also liegt – wenn man alle zusätzlichen Kosten für Anbau, Ernte und Verarbeitung des Grünzeugs vernachlässigt – das Maximum der verfügbaren Leistung bei

$$0,5 \text{ W/m}^2 \times 3000 \text{ m}^2 \text{ pro Person} = 36 \text{ kWh/d pro Person.}$$

Wow, das ist nicht allzu viel, bedenkt man die äußerst großzügigen Annahmen, die wir einbrachten, um eine möglichst hohe Zahl zu erhalten. Wenn Sie Biotreibstoff für Autos oder Flugzeuge aus dem Grün herstellen, sind alle weiteren Schritte in der Kette vom Feld bis zur Zündkerze unausweichlich ineffizient. Ich denke, es wäre sehr optimistisch zu hoffen, dass die summierten Verarbeitungsverluste in der Prozesskette lediglich 33% betragen. Sogar Verbrennen von Getreide in einem hochwertigen Brenner verliert 20% der Energie durch den Kamin. Darum kann sicherlich das gesamte Potential von Biomasse und Biotreibstoff nicht größer sein als 24 kWh/d pro Person. Und vergessen Sie nicht, wir wollen einen Teil des Anbaus auch als Futter für uns selbst und unsere tierischen Freunde benutzen.

¹⁰ Welche ja dem Energie(durch)fluss entspricht, wie oben hergeleitet ...

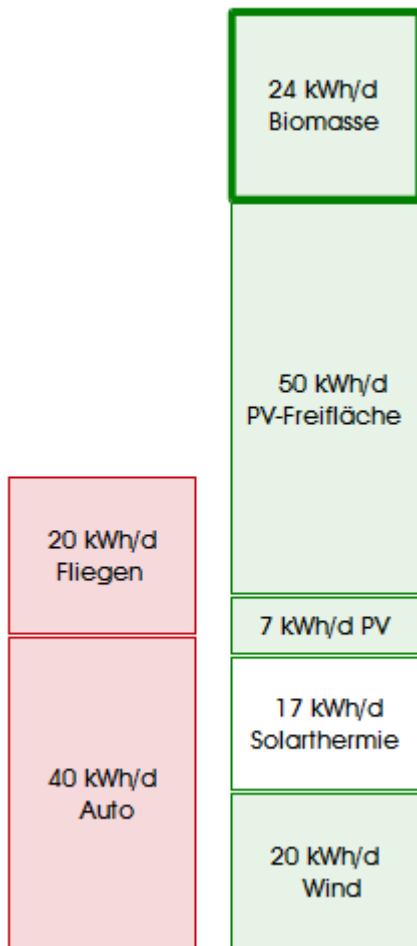


Fig.6.12: Solare Biomasse, einschließlich aller Formen von Biotreibstoff, Müllverbrennung und Lebensmittel: 24 kWh/d pro Person.

Könnte die Gentechnik Pflanzen hervorbringen, die Solarenergie effizienter in Chemikalien umwandeln? Das ist denkbar, doch habe ich keine wissenschaftliche Veröffentlichung gefunden, die für Europa Pflanzen vorhersagt, die eine Energieproduktion von mehr als 1 W/m^2 erreichen könnten.

Ich lege die 24 kWh/d pro Person auf den grünen Stapel, betone aber, dass ich das für überschätzt halte – ich denke, das wahre Maximum durch Biomasse erreichbarer Leistung wird kleiner sein wegen der Verluste bei Anbau und Verarbeitung.

Eine Schlussfolgerung ist klar geworden: Biotreibstoffe können nicht wesentlich beitragen – zumindest nicht in Ländern wie Deutschland oder England, und nicht als Ersatz für Treibstoffeinsatz im Verkehr. Selbst wenn man die Hauptprobleme von Biotreibstoff – dass ihre Herstellung mit Nahrungsmitteln konkurriert und dass der zusätzliche Aufwand für Landwirtschaft und Verarbeitung oft den Hauptteil der gewonnenen Energie wieder aufzehrt (Fig.6.14) – außen vor lässt, können pflanzliche Biotreibstoffe, in einem europäischen Land wie unserem so wenig Leistung liefern, dass sie in meinen Augen kaum der Rede Wert sind.

