

Martin Kaltschmitt, Daniela Thrän

# Bioenergie im globalen Energiesystem Möglichkeiten und Grenzen

## Abstract

Biomasse als Energieträger gewinnt weltweit immer mehr an Bedeutung. Gleichzeitig steigt aber die Nachfrage nach Nahrungs- und Futtermitteln einerseits und nachwachsenden Rohstoffen für die stoffliche Nutzung andererseits. Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel der folgenden Ausführungen, ausgehend von einer Darstellung des weltweiten Energiesystems die Potenziale einer Energiegewinnung aus Biomasse zu diskutieren und diese im Kontext der Dimensionen des Energiesystems zu diskutieren. Ausgehend davon werden Aussagen gemacht, unter welchen Bedingungen der Beitrag der Biomasse im Energiesystem gesteigert werden kann.

Biomass as a source of energy becomes more and more important world wide. At the same time the demand for food and fodder as well as for renewable raw material is increasing significantly. On this background the goal of this paper is it to discuss based on a presentation of the world wide energy system the potentials of an energy provision from biomass and to discuss these potentials within the context of the dimensions of the global energy system. Based on these data statements are made under which circumstances the contribution of biomass within the energy system can be increased.

## 1. Einleitung und Abgrenzung

Die Ressourcen fossiler Energieträger (z. B. Öl, Gas), die derzeit das Rückgrad der weltweiten Energieversorgung bilden, sind a priori endlich. Dies ist auch unstrittig; offen ist aber die Frage, wie lange die insgesamt auf der Erde vorhandenen Vorräte noch reichen werden, da dies von einer Vielzahl unterschiedlichster Größen abhängt, die sich zudem mit Laufe der Zeit – und damit entsprechend der Weiterentwicklung der Technik im Rahmen des technischen Fortschritts – verändern. Diese Begrenztheit – zusammen mit der hohen und international schnell weiter steigenden Nachfrage nach fossilen Energieträgern insbesondere in den Schwellenländern (z. B. China, Indien) – bedingt längerfristig einen weiteren Preisanstieg; hinzu kommen politische Unsicherheiten (z. B. Irak, Iran), welche das Preisgefüge auf den internationalen Energiemärkten mit ihren oligopolartigen Strukturen zusätzlich signifikant beeinflussen können und auch de facto beeinflussen. Auch ist die Nutzung fossiler Energieträger mit

unerwünschten lokalen und globalen Umweltauswirkungen verbunden; dies gilt aus gegenwärtiger Sicht insbesondere unter dem Aspekt des Klimawandels, der derzeit sehr hoch auf der politischen Agenda steht und dessen potenzielle unerwünschte Folgen durch konzertierte internationale Anstrengungen, über deren konkrete vertragliche Gestaltung bereits seit Jahren z. T. sehr kontrovers diskutiert wird, eingegrenzt werden sollen. Hinzu kommt, dass die Ressourcen und Reserven fossiler Energieträger – und hier insbesondere die von Erdöl – weltweit regional sehr ungleichmäßig verteilt sind und deshalb bei einer zunehmenden Verknappung und Konzentration auf wenige Produzentländer die Erpressbarkeit bestimmter Käuferländer zunimmt und damit eine auch zukünftig sichere Versorgung mit Energie gefährdet sein könnte.

Vor dem Hintergrund der aufgezeigten ökologischen, ökonomischen und energiewirtschaftlichen Aspekte im Zusammenhang mit der Nutzung des fossilen Energieangebots gewinnt die forcierte Suche nach realistischen Optionen zum Ersatz

und zur Ergänzung fossiler Ressourcen und Reserven immer mehr und immer schneller an Bedeutung. Und hier erscheint der Einsatz nachwachsender Rohstoffe – und damit der Biomasse – aus vielerlei Gründen sehr vielversprechend. Deshalb ist es das Ziel der folgenden Ausführungen, die Möglichkeiten und auch Grenzen des Energieträgers Biomasse im Kontext des globalen Energiesystems zu diskutieren und zu analysieren.

