

Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit von Bioenergie als Energiequelle¹

E.D. Schulze, Max-Planck Institut für Biogeochemie, Jena

Die Suche nach erneuerbaren Energiequellen begann mit der Erkenntnis des Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC, 2007), dass die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und aus der Landnutzung durch klimawirksame Spurengase das globale Klima beeinflussen. Die Klimaänderung wird vor allem ausgelöst durch CO₂-Emissionen von Nationen mit hoher Industrieproduktion und durch Emissionen verschiedener Spurengase bei Landnutzung und Landnutzungsänderungen durch die Land- und Forstwirtschaft, die global in allen Ländern stattfinden. Der Ausstoß an CO₂ aus Verbrennungsprozessen stieg seit 1950 ständig an und überschritt im Jahr 2011 erstmals eine Grenze von 10 PgC/Jahr (Peters et al, 2012). In einer Massenbilanz wird diese Menge zu ca 20% vom Ozean wieder absorbiert, 30% werden re-assimiliert über die Photosynthese der Landpflanzen, und ca 30% bleiben in der Atmosphäre. Dieser Anteil ist klimawirksam, da das CO₂ zusammen mit anderen Spurengasen die langwellige Wärmerückstrahlung in den Weltraum verringert. Es wurde wiederholt angezweifelt, dass dieses CO₂, das zum Anstieg des CO₂ in der Atmosphäre führt, aus Verbrennungsprozessen stammt. Seitdem aber auch der Sauerstoff in der Atmosphäre gemessen wird (Keeling et al, 1996), und der Sauerstoff sich stöchiometrisch mit dem CO₂ ändert, ist chemisch geklärt, dass das CO₂ in der Atmosphäre aus Verbrennungsprozessen stammt. Weiterhin wurde die Klimawirksamkeit des CO₂ angezweifelt. Dieser Faktor wurde aber inzwischen anhand geologischer Untersuchungen mit 2.2 bis 4.8 K bei Verdopplung der CO₂ Konzentration quantifiziert (Palaeosense Project Members, 2012).

Die Vorhersage des Klimageschehens für die Zukunft ist schwierig, da dies nicht allein von der Physik einer Wärmebilanzrechnung der Atmosphäre abhängt, sondern wesentlich von den wirtschaftlichen und soziologischen Rahmenbedingungen bestimmt wird. Das Verhalten der Menschheit bestimmt somit das Klima der Zukunft. Um diese Bedingungen einzugrenzen, wurden eine Reihe von „Szenarien“ definiert, denen bestimmte wirtschaftliche Entwicklungen zugrunde liegen (IPCC, 2007). So nehmen die sogenannten „A“ Szenarien eine ungebremschte wirtschaftliche Entwicklung an, wohingegen die „B“ Szenarien eine schonende und nachhaltige Nutzung von Ressourcen vorsehen. Berechnet man die Klimawirksamkeit für die zu erwartenden Emissionen dieser Szenarien, so erhält man Vorhersagen über die Klimaentwicklung der Erde in den nächsten Jahrzehnten bei sich ändernder CO₂ Konzentration in der Atmosphäre. Bei uneingeschränktem Verbrauch fossiler Brennstoffe (Scenario A2 bzw RCP8.5) ist bis 2100 eine Emission von 25 bis 30 PgC/Jahr und eine durchschnittliche Erderwärmung von 4 °C bis 6 °C zu erwarten. Bei ressourcen-schonender Entwicklung (Szenario B2 bzw. RCP 4.5) steigen die Emissionen auf maximal 12 PgC/Jahr mit einer Erderwärmung von ca 2°C im Jahr 2100 an. Vergleicht man nun die Emissionen der Gegenwart mit diesen Szenarien, kann man abschätzen, ob die Maßnahmen zum Klimaschutz ausreichend und wirksam sind, und zukünftige Generationen vor großen Klimaänderungen bewahrt werden können.

¹ Dieser Beitrag erläutert die Präsentation des entsprechenden Hauptvortrags am 4. März 2013 auf der Jahreshaupttagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in Dresden.

Offensichtlich hatten die bisherigen Maßnahmen zur Verminderung von Emissionen klimawirksamer Gase keine Wirkung. Der Trend der CO₂ Konzentrationen der letzten Jahre bewegt sich oberhalb der A-Szenarien. Da die Halbwertszeit der Immobilisierung des CO₂ in geologische Schichten mehrere hundert Jahre beträgt, ist es nicht möglich, von einem Trend mit hoher Klimawirksamkeit auf einen Trend mit niedriger Klimawirksamkeit zu wechseln (Stocker, 2013). Damit zählt jedes Jahr, in dem die Menschheit bei einem hohen Emissions-Niveau lebt. Wirtschafts- und Finanzkrisen konnten diesen ansteigenden Trend bislang auch nicht nachhaltig ändern. Obwohl die Nutzung von Erdöl im letzten Jahrzehnt leicht zurückging, stieg die Herstellung von Zement (beim Brennen von Zement wird CO₂ freigesetzt) und die Nutzung von Kohle an.

