

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Problemstellung

Die Atmosphäre besteht aus einem gleichmäßigen Gemisch verschiedener Gase. Ausnahmen stellen die Ozonschicht der Stratosphäre sowie unterschiedliche Wasserdampfkonzentration dar (TRENBERTH 1996). Neben den Wassermolekülen sind Kohlendioxid (CO_2) und andere Gase, die lediglich in Spuren auftreten wie Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) strahlungsaktive Treibhausgase (WATSON ET AL. 1990, FLACH ET AL. 1997). Ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt läge die mittlere Temperatur der Erdoberfläche bei -18°C und damit 33°C niedriger als die aktuelle Temperatur, was menschliches Leben vermutlich unmöglich machen würde (WATSON ET AL. 1990, TRENBERTH 1996). Neben diesem natürlichen gibt es auch einen vom Menschen verursachten Treibhauseffekt. Seit der Industrialisierung haben menschliche Aktivitäten zu einem enormen Anstieg der Treibhausgasemissionen beigetragen. Als wichtigste Ursache gilt dabei die Freisetzung von CO_2 aus fossilen Brennstoffen wie Öl, Kohle und Gas, gefolgt von der zunehmenden Entwaldung der Erde. In der Vegetation und im Boden eines natürlichen Waldes ist laut WATSON ET AL. (1990) 10-100-mal so viel Kohlenstoff (C) gespeichert, wie unter landwirtschaftlicher Nutzung. Die große Variation ist hierbei vor allem auf die unterschiedliche CO_2 -Speicherung der ursprünglichen Vegetation zurück zu führen, weist des Weiteren aber auch auf die Bedeutung der jeweiligen Landnutzung hin.

Durch anthropogene Emissionen ist die CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre seit dem Jahr 1750 über 30% gestiegen. Neben der CO_2 - steigt auch die CH_4 -Konzentration der Erdatmosphäre vor allem durch wasserbedeckte Reisfelder und die Viehzucht stark an (BMU 2009). Ähnlich verhält es sich mit N_2O , welches durch mikrobiologische Aktivitäten in sauerstoffarmen Böden entsteht. Sowohl CH_4 als auch N_2O bewirken eine wesentlich stärkere Erwärmung des Klimas (ALBRITTON ET AL. 1995, KASIMIR-KLEMEDTSSON ET AL.

1997, FLACH ET AL. 1997), werden allerdings chemisch in der Atmosphäre zer-
 setzt (SCHIMEL ET AL. 1995). Aus fossilen Energieträgern freigesetztes CO₂
 hingegen wird nicht abgebaut, sondern durchläuft atmosphärische, terrestri-
 sche und marine Reservoirs mit großen Unterschieden in der Verweildauer,
 die zwischen Jahren und Jahrtausenden liegen (SCHIMEL ET AL. 1995). Daher
 sind die Konsequenzen der anthropogenen Störung auf den CO₂-Zyklus als
 langfristig anzusehen und haben somit den größten Einfluss auf die Verände-
 rungen der Klimas (WATSON ET AL. 1990, SCHIMEL ET AL. 1995, ALBRITTON ET
 AL. 1995, BMU 2009). Neben der Produktion von Treibhausgasen beeinflusst
 der Mensch auch durch andere Maßnahmen das Klima, z.B. durch die Verän-
 derung des Albedo (Reflexionskoeffizient), durch Desertifikation oder Ent-
 waldung bzw. durch die Freisetzung von Aerosolen (WATSON ET AL. 1990).