## 2. Globales Energiesystem

Im Folgenden wird das weltweite Energiesystem diskutiert. Dazu wird zunächst der gegenwärtige Stand erörtert und dann analysiert, inwieweit sich dies zukünftig ändern könnte.

### 2.1 Stand

Der weltweite Verbrauch an fossilen Primärenergieträgern (einschl. Kernenergie)

## Kontakt

### Martin Kaltschmitt

Institut für Umwelttechnik  
und Energiewirtschaft (IUE),  
Technische Universität  
Hamburg-Harburg (TUHH),  
Eissendorfer Str. 40  
D-21073 Hamburg

Institut für Energetik und Umwelt (IE)  
Deutsches BiomasseForschungs-  
Zentrum (DBFZ)  
Torgauer Str. 116  
D-04347 Leipzig

### Daniela Thrän

Institut für Energetik und Umwelt (IE)  
Deutsches BiomasseForschungs-  
Zentrum (DBFZ)  
Torgauer Str. 116  
D-04347 Leipzig

sowie an Wasserkraft lag 2006 bei rund 456 EJ. Von diesem gesamten Primärenergieverbrauch aus konventionellen Energieträgern (Abb. 1) entfielen 27,8 % auf Europa und Eurasien, 25,8 % auf Nordamerika, 4,9 % auf Zentral- und Südamerika, 5,1 % auf den Mittleren Osten, 3,0 % auf Afrika und 33,5 % auf Asien und den pazifischen Raum (im Wesentlichen Australien und Neuseeland). Damit verbrau-

chen Nordamerika und Europa (einschließlich Eurasien) mehr als die Hälfte der derzeit weltweit eingesetzten Primärenergie aus fossilen Energieträgern und aus Wasserkraft.

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung dieses weltweiten Primärenergieverbrauchs an fossilen Energieträgern und an Wasserkraft nach Regionen seit 1965. Demnach ist es in diesem Zeitraum fast zu einer Ver-

dreifachung des weltweiten Primärenergieeinsatzes an fossilen Energieträgern (einschließlich der Kernenergie) und der Wasserkraft gekommen. Und das weltweit regional unabhängig; eine merkliche Zunahme ist in praktisch allen dargestellten Regionen zu erkennen. Deutlich wird auch, dass diese Zuwächse nicht stetig verlaufen sind, sondern durch die beiden Ölpreiskrisen 1973 und 1979/80 spürbar beeinflusst wurden. Auch hat sich Anfang der 1990er Jahre der Anstieg des weltweiten Energieverbrauchs signifikant verlangsamt; dies ist u. a. auf die schlechte konjunkturelle Lage der Weltwirtschaft und die Umstrukturierungsprozesse im ehemaligen Ostblock einschließlich der ehemaligen UdSSR zurückzuführen. Gleichzeitig ist es im asiatischen Raum insbesondere seit etwa Mitte der 1990er Jahre zu einem deutlichen Anstieg des fossilen Primärenergieeinsatzes gekommen; dies ist primär auf die gute wirtschaftliche Entwicklung in China und eingeschränkter in Indien zurückzuführen.

Der Gesamtenergieverbrauch an fossilen Energieträgern und an Wasserkraft wurde im Jahr 2006 zu knapp 36 % durch Erdöl, zu knapp 24 % aus Erdgas, zu etwas mehr als 28 % durch Kohlen und zu knapp 6 bzw. etwa mehr als 6 % durch elektrische Energie aus Kernkraft- bzw. Wasserkraftwerken gedeckt. Dabei variieren die Anteile jedoch erheblich in Abhängigkeit der jeweiligen regionalen und nationalen Gegebenheiten, die u. a. aus der nationalen Energiepolitik bzw. den regional unterschiedlichen Primärenergievorkommen resultieren (Abb. 2). Beispielsweise wird in Asien ein Großteil der fossilen Primärenergie durch Kohle bereitgestellt (im Wesentlichen in der Volksrepublik China), während dieser Energieträger z. B. im Mittleren Osten kaum Bedeutung hat. Aufgrund der dortigen großen Vorkommen an Erdöl und -gas dominieren hier die flüssigen und gasförmigen fossilen Kohlenwasserstoffe. Entsprechend ist der hohe Erdgaseinsatz in Europa und Eurasien auf die u. a. in Russland, in den Niederlanden und in der Nordsee vorhandenen Vorkommen zurückzuführen.