Es gibt zunehmende Anzeichen, dass sich das Klima bereits jetzt, im Vergleich zum Jahr 1900 geändert hat. Es stiegen die Temperatur- und Niederschlags extreme (Trockenheit und Starkregenereignisse), und es gibt Anzeichen für eine Zunahme der Windgeschwindigkeiten mit schwerwiegenden Folgen auf der Landoberfläche.

Unabhängig von der CO₂ Bilanz wird die Strahlungsbilanz der Erde zusätzlich belastet durch Emissionen weiterer Spurengase aus der Landwirtschaft. Ein sehr langlebiges Spurengas ist das Lachgas (N₂O), das um den Faktor 300 klimawirksamer ist als CO₂, und das etwas kurzlebigeres Methan (CH₄), das „nur“ etwa zwanzigmal wirksamer ist als CO₂. Lachgas wird freigesetzt aus organischem und mineralischem Dünger in der Landwirtschaft. Methan wird vor allem von Wiederkäuern (Kühe, Schafe, Ziegen) bei der Gärung im Pansen erzeugt.

Die Klimabilanz wird in Deutschland weiterhin belastet durch die Einschränkung der Nutzung von Kernenergie. Die Bereitstellung von Kernenergie nahm in Deutschland ab. Der Verbrauch von Kohle, Erdgas und der Import von Elektroenergie stiegen an, ebenso die Bereitstellung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Umweltbundesamt, 2012).

Die Rolle der Bioenergie in der Klimabilanz

Vor diesem Hintergrund eines sich abzeichnenden Klimawandels, und einer Änderung in den Energiequellen, spielt die Nutzung von Energie aus Biomasse eine besondere Rolle. Die Überlegung dazu ist die, dass das CO₂ der Atmosphäre unter Nutzung von Sonnenenergie durch Nutzpflanzen gebunden wird, und bei der Verbrennung bilanz-neutral wieder an die Atmosphäre abgegeben wird. Die Frage ist, ob diese Bilanz in der Tat klimaneutral und nachhaltig ist (d.h. mit gleicher Leistung über Jahrzehnte erbracht werden kann). Darüber gibt es unterschiedliche Meinungen. Die Deutsche Akademie der Wissenschaften, Leopoldina (Leopoldina, 2012), und das Umweltbundesamt (2012) warnen vor einer Ausweitung der Nutzung von Biomasse für energetische Zwecke. Der Bioökonomierat der Bundesregierung (2012) und die Waldstrategie der Bundesregierung (2011) sehen dagegen eine Ausweitung der Nutzung von Biomasse für energetische Zwecke als unbedenklich an. In der Landwirtschaft werden zur Zeit 25% der Fläche bereits für industrielle und energetische Zwecke genutzt. Diese Fläche soll verdoppelt werden. Ebenso soll die forstliche Nutzung verdoppelt werden (Leopoldina, 2012; Schulze und Schulze, 2013).

In der Leopoldina-Studie wurden positive und negative Aspekte der energetischen Nutzung von Biomasse gegeneinander abgewogen. Für eine Biomassenutzung spricht die Möglichkeit der Nutzung von Abfällen (Gülle, Nahrungsreste) und die Speicherbarkeit von Biomasse. Gegen die energetische Nutzung von Biomasse spricht, (i) dass man Abfälle eher vermeiden sollte, und eine Abfall-basierte Energiewirtschaft ein falsches Signal setzt.

Darüberhinaus gibt es weitere Gründe, die gegen eine Ausweitung sprechen. Dazu gehört, (ii) dass Biomasse auf der Erde zwar vorhanden, aber nicht unbegrenzt erreichbar ist, (iii) dass die Flächeneffizienz wegen der Photonennutzung bei nur einer Wellenlänge sehr gering ist (0.1 bis maximal 2.0% der Sonneneinstrahlung), (iv) dass die landwirtschaftliche Biomasseproduktion assoziiert ist mit Emissionen weiterer Spurengase, die weitaus klimawirksamer sind als CO₂, (v) dass große Umweltschäden, insbesondere Verluste an Artenvielfalt, mit der Maximierung der Biomasseproduktion verbunden sind, und (vi) dass auf weiten Flächen der Erde die Biomasseproduktion durch Wasserknappheit, und in Zukunft auch durch Phosphatmangel, limitiert wird. Hinzu kommt, (vii) dass bei einer ständig noch wachsenden Menschheit die Produktion von Nahrungsmitteln Vorrang haben sollte vor der Produktion von Biomasse für Energiezwecke.