Durch die Produktion von Energiepflanzen wird atmosphärisches CO₂ ge-
 bunden und bei der Energiegewinnung wieder freigesetzt. Dennoch ist die
 Energiebilanz nicht ausgeglichen, da für Produktionsfaktoren wie Diesel,
 Dünger und Pestizide fossile Energieträger eingesetzt werden. Hierbei ist die
 entsprechende energetische Output/Input-Relation, wobei dieser Quotient
 möglichst hoch sein soll, entscheidend. Die Energie, die aus Biomasse (ver-
 holzte und krautige Energiepflanzen) gewonnen werden kann, ist ca. 10-15-
 mal höher als der Energieinput für Produktionsfaktoren wie Bodenbearbei-
 tung, Agrochemikalien, Transport und Konversion (TURHOLLOW & PERLACK
 1991, SCHEFFER 1992, HARTMANN 1994). Dieses Output/Input-Verhältnis
 wird in Zukunft durch steigende Erträge noch weiter auseinander gehen. Ge-
 mäß Modellrechnungen von FOSTER (1993) kann dieses Verhältnis auf bis zu
 30:1 vergrößern werden. Die freigesetzte C-Menge durch Treibstoffverbrauch
 sowie Dünger- und Pflanzenschutzmittelerzeugung pro erzeugte Energieein-
 heit liegt laut TURHOLLOW & PERLACK (1991) zwischen 1,1 und 1,9 kg C GJ⁻¹
 für verholzte und krautige Biomasse. Im Vergleich hierzu ist die C-Frei-
 setzung bei der direkten energetischen Nutzung von Gas bzw. Kohle mit 13,8
 und 24,7 kg C GJ⁻¹ um ein Vielfaches höher. Durch eine Substitution von fos-
 silen durch »nachwachsende« Kraftstoffe kann die CO₂-Nettoemission im E-
 nergiepflanzenanbau weiter gesenkt werden.

Die 1990er Jahre waren sowohl im globalen als auch regionalen Maßstab das wärmste Jahrzehnt seit dem Beginn instrumenteller Aufzeichnungen. Allerdings sind urbane Hitzequellen durch den erhöhten Energieverbrauch, Oberflächenveränderungen, Verkehr etc. schwer von der treibhausgasinduzierten Klimaerwärmung zu trennen (BÖHM 1998, MCKENDRY 2003). Die Zunahme der Erdoberflächentemperatur scheint nicht einheitlich zu sein. Laut Untersuchungen von BRAITHWAITE (2002) gab es in den letzten 50 Jahren keinen globalen Trend, welcher auf ein Schmelzen der Gletschermasse hindeutet. Auch Untersuchungen in Grönland belegen, dass sich die dortige Eisfläche seit Beginn der Messungen im Jahr 1987 sogar ausweitete und die Temperatur im Mittel um $2,2^{\circ}\text{C}$ pro Dekade gefallen ist (CHYLEK ET AL. 2004); ein ähnlicher Trend wird von DORAN ET AL. (2002) für die Antarktis bestätigt und auch die Eisdicke im Arktischen Ozean blieb während der 1990er Jahre konstant (WINSOR 2001). Die vorsichtige Ausdrucksweise in dem aktuellen Bericht der »Intergovernmental Panel on Climate Change« (IPCC) Kommission von 2007 deutet ebenfalls darauf hin, dass es sich bei der Klimaforschung um ein sehr komplexes Thema handelt. Demnach ist es »wahrscheinlich« (durch mehr als 66% der Beobachtungen bestätigt), dass sich die Erde (ohne die Antarktis) innerhalb der letzten 50 Jahre durch anthropogene Einflüsse erwärmt hat (IPCC 2007). Prognosen gehen davon aus, dass sich die mittlere Erdtemperatur durch den vom Menschen verursachten Treibhauseffekt bis zum Jahr 2100 um mehrere Grad Celsius erhöht, wobei die Spannen der verschiedenen Modellrechnungen zwischen $1,1^{\circ}\text{C}$ und $6,4^{\circ}\text{C}$ liegen (IPCC 2007). Damit geht ein Anstieg des Meeresspiegels zwischen 0,18 und 0,59 m einher, wodurch ganze Inselstaaten und Küstenregionen bedroht sein werden. Eine Häufung extremer Witterungsverhältnisse sowie die Ausbreitung von Tropenkrankheiten über neue Gebiete ist ebenfalls »wahrscheinlich« (IPCC 2007) und die Niederschlagsverteilung weist eine Tendenz zur Abnahme von sommerlichen und Zunahme von winterlichen Niederschlägen auf (CHMIELEWSKI 2004). Darüber hinaus wird die Desertifikation weiter zunehmen, was vor allem die Entwicklungsländer betrifft (BMU 2009).