In den letzten 30 Jahren hat sich dieser weltweite Energieträgermix merklich verändert (Abb. 3). Dies gilt insbesondere für Erdgas, das 1965 nur einen Anteil am Gesamtverbrauch der fossilen Energieträger (einschließlich der Kernenergie) sowie der Wasserkraft von rund 17 % hatte und 2006

Abb. 1 | Entwicklung des weltweiten Verbrauchs an fossilen Primärenergieträgern sowie an Wasserkraft nach geografischen Großregionen (Daten nach /BP 2007/)

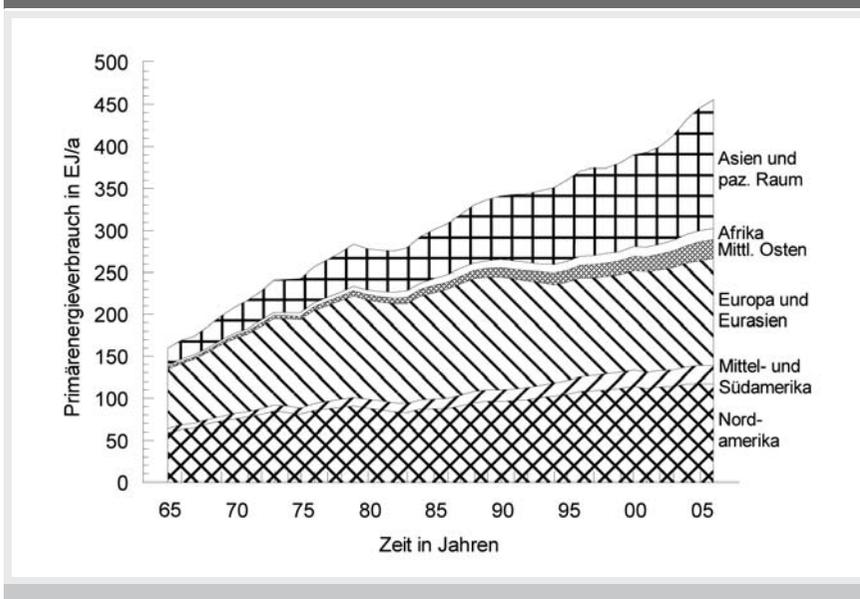
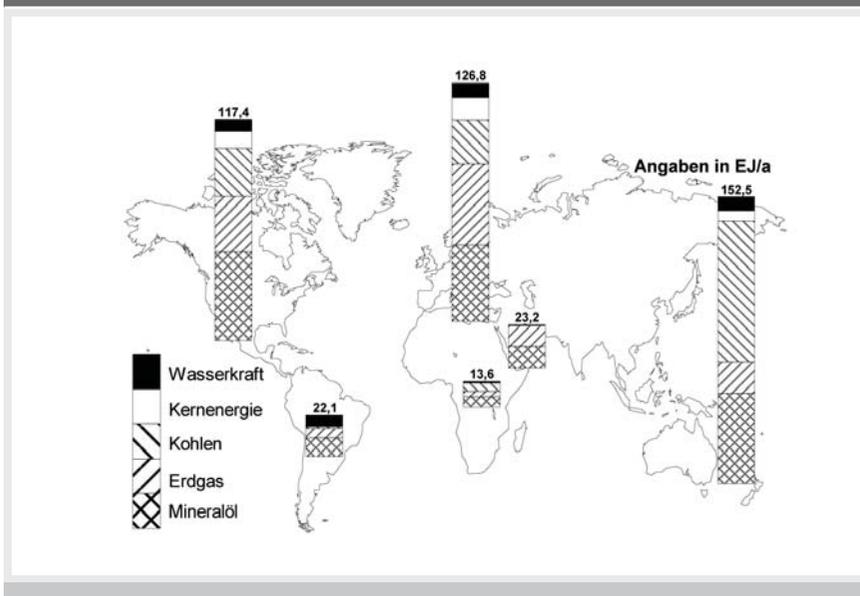