Bei der Entscheidung für oder gegen die energetische Nutzung von Biomasse sollte man die ursprüngliche Definition des Wortes „nachhaltig“ ins Gedächtnis rufen. Die Brundtland-Kommission der UN definierte im Jahr 1987 Nachhaltigkeit als eine „Entwicklung, die den Bedürfnissen der gegenwärtigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden“ (UN Documents, 1987). Vor diesem Hintergrund empfahl die Leopoldina die energetische Nutzung von Biomasse auf wenige Prozent des Energiebedarfs einzuschränken.

Ein Problem bei einer Empfehlung gegen eine Ausweitung der energetischen Nutzung von Biomasse ist, dass zwar rein rechnerisch die globale Rate der Pflanzenproduktion hoch ist (ca. 60 Pg/Jahr), aber nur ein geringer Teil ist erreichbar. Running (2012) zeigt, dass etwa 25% dieser Produktion unterirdisch als Wurzelwachstum erfolgt, und damit nicht geerntet werden kann, ohne die Biomasse-Produktion zu beeinflussen, und etwa 25% der Produktion erfolgen in abgelegenen Regionen mit geringem Pflanzenwuchs (Wüsten, Gebirge, arktische Regionen). Nur 50% sind tatsächlich erreichbar, und davon nutzt der Mensch bereits 43% für Nahrung, Fasern, und Bauten. Nur 7% bleiben im Augenblick für andere Organismen. Es geht bei der energetischen Nutzung auch um die Frage, ob der Mensch den übrigen Bewohnern der Erde diese 7% noch nehmen soll, um den eigenen industriellen Energiebedarf zu decken. 60% der globalen Biomasseproduktion erfolgt in den Tropen und Subtropen.

Definition von Begriffen und Messverfahren

In diesem Zusammenhang ist es wichtig, verschiedene Begriffe zu definieren (Schulze et al., 2009). Die Photosynthese ist der Prozess, der CO₂ unter Nutzung von Sonnenenergie bindet. Da diese Größe indirekt über meteorologische Verfahren ermittelt wird, bezeichnet man diesen Input als Brutto-Produktivität (Gross Primary Production, GPP). Die Pflanzen benötigen einen Teil dieser Kohlenhydrate für den eigenen Metabolismus, d.h. es werden Kohlenhydrate zu CO₂ abgebaut in der „Autotrophen Atmung“. Es bleibt die Netto-Primärproduktion (NPP) als ober- und unterirdisches Pflanzenwachstum. Ein Teil dieser Menge wird vom Menschen geerntet, ein Teil bleibt als Holz für mehrere Jahre in der Pflanze gespeichert, und ein Teil der NPP geht in den Boden als tote Biomasse (Blätter, Wurzeln). Der Boden gewinnt zusätzlich Kohlenstoff durch organischen Dünger. Der Kohlenstoff, der in den Boden gelangt, wird abgebaut durch „Heterotrophe Atmung“ von Mikroorganismen. Es gibt C-Verluste durch Feuer und Austräge von gelöstem Kohlenstoff ins Grundwasser. Die C-Bilanz aus all diesen Auf- und Abbauprozessen bezeichnen wir als „Netto-Biome-Produktivität“ (NBP), wobei das Wort „Biome“ die Tatsache kennzeichnet, dass dieser Wert nur auf Landschaftsebene und im Mittel über aller Bewirtschaftungsarten zu messen ist. Die NBP ist aber noch nicht die vollständige Größe, die in der Atmosphäre

wirksam wird. Es gibt Emissionen von weiteren klimawirksamen Spurengasen, und erst die „Netto Grünhausgas-Bilanz“ (NGB) ist die Größe, die die Atmosphäre „sieht“. Es ist wichtig zu erkennen, dass unterschiedliche Interessen ganz unterschiedliche Teile dieser Bilanz betrachten. Die Land- und Forstwirte sehen vor allem die Ernte, die meisten Ökologen sehen die NBP und die Klimaforscher interessiert allein die NGB.