Obwohl bzw. gerade weil die anthropogene Einflussnahme auf das Klima noch nicht eindeutig quantifiziert werden kann, besteht ein dringender Handlungsbedarf, Treibhausgase einzusparen und damit den potenziellen Ursachen für einen Klimawandel entgegenzuwirken. Alternativen Energiequellen sowie der temporären Festlegung von Kohlenstoff in Pflanzen und Humus kommen hierbei entscheidende Bedeutungen zu. Gemäß Schätzungen von SAUERBECK (2001) können durch forst- und landwirtschaftliche Maßnahmen insgesamt 10-25% des aus fossilen Energieträgern freigesetzten CO₂ ersetzt werden. Neben der Substitution von fossilen Energieträgern und der Sequestrierung von Kohlenstoff sind vor allem eine effizientere Nutzung und Einsparung von Energie sowie die Anpassungen der Konsumgewohnheiten erstrebenswert (SCHAUB & VETTER 2007).

Der Anteil von erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch in der Bundesrepublik stieg in den letzten Jahren stark an und lag im Jahr 2008 bei 9,5% des Primärendenergieverbrauchs (AGEE-STAT 2009). Laut Schätzungen von SCHEFFER (2000) kann dieser bis auf 20% gesteigert werden. Die Struktur der aktuellen Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien ist in **Abb. 1** dargestellt. Der Energie aus Biomasse kommt mit einem Anteil von fast 70% hierbei eine herausragende Bedeutung zu.

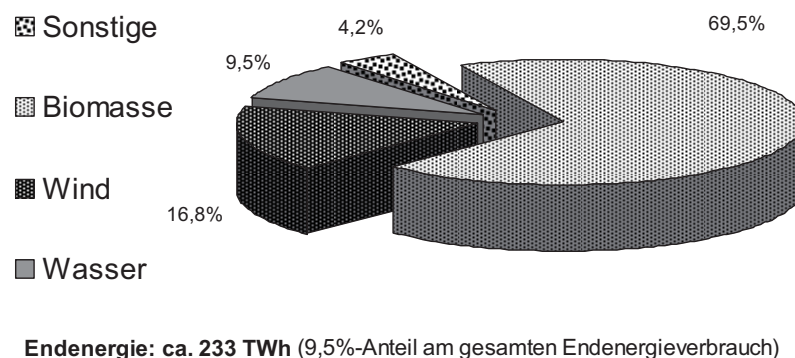


Abb. 1: Struktur der Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2008. (Quelle: BMU, Juni 2009)

Da eine Energiebereitstellung aus Biomasse, im Gegensatz zu Wind- und Solarenergie, eine gleichmäßigere Versorgung sowie eine Speicherung ermöglicht, wird diese auch weiterhin die stärkste Fraktion ausmachen und gegebenenfalls weiter an Bedeutung zunehmen (SCHEFFER 2000). Neben einer Nutzung von Stärke und pflanzlichen Ölen hat auch die Nutzung von Zellwandmaterialien ein hohes Potenzial, da diese mit einem Anteil von bis zu 95% im Pflanzenmaterial die am häufigsten vorkommenden organischen Verbindungen darstellen (GOLDSTEIN 1981, CLAASSEN ET AL. 1999). Allein Cellulose macht laut GOLDSTEIN (1981) ca. 50% der jährlich global produzierten Biomasse aus. Zudem ist die Verwendung von Biomasse zur Energiebereitstellung extrem flexibel (Verbrennung, flüssige Kraftstoffe, Biogas, Strom) und sowohl im kleinen als auch im großen Maßstab durchführbar. Außerdem fördert die Energiegewinnung aus Biomasse mit anderen alternativen Energiequellen die Vielfalt der Energieerzeugung und erhöht damit die Sicherheit der Energieversorgung (HALL & HOUSE 1995). Auf globaler Ebene ist die Spannweite des zukünftigen Potenzials der Energiebereitstellung aus Biomasse extrem groß und hängt neben Faktoren, wie der Nachfrage nach Nahrung, Konkurrenz um Landflächen etc. auch von der Produktivität der Anbausysteme ab (HOOGWIJK ET AL. 2003).