Abb. 2 | Weltweiter Verbrauch an fossilen Primärenergieträgern sowie an Wasserkraft nach Regionen und Energieträgern im Jahr 2006 (Daten nach /BP 2007/)



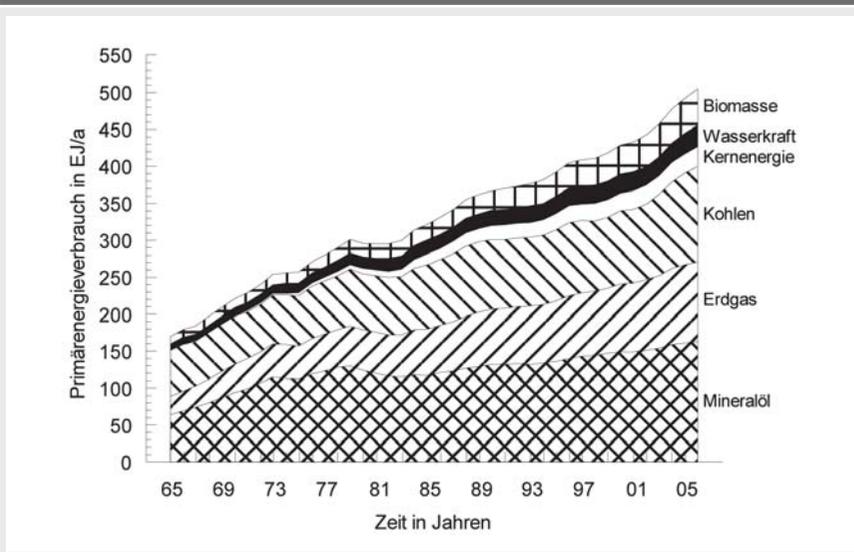
fast 24 % bereitstellte. Die Kernenergie war im Jahr 1965 noch nahezu bedeutungslos; im Jahr 2006 werden damit etwa 5,8 % der weltweiten Primärenergienachfrage gedeckt. Der Verbrauch von Kohlen ist zwar von 62 EJ (1965) auf rund 129 EJ (2006) deutlich angestiegen, bezogen auf den Gesamtverbrauch an fossilen Energieträgern jedoch von 40 % im Jahr 1965 auf knapp 28 % im Jahr 2006 zurückgegangen. Beim Mineralöl stieg der Verbrauch im gleichen Zeitraum von rund 65 EJ (1965) auf rund 163 EJ (2006) und ist damit um rund den Faktor 2,5 angestiegen; der Anteil am Gesamtverbrauch ist aber weitgehend gleich geblieben.

In den bisher dargestellten Angaben sind nur die auf den Weltenergiemärkten gehandelten (konventionellen) Energieträger sowie die Stromerzeugung aus Wasserkraft und Kernenergie enthalten; d. h. andere regenerative oder unkonventionelle Energien wie beispielsweise Brennholz oder Windenergie sind darin nicht berücksichtigt. Über Höhe und regionale Verteilung des Einsatzes an biogenen Energieträgern – und nur diese sind bisher global gesehen energiewirtschaftlich relevant – liegen nur grobe Schätzungen vor, die zwischen 20 und über 60 EJ/a liegen. Demnach trägt die Biomasse mit rund 4 bis 13 % des weltweiten Primärenergieeinsatzes an fossilen Energieträgern (einschließlich Kernenergie) und an Wasserkraft zur Deckung der Energienachfrage bei.