Bevor ich in die Analyse der Produktionsbedingungen in der Land- und Forstwirtschaft eintrete, möchte ich erwähnen, wie diese globalen und kontinentalen Prozesse gemessen werden (Schulze et al., 2009). Man kann einerseits landoberflächen-gebunden alle Ökosysteme und Landnutzungsformen messen, und ihr Leistungen addieren. In diesem Falle addieren sich aber auch alle Messfehler und Unsicherheiten. Es gibt keine Verifikation des Ergebnisses. Andererseits kann man atmosphären-basiert die Konzentration von Gasen in der Atmosphäre messen und über meteorologische Modelle zurückverfolgen, woher die Luftmassen stammen. Auch dies ist mit großen Unsicherheiten verbunden. Eine gewisse Sicherheit, dass Messgrößen quantitativ richtig sind, gibt es erst dann, wenn land-basierte und atmosphären-basierte Messungen übereinstimmen. Im Rahmen des EU-Projektes CarboEurope wurden zu diesem Zweck über Europa 24 Flugplätze für das Sammeln von Luftproben in der atmosphärischen Grenzschicht genutzt, es gab 31 Stationen, die kontinuierlich die Konzentration von Spurengasen in der Atmosphäre gemessen haben. Etwa 100 Meßtürme untersuchten die Flüsse über Ökosystemen, und es wurden 51 Ökosystem-Beobachtungsstationen betrieben.

Emissionen aus der Landnutzung im Europäischen Vergleich

Schulze et al (2009) zeigen eine sehr gute Übereinstimmung der Messungen atmosphären-basierten und land-basierter CO₂ Flüsse. Die auftretenden Unsicherheiten sind aus unterschiedlichen Gründen hoch. Die atmosphären-basierten Messungen enthalten die stochastische Unsicherheit von Turbulenzen im Wettergeschehen der Atmosphäre. Es handelt sich somit um eine statistische Unsicherheit. Die land-basierten Messungen enthalten die geographische Variation von Klima- und Bodenbedingungen über Europa, d.h. es handelt sich nicht um eine statistische Unsicherheit, sondern um die geographische Variation der Bedingungen über Europa. Beim Methan weisen die atmosphären-gebundenen Messungen auf höhere Emissionen hin als die land-gebundenen Messungen, d.h. es wurden anscheinend land-gebundene Quellen durch Messungen auf dem Boden nicht erkannt. Dies ist durchaus möglich, da es z.B. keine Messstation in NW-Deutschland gab. Beim Lachgas wird eine höhere Emission am Boden gemessen als in der Atmosphäre. Dies könnte ebenfalls an der Art der land-basierten Probenahmen begründet sein. Die NO_x-Flüsse sind dagegen sehr ähnlich. Die Spurengas-Bilanzen der land- und atmosphären-gebundenen Messungen unterscheiden sich nicht. Europa ist zwar hinsichtlich des Kohlenstoffs eine Senke, aber hinsichtlich der Spurengasbilanz eine geringfügige Quelle.

Vergleicht man die verschiedenen Landnutzungen (Schulze et al., 2010), so sieht man, dass sich Wald, Wiese und Acker hinsichtlich der jährlichen Photosynthesebilanz nicht unterscheiden. In allen Systemen werden ausreichend viele Blätter ausgebildet, um die zur Verfügung stehende Photonenmenge zu verarbeiten. GPP wird vor allem von der geographischen Lage bestimmt. Unterschiede ergeben sich durch die Assimilatverteilung. Bäume sind die einzige Pflanzenform, die Kohlenstoff oberirdisch über Jahrzehnte speichert (wobei hinzugefügt werden muss, dass diese Menge am Ende der Umtriebszeit genutzt wird). Das Grünland hat eine höhere NBP als der Wald. Dies liegt am hohen Wurzelumsatz der Gräser. Da das Grünland aber vor allem zur Aufzucht von Wiederkäuern (Kühe, Schafe) genutzt wird, kommt es zu hohen Methanemissionen, und unter Anrechnung

dieser Emissionen liegt die Netto-Grünhausgas-Bilanz unter der des Waldes. Völlig anders sieht es in der Agrarwirtschaft aus. Die meiste Biomasse wird geerntet. Die NBP ist positiv, d.h. die Agrarländer emittieren CO₂, das aus dem Abbau von altem Humus stammt. Zusätzlich emittieren die Agrarländer große Mengen an N₂O und Methan. In der Summe entsprechen diese Emissionen den „Senken“ in der Forst- und Grünlandwirtschaft.

Bei den Zahlen handelt es sich um Durchschnittswerte über Europa. Bei geographischer Betrachtung ist Deutschland „Europameister“ bei der Emission von Methan, N₂O, und CO₂.

Biomasseproduktion in der Forstwirtschaft

Die Situation in der deutschen Forstwirtschaft ist dadurch geprägt, dass in Deutschland fast doppelt so viel Holz importiert als geerntet wird (Seintsch, 2011). Der Bedarf der Holzwirtschaft übersteigt den Zuwachs der deutschen Wälder bei weitem. Es besteht Holzangel, der durch Importe gedeckt wird. Das wichtigste Sortiment, das importiert wird, ist aber geringwertiges Nadelholz für die Papierindustrie, wobei Deutschland gleichzeitig großer Exporteur für Papier ist.