Die gesteigerte Nachfrage nach Biomasse verschärft jedoch die Probleme einer ausreichenden Bereitstellung, da Reststoffe nur begrenzt verfügbar sind und die Kosten dafür oft unterschätzt werden. Ein gezielter Anbau von Energiepflanzen ist deshalb für Landwirte nicht zuletzt wegen der staatlichen Förderung zunehmend interessant. Das bisherige Ziel der Bundesregierung bis zum Jahr 2010 12,5% des Bruttostromverbrauchs mit erneuerbaren Energien zu decken, wurde bereits im Jahr 2007 mit 14,2% überschritten. Gemäß dem neuen Erneuerbare-Energien-Gesetz und dem Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz sollen der Beitrag der erneuerbaren Energien zur Stromherstellung bis zum Jahr 2020 auf mindestens 30% und der Anteil an der Wärmebereitstellung auf 14% ansteigen (BMU 2009). Dabei besteht eine der größten Herausforderungen der Biomasseproduktion in der Entwicklung von geeigneten Anbausystemen, die hochproduktiv und ökologisch vertretbar sind. Durch eine

angemessene Energiepflanzenproduktion ließen sich aus ackerbaulicher Perspektive ökologische Probleme wie Pestizidbelastungen, Nährstoffauswaschungen, Erosionsverluste, Zerstörung der Bodenfruchtbarkeit und Agrar-biodiversitätsverluste auf ein Minimum reduzieren (FRESE 1995, BUTTLAR 1996, IPCC 2008), was vor allem vor dem Hintergrund der stark wachsenden Bevölkerung für eine nachhaltige Landbewirtschaftung von Bedeutung ist.

Die Anbaufläche von Rohstoffpflanzen in der Bundesrepublik ist in den letzten 10 Jahren etwa um das fünffache auf derzeit etwa 2 Mio. ha (17% der Ackerfläche) gestiegen. Diese Pflanzen werden neben einer stofflichen Nutzung überwiegend für energetische Zwecke genutzt und das geschätzte Potenzial liegt bei etwa 4,5 Mio. ha (FNR 2010). **Tab. 1** gibt eine Übersicht über den Flächenanbau von Energiepflanzen in den Jahren 2008 und 2009.

Tab. 1: Anbau von Energiepflanzen in Deutschland in ha. (Quelle: FNR 2010)

	2008	2009*
Raps für Biodiesel/ Pflanzenöl	915.000	942.000
Zucker und Stärke für Bioethanol	187.000	226.000
Pflanzen für Biogas	500.000	530.000
Dauerkulturen für Festbrennstoffe	2.000	3.500
Energiepflanzenanbau insgesamt	1.908.000	1.995.500
* vorläufige Schätzung		

Durch die Ausweitung des Energiepflanzenanbaus steigt die Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Futterproduktion sowie Naturschutzgebieten an (SCHAUB & VETTER 2007, BOEHMEL ET AL. 2008). Ökonomische Modelle auf globaler Ebene weisen darauf hin, dass eine direkte Konkurrenz zwischen Nahrungsmitteln und Bioenergie entsteht. Dies würde zu steigenden Preisen, weiterer Entwaldung und einem zusätzlich Anheizen der Klimaerwärmung führen (KASIMIR-KLEMEDTSSON ET AL. 1997, AZAR & BERNDEN 1999,

MCCARL & SCHNEIDER 2001, SCHNEIDER & MCCARL 2003, AZAR 2005, JOHANSSON & AZAR 2007). Um die Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion gering zu halten und hohe Transport- oder Umweltkosten zu vermeiden, sind für die Energiepflanzenproduktion vorzugsweise regionale Flächen, die für den Ackerbau ungeeignet sind zu nutzen. Hierbei kann es sich beispielsweise um Grünschnitte aus Naturschutzgebieten oder Randstreifen von Fahrbahnen bzw. Grünland handeln (SCHEFFER 1993, GRAß ET AL. 2007, WACHENDORF ET AL. 2007). Laut FIELD ET AL. (2007) haben Gebiete, die keine Nahrungsmittelkonkurrenz hervorrufen, das größte Potenzial zur Senkung der Nettoerwärmung. Hierbei handelt es sich um Flächen, die nicht mehr in landwirtschaftlicher Nutzung sind und nicht in urbane Gebiete oder Wald umgewandelt werden können. Durch diese Flächen kann global jedoch lediglich etwa 5% der Primärenergie bereitgestellt werden (FIELD ET AL. 2007). Daher ist der Anbau von Energiepflanzen auf landwirtschaftlichen Flächen notwendig und wird in Westeuropa auch in Zukunft eine Schlüsselrolle einnehmen. Schätzungen gehen davon aus, dass bis 2050 17-30% der Primärenergie aus Biomasse bereitgestellt wird (HALL & HOUSE 1995).