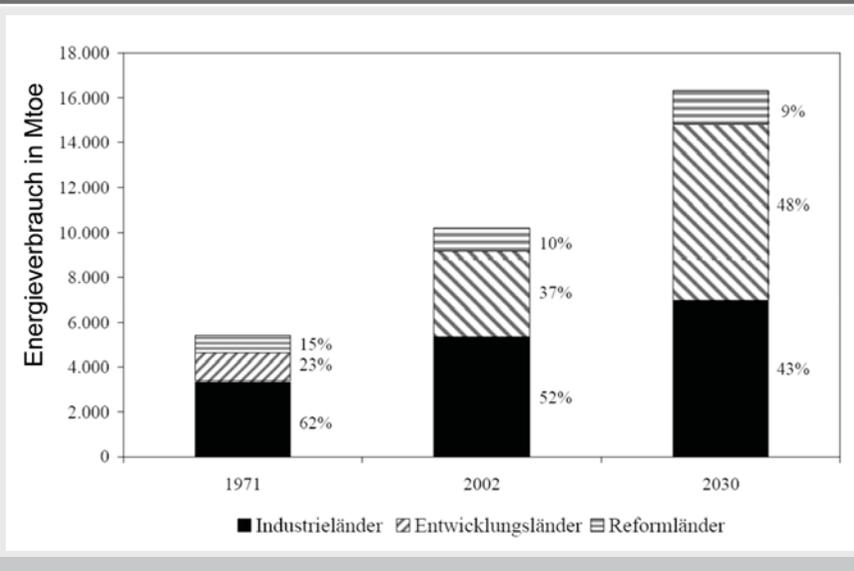
### 2.2 Entwicklung

Dieser heutige Primärenergieverbrauch wird in den kommenden Jahren weltweit insgesamt gesehen weiter deutlich ansteigen. **Abbildung 4** zeigt exemplarisch eine entsprechende Abschätzung. Demnach ist auf der Basis der Abb. 4 zugrunde liegenden Rahmenannahmen zu erwarten, dass der Einsatz an Primärenergie um den Faktor 1,5 zwischen den Jahren 2002 und 2030 ansteigen dürfte. Anderen Untersuchungen und Abschätzungen kommen – je nach Setzung der jeweils zugrunde gelegten Randbedingungen bzw. Rahmenannahmen (z. B. Wirtschaftswachstum oder -degression, Entwicklung der Weltbevölkerung) – zu etwas höheren oder auch etwas geringeren Zuwächsen. Einig sind sich alle vorliegenden Untersuchungen aber darin, dass die Energienachfrage in den kommenden Jahren insbesondere in den Entwicklungs- und Schwellenländern weltweit weiter deutlich steigen wird und dass diese Energie zwar nicht aus-

**Abb. 3 | Entwicklung des weltweiten Primärenergieverbrauchs nach Energieträgern (Daten nach /BP 2007/)**



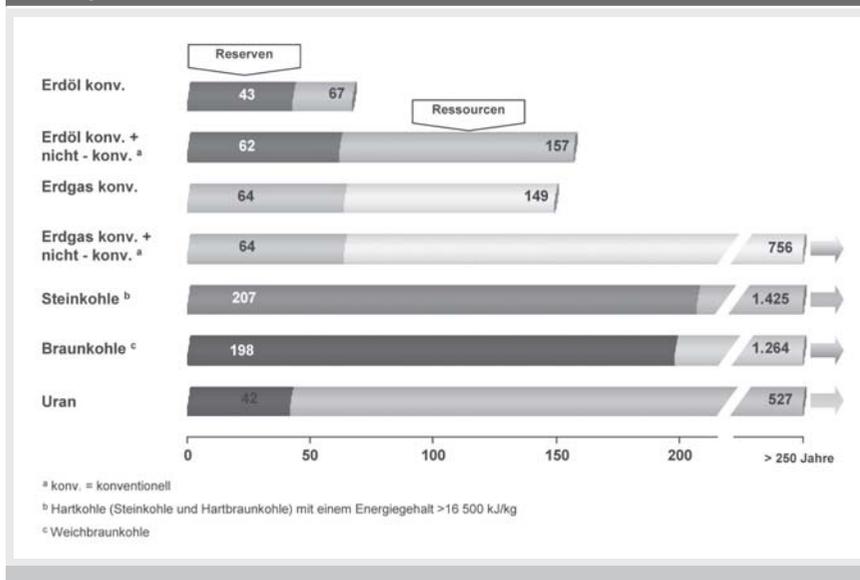
**Abb. 4 | Szenario der zukünftigen Entwicklung des weltweiten Primärenergieverbrauchs (EWI/Prognos Energiereport IV 2005)**



schließlich, aber doch vorrangig durch fossile Energieträger gedeckt werden wird.

Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung stellt sich die Frage, ob die auf der Erde vorhandenen fossilen Energieresourcen und -reserven diese steigende Primärenergienachfrage decken können. Deshalb zeigt **Abb. 5** die statischen Reichweiten der bekannten Reserven und Ressourcen ausgewählter fossiler Energieträger. Deutlich wird dabei u. a., dass sowohl Erdöl und Erdgas als auch Kohle noch erhebliche Reserven und Ressourcen

aufweisen, die zukünftig genutzt werden könnten. Zu beachten ist dabei aber u. a., dass diese fossilen Energievorräte sich mit zunehmender Erschöpfung auf immer weniger Länder konzentrieren und damit aus geopolitischer Sicht die weltweite Versorgung mit fossilen Energieträgern von einer immer geringer werdenden Anzahl von Ländern, die zudem von einigen Regierungen der westlichen Welt als politisch instabil eingeschätzt werden, realisiert werden wird.

**Abb. 5 | Statische Reichweiten fossiler Energieträger (nach /IE 2007/)**


### 2.3 Fazit

Ausgehend von den Ausführungen dieses Kapitels können die folgenden wesentlichen Aussagen zusammengefasst werden.

- Unser globales Energiesystem basiert heute primär auf der Nutzung fossiler Energieträger (d.h. Öl, Gas, Kohle); regenerative Energien – und hier im Wesentlichen die Biomasse – leisten global gesehen nur einen untergeordneten, aber doch merkwürdigen Beitrag.
- Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist davon auszugehen, dass die fossilen Energieträger auch in den kommenden Jahren das Rückgrad der globalen Energieversorgung darstellen werden – und das mit deutlich steigender Tendenz insbesondere in den Entwicklungs- und Schwellenländern.
- Aus Sicht der global vorhandenen Reserven und Ressourcen fossiler Energieträger steht einer derartigen weitergehenden Nutzung des fossilen Energieangebots auch nichts im Wege; aber die bekannten wesentlichen fossilen Energieressourcen und -reserven konzentrieren sich immer mehr auf immer weniger, oft als politisch instabil angesehene, Regionen bzw. Staaten dieser Erde; damit ist die Energieversorgung der westlichen Welt in einem zunehmenden Maße von einem funktionierenden Welt-Energiemarkt abhängig, bei dem gleichzeitig die Gefahr der Bildung eines noch mächtigeren Angebots-oligopols zunimmt.
- Die langsame Erschöpfung der kostengünstig erschließbaren fossilen Energievorkommen bedingt mittelfristig zwingend einen Preisanstieg, der aber merklich

überlagert wird durch Preisaufschläge bedingt durch politische Unsicherheiten und andere marktbedingte Einflüsse (z. B. überproportionaler Nachfrageanstieg in China, Stürme in der Karibik).

- Dieser Preisanstiegstendenzen werden noch verstärkt durch die Gefahr eines globalen Klimawandels, dem durch international abgestimmte gesetzliche Maßnahmen (u. a. Kyoto-Protokol) entgegen gewirkt werden soll; damit ist auch zukünftig von einem vergleichsweise hohen Energiepreisniveau auszugehen.

### 3. Biomassepotenziale

Ziel der folgenden Ausführungen ist eine Diskussion der weltweiten technischen Potenziale einer energetischen Biomasse-nutzung. Dazu wird zunächst der gegenwärtige Stand diskutiert und dann analysiert, inwieweit sich dies in den kommenden Jahren ändern könnte.

#### 3.1 Stand

Insgesamt fallen eine Vielzahl von Biomassefraktionen an, die energetisch genutzt werden könnten und auch werden. Hier wird i. Allg. unterschieden zwischen den Potenzialen an holzartiger Biomasse, an halmgutartigen Rückständen und Nebenprodukten, an Dung bzw. dem daraus gewinnbaren Biogas und an einem zusätzlichen Energiepflanzenanbau.