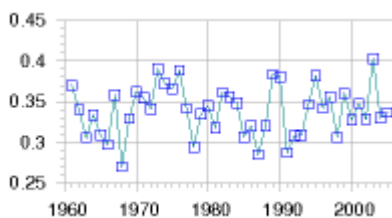
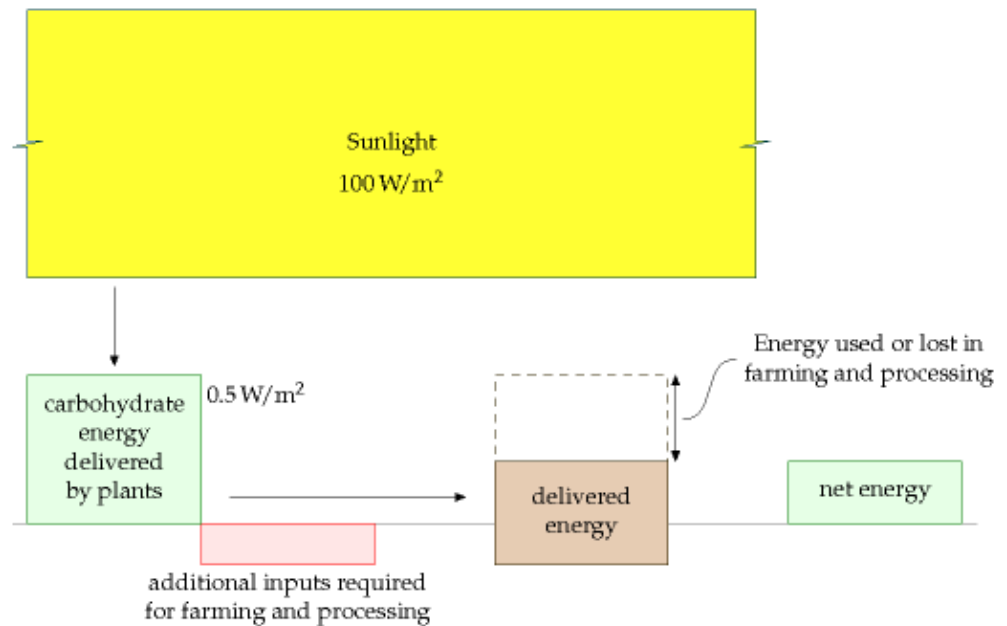


Fig.6.13: Sonne in Cambridge: Anzahl der Sonnenstunden im Jahresverlauf, ausgedrückt als Bruchteil an der Gesamtzahl der Tageslichtstunden.

Fig.6.14: Illustration der quantitativen Frage, die bei jeder Art von Biobrennstoff gestellt werden muss: Wie viel zusätzliche Energie ist für Anbau und Verarbeitung erforderlich? Wie hoch ist die gelieferte Energie? Wie hoch ist der Netto-Energieoutput? Oft kompensieren zusätzlicher Energieaufwand und Verarbeitungsverlust einen Großteil der Pflanzenenergie.



Anmerkungen und Literaturhinweise

Seite

52 in England werfen die Leute etwa 300 g Lebensmittel pro Person und Tag weg: Quelle: Ventour (2008).

52 Fig.6.10: In den USA kann man ohne Nitratdüngung mit Miscanthus 24 t/ha pro Jahr Trockenmasse erzeugen. In England wird von Ernten um die 12-16 t/ha pro Jahr berichtet. Trockener Miscanthus hat einen Heizwert von 17 MJ/kg, also korrespondiert die englische Ernte mit einer Leistungsdichte von 0,75 W/m². Quelle: Heaton et al. (2004) und [6kqq77]. Die angenommene Ernte wird erst nach drei Jahren ungestörtem Wachstum erreicht.