Bei einer Substitution von fossilen Energieträgern durch Biomasse werden an die jeweiligen Standorte angepasste Pflanzenarten bzw. -sorten und ökologisch verträgliche Anbausysteme mit hohen Erträgen benötigt (SCHOLZ & ELLERBROCK 2002). Es ist also eine möglichst hohe Produktivität des knappen Gutes Ackerfläche anzustreben (HOOGWIJK ET AL. 2003, BOEHMEL ET AL. 2008). Eine Erhöhung der Biomasseerträge ohne negative ökologische Folgen kann hierbei über Züchtungsfortschritte bzw. neue Anbausysteme erzielt werden (SCHAUB & VETTER 2007, BOEHMEL ET AL. 2008). Neben einer optimalen Flächenausnutzung, sowie der Bereitstellung qualitativ hochwertiger Biomasse für die energetische Wandlung, ist auch die Nachhaltigkeit dieses hieraus erwachsenden Betriebszweiges für die Landwirtschaft, sowie neue Wertschöpfungsketten im ländlichen Raum von großer Bedeutung. In diesem Rahmen sind für Anbau und Bereitstellung der Biomasse verschiedene Ansätze denkbar. Mit dem Zweikultur-Nutzungssystem (ZKN) wurde ein Anbausystem

entwickelt, das hohe Flächenerträge mit ökologischen Vorteilen in Einklang bringen soll.

Die derzeit wichtigste Kulturpflanze für die energetische Nutzung ist Silomais mit einem Anteil an der Anbaufläche von über 80%. Insbesondere in viehhaltenden Regionen mit hohen Gülleapplikationen stieg der Maisanteil in den Fruchtfolgen teilweise auf über 50% an (STÜLPNAGEL ET AL. 2008). Entsprechend der Erfahrungen aus der Praxis und aus langjährigen Fruchtfolgeversuchen sollte im Integrierten Landbau der Anteil von Mais bei günstigen Standortbedingungen 40% und bei ungünstigen Bedingungen 25% nicht überschreiten (BAEUMER 1990). Gründe für diese Vorgabe liegen sowohl in der Gefahr der Bodenerosion und Nährstoffauswaschung während der Brachezeiten, als auch in einem verstärkten Krankheitsdruck (Fusariosen, Mais-Beulenbrand, Nematoden, Maiszünsler, Maiswurzelbohrer) als Folge zunehmender Anbaudichte. Die Anforderungen an Alternativen zum Silomais sind hoch, denn sie müssen sowohl mit dem Ertrags- und Preisniveau von Mais konkurrieren können, als auch Umweltvorteile in Bezug auf das Erosions- und Auswaschungsrisiko erbringen.

Durch eine Ausweitung der Fruchtfolgen und die Entwicklung neuer Anbausysteme besteht zudem die Möglichkeit, die Agrarbiodiversität zu erhöhen. Für die Gesundheit der Biosphäre ist deren Diversität von großer Bedeutung (CALLOW ET AL. 1997). Neben der Erweiterung von Anbausystemen, ist eine Ausweitung des Genpools von Kulturpflanzen nötig, um auch in Zukunft hohe und stabile Erträge zu erzielen. Hierfür ist die Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen, die heute bereits erfolgreich in der Züchtungsarbeit eingesetzt werden, von entscheidender Bedeutung (HAMMER ET AL. 2003b, HAMMER ET AL. 2007). Derzeit findet jedoch immer noch eine Generosion vor allem durch die Vernachlässigung regional bedeutsamer Pflanzenarten bzw. -sorten statt (HAMMER ET AL. 2001). Diese pflanzengenetischen Ressourcen gilt es zu sammeln, zu charakterisiert, zu bewertet und vor allem für die Zukunft zu bewahren (HAMMER ET AL. 2007).