Man könnte den Bedarf an Holz besser gerecht werden, indem man an geeigneten Standorten schneller wachsende Baumarten anbaut (z.B. Douglasie). Dies wird aber vom Naturschutz abgelehnt, da es keine heimische Baumart ist. Die Douglasie wuchs aber in Deutschland vor den Eiszeiten. Sie starb im Pleistozän aus und überlebte in NW-Amerika. Alternativ könnte man zu Kurzumtriebsplantagen übergehen, um den Holzbedarf zu decken. Auch dies wird vom Naturschutz nicht gerne gesehen, denn es würden dann dicke Bäume als Nistplatz für Höhlenbrüter fehlen.

Ein zusätzlicher und steigender Bedarf besteht für Energieholz. In Deutschland werden z. Zt. jährlich ca. 30 Mio. m³ Energieholz verbraucht. Der größte Teil davon wird importiert (Pellets). Es wäre aber im Sinne des Klimaschutzes vernünftiger, Holz nicht direkt zu verbrennen, sondern die energetische Nutzung erst nach einer stofflichen Nutzung anzufügen, d.h., das Holz ginge durch eine Nutzungskette und wird verbrannt, wenn es stofflich nicht mehr nutzbar ist. Da die Forstwirtschaft aber an dieser Nutzungskette wirtschaftlich nicht beteiligt ist, wird Energieholz direkt angeboten. Bei Verbrennung in Kraftwerken wird dieses Holz durch das Energieeinspeisungsgesetz zusätzlich subventioniert, d.h. Energieholz ist teurer als Zellstoffholz. Die Preise für Energieholz sind in den letzten 5 Jahren von 8 bis 10 €/m³ auf etwa 50 €/m³ gestiegen. Diese wirtschaftliche Situation führt zu einer Übernutzung der Wälder. Zusätzlich zum Stammholz wird inzwischen auch das so genannte „Waldrestholz“ genutzt (Mantau, 2012). Das sind die Äste und Zweige der Baumkronen, die im Wald verbleiben sollten, um den Nährstoffkreislauf des Walds nicht zu unterbrechen. Eine Nutzung des Waldrestholzes führt zwangsläufig zu Nährstoffmängeln und zur Versauerung der Böden, die technisch mit dem Hubschrauber durch Wald-Kalkungen saniert werden. Diese Kalk-Düngungen enthalten auch Phosphat und Spurenelemente, und diese „Volldüngung“ bewirkt einen starken Abbau der Humusschicht des Waldbodens bei gleichzeitiger Emission von N₂O. Die Senkenwirkung des Waldes wird damit zunichte gemacht.

Es ist aber nicht nur der Bedarf an Holz für industrielle Wärme- und Stromgewinnung gestiegen, sondern auch der Hausbrand mit Scheitholz (Schulze, 2013). Nach Mantau (2012) hat sich das Profil des Energieholzverbrauchs vom „Lustbrenner“ zum „Nutzbrenner“ verschoben. Der Bedarf ist so groß, dass er aus Inlandsproduktion nicht gedeckt werden kann, wobei die Scheitholzverbrennung in Öfen nicht nur mit einer Emission an Feinstaub verbunden ist, sondern auch große Mengen Methan, N₂O und CO

freisetzt. In der Summe stellt man fest, dass Holz zwar nachwachsend, aber nicht unbegrenzt verfügbar ist, und dass das Holz bei der Verwendung zusätzliche Emissionen langlebiger Spurengase verursacht.

Es gibt ein steigendes Umweltbewusstsein in der Bevölkerung. Man ist bereit, höhere Strompreise zu zahlen für „grüne“ Energie, man verbaut mehr Holz (meist Nadelholz) und man heizt die Wohnung mit Holz und nicht mit fossilen Brennstoffen. Dies führt zu einem Nutzungsdruck auf den Wald und zu zusätzlichen klimawirksamen Emissionen. Gleichzeitig fordert diese umweltbewusste Bevölkerung mehr Freiraum im Wald für Erholung und den Schutz alter Wälder vor einer Nutzung zugunsten einer Biodiversitätserhaltung. Man fordert mehr Laubwald und bestimmte Mengen an Totholz zum Schutze der Käfer. In der Realität führt das Streben nach umweltgerechtem Leben zu einer Erhöhung forstlicher Nutzung, und zur Verknappung des Rohstoffes Holz. Der Lebensstil relativiert die Forderungen nach Erhalt von Biodiversität und freier persönlicher Entfaltung in der Natur. Schulze (2013) fasst die Situation in Anlehnung an Pierre Vergniaud, einem Führer der Girondisten in der Französischen Revolution, zusammen: „Die Energiewende ist wie Saturn, sie frisst ihre eigenen Kinder“