Bereits bei der Waldbewirtschaftung fallen Rückstände und Nebenprodukte an. Davon kann aufgrund gegebener Restrik-

tionen (z. B. Erhaltung des Humus- und Nährstoffgehalts) nur das während des Anbaus und der Ernte des Stammholzes zusätzlich anfallende holzartige Material als energetisch nutzbar angesehen werden. Hinzu kommen Holzrückstände und -nebenprodukte, die während der industriellen Holzweiterverarbeitung anfallen und nicht stofflich genutzt werden. Darüber hinaus sind die Holzfraktionen, die aus dem Nutzungsprozess ausscheiden (d. h. Altholz), potenziell als Energieträger einsetzbar. Zusätzlich könnte der bisher ungenutzte Holzzuwachs – eine nachhaltige Nutzung der vorhandenen Wälder unterstellt – energetisch verwertet werden. Daneben fallen auch außerhalb der eigentlichen Wälder holzartige Biomassen an, die ggf. als Energieträger nutzbar wären (z. B. Straßenbegleitholz, Baumschnitt aus Parks, Anlagen und Friedhöfen); derartige Biomassefraktionen werden hier unter sonstigem Holz subsumiert.

Werden diese verschiedenen Fraktionen weltweit u. a. auf der Basis verfügbarer Einschlagszahlen bzw. der vorhandenen Waldflächen und mittlerer, regional unterschiedlicher Holzzuwächse ermittelt, errechnet sich ein technisches Potenzial von rund 41,6 EJ/a (Abb. 6). Davon resultieren etwas mehr als die Hälfte aus dem theoretisch energetisch nutzbaren Holzzuwachs, etwa 17 bzw. 13 % aus den beim Einschlag bzw. der industriellen Weiterverarbeitung anfallenden Produktionsrückständen und rund 7 bzw. 8 % aus dem jährlich anfallenden Altholz bzw. aus dem sonstigen Holz.

Die größten energetisch nutzbaren Holzpotenziale sind in Nordamerika vorhanden; sie resultieren insbesondere aus dem dort vorhandenen und bisher kaum bzw. nicht genutzten Holzzuwachs. Deutlich geringere Potenziale ergeben sich für Asien, für die Länder der ehemaligen UdSSR sowie für Afrika und Lateinamerika einschließlich der Karibik (Tabelle 1).

Bei einer Vielzahl landwirtschaftlicher Rückstände und Nebenprodukte handelt es sich um halmgutartige biogene Festbrennstoffe (z. B. das bei der Kornproduktion anfallende Stroh). Aber auch bei der Weiterverarbeitung von z. B. Reis fallen Reisspelzen an, die energetisch genutzt werden können und ebenfalls i. Allg. zu den halmgutartigen Biomassen gezählt werden. Zusätzlich fällt bei der Zuckerherstellung aus Zuckerrohr Bagasse an, deren Einsatz als Energieträger bereits weit ver-

**Tab. 1 | Technische Biomassepotenziale nach Regionen**

	Nordamerika	Lateinamerika und Karibik	Asien*	Afrika	Europa und Eurasien	Mittlerer Osten	Summe
In EJ/a							
Holz	12,8	5,9	7,7	5,4	9,4	0,4	41,6
Halmgut	2,2	1,7	9,9	0,9	2,3	0,2	17,2
Dung	0,8	1,8	2,7	1,2	1,0	0,1	7,6
(Biogas)**	(0,3)	(0,6)	(0,9)	(0,4)	(0,4)	(0,0)	(2,6)
Energiepflanzen	4,1	12,1	1,1	13,9	6,2	0,0	37,4
<b>Summe***</b>	<b>19,9</b>	<b>21,5</b>	<b>21,4</b>	<b>21,4</b>	<b>18,9</b>	<b>0,7</b>	<b>103,8</b>

\* Asien einschließlich pazifischer Raum; hier übersteigt die derzeitige Nutzung die vorhandenen Potenziale (d.h. in Asien wird momentan mehr Biomasse genutzt, als nachwächst; folglich wird Biomasse nicht nachhaltig genutzt);

\*\* Potenziale bei einer Biogasgewinnung aus den aufgezeigten Dungpotenzialen;