53 Die effektivsten Pflanzen in Europa sind etwa 2%-effizient: Bei niedrigen Lichtintensitäten sind die besten britischen Pflanzen 2,4%-effizient in gutgedüngtem Boden (Monteith, 1977), doch fällt die Effizienz bei höherer Lichtintensität ab. Nach Turkenburg (2000) und Schiermeier et al. (2008) ist die Effizienz bei solarer Biomasse unter 1%. Hier sind ein paar Quellen zum Nachprüfen meiner Abschätzung von 0,5 W/m² für pflanzliche Leistung in England: Die Royal Commission on Environmental Pollution schätzt die erreichbare Leistungsdichte von Energiepflanzen in England auf 0.2 W/m² (Royal Commission on Environmental Pollution, 2004). Auf Seite 43 des "Royal Society's biofuels document" (Royal Society working group on biofuels, 2008), steht *Miscanthus* ganz oben auf der Liste und liefert etwa 0.8 W/m² chemische Leistung. Im World Energy Assessment, herausgegeben von UNDP, schreibt Rogner (2000): "Nimmt man 45% Umwandlungs-Effizienz und Ernten von 15 t ofengetrocknetem Material pro ha und Jahr, benötigt man 2 km² Felder pro Megawatt (elektrisch) installierter Leistung bei einem Betrieb an 4000 Stunden pro Jahr." Das ergibt eine Leistung pro Flächeneinheit von 0.23 W(el)/m². (1W(el) bedeutet 1 Watt elektrischer Leistung.) Energy for Sustainable Development Ltd (2003) schätzt, dass schnellwachsende Holzpflanzen über 10 t trockenes Holz pro ha pro Jahr erzeugen können, was einer Leistungsdichte von 0.57 W/m² entspricht. (Trockenes Holz hat einen Brennwert von 5 kWh pro kg.). Nach Archer and Barber (2004) kann die instantane Effizienz eines gesunden Laubbaumes in optimalen Bedingungen 5 % erreichen, doch über

längere Zeit liegt die Energiespeicher-Effizienz moderner Pflanzen bei 0,5–1%. Archer and Barber denken, dass es möglich ist, durch genetische Modifikation die Speicher-Effizienz von Pflanzen zu verbessern, insbesondere von C4-Pflanzen, die bereits von Natur aus einen besonders effizienten Photosyntheseablauf haben. C4-Pflanzen leben hauptsächlich in den Tropen und benötigen hohe Temperaturen, sie wachsen nicht bei Temperaturen unter 10°C. Beispiele von C4-Pflanzen sind Zuckerrohr, Mais, Sorghum, Finger- und Rutenhirse. Zhu et al. (2008) berechneten das theoretische Limit für die Konversionseffizienz zu 4,6% für C3-Photosynthese und 6% für C4-Photosynthese. Die höchsten praktisch erzielten Effizienzen wären 2,4% und 3,7% für C3 bzw. C4 und, nach Boyer (1982), die erzielten Mittelwerte in USA 3-4mal kleiner als diese Rekordwerte (das ist etwa 1% effizient). Ein Grund, warum die Pflanzen nicht das theoretische Limit erreichen, ist, dass sie nicht genug Kapazität haben, um all das einfallende Sonnenlicht vollständig zu nutzen. Beide Artikel (Zhu et al., 2008; Boyer, 1982) diskutieren Vorschläge für genetisches Engineering effizienterer Pflanzen.

- 53 **Fig. 6.11.** Die Daten sind aus Rogner (2000) (Nettoenergieerträge von wood, rape, sugarcane, tropical plantations); Bayer Crop Science (2003) (rape to biodiesel); Francis et al. (2005) und Asselbergs et al. (2006) (jatropha); Mabee et al. (2006) (sugarcane, Brazil); Schmer et al. (2008) (switchgrass, marginal cropland in USA); Shapouri et al. (1995) (corn to ethanol); Royal Commission on Environmental Pollution (2004); Royal Society working group on biofuels (2008); Energy for Sustainable Development Ltd (2003); Archer and Barber (2004); Boyer (1982); Monteith (1977).
- 53 **Verbrennen von Getreide in einem hochwertigen Brenner verliert 20% der Energie durch den Kamin:** Quellen: Royal Society working group on biofuels (2008); Royal Commission on Environmental Pollution (2004).