Biomasseproduktion in der Landwirtschaft

Die Situation in der Landwirtschaft ist dadurch geprägt, dass in viel höherem Maße als im Forst Düngemittel ausgebracht werden, und damit erhebliche Emissionen von N₂O und Methan auftreten. Deutschland rechnet die Emissionen aus der Landwirtschaft im Rahmen des Kyoto-Protokolls zum Klimaschutz nicht an. Man verrechnet zwar den Zuwachs der Wälder gegen die industriellen Emissionen, ignoriert aber die Emissionen aus der Landwirtschaft. Dabei werden etwa 20% der landwirtschaftlichen Fläche Deutschlands nicht mehr für die Erzeugung von Nahrungsmitteln verwendet, sondern für energetische Zwecke und für die Gewinnung von Ölen als Kraftstoffersatz im mobilen Verkehr. Diese Nutzungen sind umstritten. So verfehlte z.B. der Rapsdiesel den Nachhaltigkeitsnachweis der EU (Gilbert, 2012). In Hinblick auf den Klimaschutz sind die Emissionen aus der Landwirtschaft bedeutsam. 50% der Europäischen Methan-Emissionen, 70% der N₂O Emissionen und 90% der Ammoniak Emissionen stammen aus der Landwirtschaft, und all das wird von Deutschland in einer Klimabilanz nicht verrechnet.

Die Landwirtschaft hat gegen die Studie der Leopoldina Stellung genommen (Hemmerling, 2012) und ausgeführt, dass in der Landwirtschaft primär Futtermittel erzeugt werden (2.3 Mio. t Frischgewicht). Die Ölgewinnung für Biotreibstoffe sind ein Nebenprodukt (2.0 Mio. t). Rechnet man die von der Landwirtschaft genannten Mengen in Kohlenstoff um, und rechnet zu Gunsten der Landwirtschaft mit Trockengewichten und nicht mit Frischgewichten, dann kehrt sich die Situation um. Die Landwirtschaft erzeugt 1.7 Mio. t C Öle für Biodiesel und nur 1.1 Mio. t C für Futtermittel. Damit dient die Landwirtschaft primär einer industriellen Produktion und nicht mehr der Ernährung. Sie müsste daher, vergleichbar einem mittelständigen Industriebetrieb, auch für die Emissionen haften. Aus den 1.1 Mio. t C in Futtermitteln und den 2.6 Mio. t C Importen von Sojabohnen werden unter Verwendung zusätzlicher 75 Mio. t Rohfutter ca. 3.1 Mio. t Fleisch und Milchwaren erzeugt. Dem stehen Emissionen von etwa 75 Mio. t C-äquivalenten an klimawirksamen Spurengasen gegenüber, die ohne Kosten in der Atmosphäre entsorgt werden. 50% der Ware werden exportiert, aber 100% der Emissionen belasten die Atmosphäre über Deutschland. Ein Teil der Biomasse (vor allem Mais) wird zu Methan vergoren, und die Reste der Vergärung werden auf dem Acker zusätzlich zu der mineralischen Düngung ausgebracht. Die angebaute Feldfrucht kann diese Mengen an Dünger nicht verwerten, und

daher kommt es großflächig in Deutschland zu Austrägen von Nitrat ins Grundwasser (Spiegel 2011).

Trotz aller Anstrengung der Landwirtschaft, die Produktion von Biomasse zu steigern, reicht dies nicht aus, um den Bedarf an Biodiesel und Bioethanol zu decken. Die Importe aus Nord- und Südamerika übersteigen die eigene Produktion um ein Vielfaches (Chum et al, 2011). Der zukünftige Bedarf wird mit einer Umstellung der Wirtschaft von Produkten aus fossilen Brennstoffen (Plastik-Produkte) auf bio-basierte Produkte weiterhin steigen. Im Augenblick werden noch ca 60% der Biomasse genutzt, um mit Kühen und Schafen Fleisch, Milch und Methan zu erzeugen.

Ausblick

Die Menschheit hat eine Grenze erreicht, bei der natürliche Ökosysteme (lokal) kollabieren. Sofern die globalen Temperaturen um 4 bis 6 °C steigen, werden große Teile der Erde bereits 2050 unbewohnbar sein. Die Erzeugung der Bioenergie aus der Landwirtschaft verstärkt diesen Trend durch Emissionen an klimawirksamen Gasen, die bislang in der Klimabilanz nicht angerechnet werden. Die Politik ignoriert das Problem.

Es gibt wenige Optionen zur Vermeidung des derzeitigen Klimatrends:

Energie sparen wäre wohl die wichtigste Option. Das muss nicht nur eine Wärmedämmung an Häusern, sondern es könnte auch eine z.B. verminderte Leuchtreklame sein. Sofern Emittoren für ihre Emissionen zahlen müssten, wäre ein klima-schonender Einsatz von Düngemitteln möglich. Die Vermeidung von Fleisch und Milchprodukten würde die Emissionen ebenfalls senken, aber in Hinblick auf das Verhalten in aufstrebenden Industrienationen ist dies ebenso unrealistisch, wie die Einschränkung des Handels mit Bioprodukten.

Somit bleibt nur die Hoffnung auf eine Entwicklung von Technologien zur katalytischen Herstellung von Kohlenwasserstoffen.

Literatur

BioÖkonomieRat (2012) Nachhaltige Nutzung von Bioenergie. Berlin, 35pp

Chum H, Faaij A, Moreira J et al (2011) Bioenergy. In IPCC Special report on renewable Energy sources and climate mitigation. (O Edenhofer et al. eds.) Cambridge university Press, Cambridge, 209-332

Gilbert N (2012) Rapeseed biodiesel fails sustainability test. Nature, DOI: 10.1038/nature.2012.11145

Hemmerling U (2012) Gefällige Naturwissenschaftler und öffentliche Empörung. Dbk 9/12: 4-5

IPCC (2007) Climate Change 2007. The physical science basis. Intergovernmental Panel of Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 996pp

Keeling RF, Piper SC, Heimann M (1996) Global and hemispheric CO₂ sinks deduced from changes in atmospheric O₂ concentration. Nature 381: 218-211

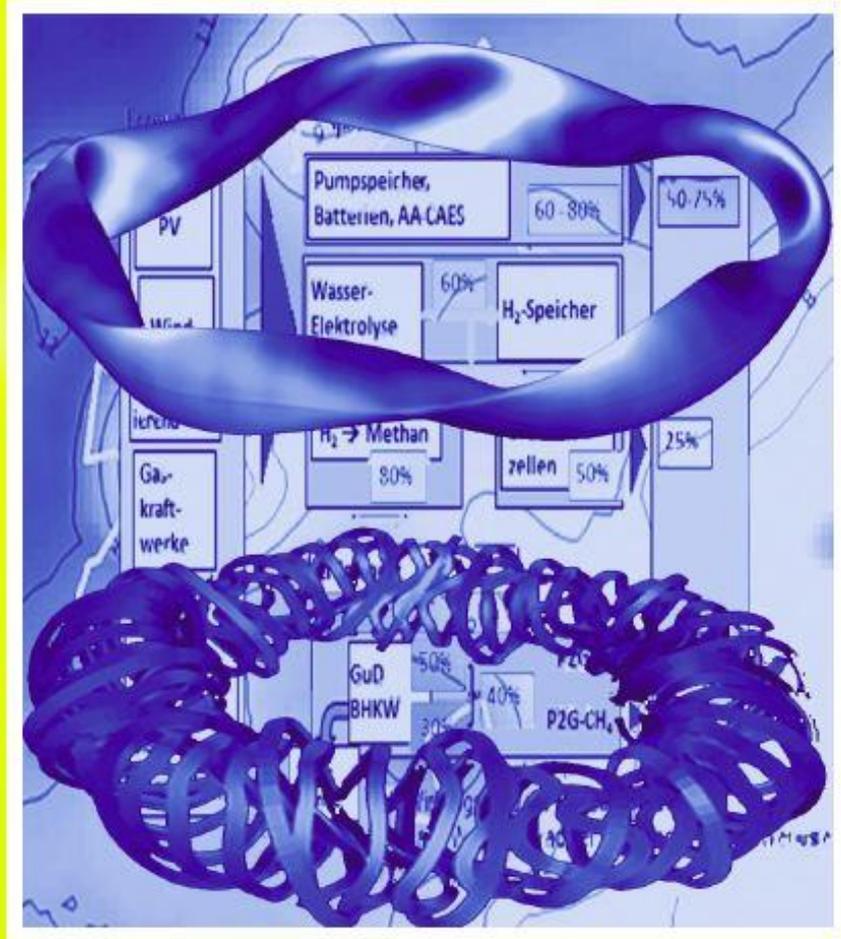
Leopoldina (2012) Statement: Bioenergy – Chances and Limits. Nationale Akademie der Wissenschaften. Halle, 118 pp www.leopoldina.org

Mantau U (2012) Holzrohstoffbilanz Deutschland. Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2015. Hamburg 2012, 65pp

- Palaeosens Project Members (2012) Making sense of palaeoclimate sensitivity. *Nature* 491: 684-690
- Peters GP, Andrew RM, Boden T, Canadell JG, Ciais P, Le Quéré C, Marland G, Raupach MR, Wilson C (2012) The challenge to keep global warming below 2°C. *Nature Climate Change* Vol. 3, Issue 1, pp. 4-6
- Running SW (2012) A measureable planetary boundary for the biosphere. *Science* 337: 1458-1459
- Schulze (2013) Die Energiewende frisst ihre Kinder: Klimaverträglichkeit und Nachhaltigkeit einer steigenden Waldnutzung. *Politische Ökologie* 132: 63-67
- Schulze ED, Ciais P, Luysaert S, et al. (2010) The European carbon balance. Part 4. Integration of carbon and other trace gas fluxes. *Global Change Biology* 16: 1451-1469. DOI: 10.1111/j-2486.2009.02215.x
- Schulze ED, Luysaert S, Ciais P et al. (2009) Importance of methane and nitrous oxide for Europe's terrestrial greenhouse-gas balance. *Nature Geoscience* 2: 842-850, DOI: 10.1038/ngeo686
- Schulze ED, Schulze I (2013) Wer will was vom Wald? *AFZ* 6/2013: 7-10
- Seintsch B (2011) Holzbilanzen 2009 und 2010 für die Bundesrepublik Deutschland. Arbeitsbericht 04/2011, Zentrum Holzwirtschaft, Uni Hamburg 20pp
- Spiegel (2011) Chemischer Zustand des Grundwassers in den Flusseinzugsgebieten. *Der Spiegel* 32/2011: 40
- Stocker, TF (2013) The closing door of climate targets. *Science* 339: 280-282
- Umweltbundesamt (2012) Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. Umweltbundesamt, Dessau, 96pp
- UN Documents (1987) Report of the world Commission on Environment and Development: Our common future. UN General Assembly, Annex to document A/42/427. Development and International Cooperation: Environment. New York, 300 pp
- Waldstrategie (2011) Nachhaltige Waldbewirtschaftung – eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung. BMELV, Berlin, 35pp

Prof. Dr. (em.) Ernst-Detlef Schulze
 Max-Planck Institut für Biogeochemie
 Postbox 100164
 D-07701 Jena
 Germany

Exzerpt aus Tagungsband des AKE, DPG-Tagung 2013 Dresden, (ISBN 978-3-9811161-4-4)
home: http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/DPG2013-AKE_Dresden/Links_DPG2013.htm



Energie

Technologien und Energiewirtschaft

Vorträge auf der DPG-Frühjahrstagung in Dresden 2013

Herausgegeben von Hardo Bruhns

Arbeitskreis Energie in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

Direkter Link zum AKE - Archiv:

<http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/index.htm>

Direkter Link zum AKE - Archiv, Tagung 2013 -Dresden:

http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/DPG2013-AKE_Dresden/Links_DPG2013.htm

Vorträge auf der Dresdner DPG-Tagung (2013)

Herausgegeben von Hardo Bruhns

Herausgeber:
Arbeitskreis Energie (AKE) in der DPG
Prof. Dr. Hardo Bruhns
Meliesallee 5
40597 Düsseldorf
E-Mail: ake@bruhns.info

Die Grafik des Titelblatts wurde unter Verwendung von Abbildungen aus den Beiträgen von T. Klinger, H. Pütter und O. Kastner mit freundlicher Genehmigung der Autoren gestaltet.

Energie

Technologien und Energiewirtschaft

Vorträge auf der DPG-Frühjahrstagung in Dresden 2013

Arbeitskreis Energie in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

Herausgegeben von Hardo Bruhns

Bad Honnef, November 2013

Frühjahrstagung des Arbeitskreises Energie
in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft
Dresden, 4. bis 6. März 2013

Haupt- und Plenarvorträge

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	7
Übersicht über die Fachsitzungen	8
Abstracts	9
Optimized Stellarator as a Candidate for a Fusion Power Plant (vorgetragen von T. Klinger)	19
The Availability of Rare Elements for Advanced Energy Technologies (vorgetragen von A. Bradshaw)	29
Electric Mobility: Chances and Technical Challenges (vorgetragen von A. Knoll)	47
Energy Systems: the Importance of Energy Storage (vorgetragen von U. Stimming)	63
Die Zukunft der Stromspeicherung (vorgetragen von H. Pütter)	75
Power-to-Gas – Perspektiven einer jungen Technologie (vorgetragen von M. Sterner)	87
Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit von Bioenergie als Energiequelle (vorgetragen von (ED. Schulze)	102
Potential und thermische Eigenschaften der tiefen hydrothermalen Wärmereservoirs in Berlin (vorgetragen von O. Kastner)	110
Zukünftige Herausforderungen der Elektrizitätsversorgung aus energiewirtschaftlicher Perspektive (vorgetragen von D. Möst)	118