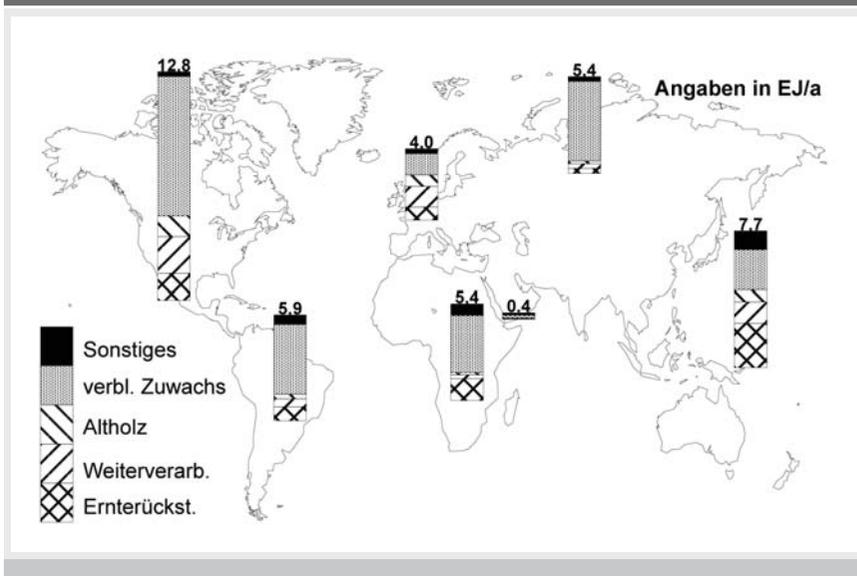
\*\*\* Bei der Summenbildung wurde eine thermische Nutzung des Dungs unterstellt.

breitet ist. Werden derartige energetisch nutzbare Fraktionen an halmgutartigen Rückständen und Nebenprodukten weltweit erhoben und die gegebenen Restriktionen berücksichtigt, errechnet sich ein technisches Potenzial an biogenen Festbrennstoffen von rund 17,2 EJ/a (Abb. 7).

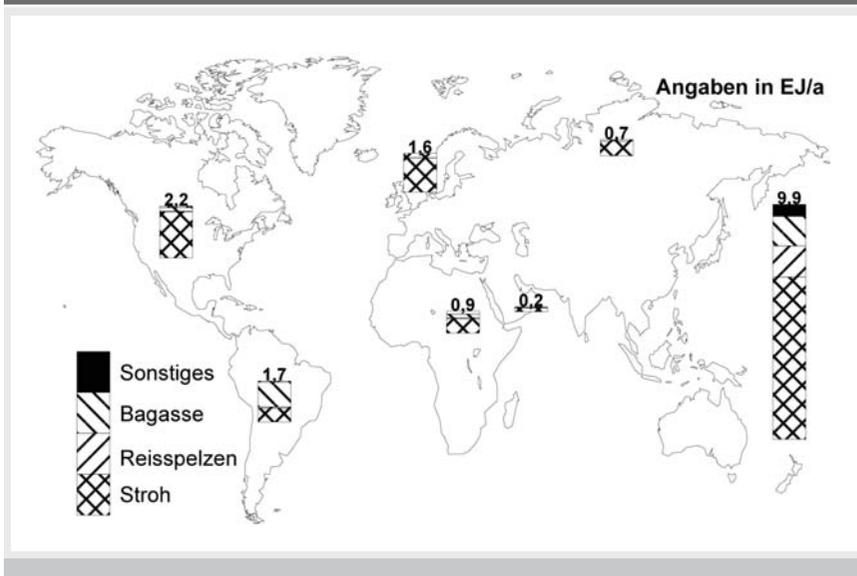
Die größten Energiepotenziale an Halmgütern liegen in Asien (überwiegend die Biomassefraktionen Stroh, Reisspelzen und Bagasse). Deutlich geringere Potenziale ergeben sich für die anderen dargestellten Ländergruppen, in denen Stroh dominiert (z. B. Nordamerika, Europa, ehemalige UdSSR), sowie in Lateinamerika und der Karibik, wo Bagasse das größte Energiepotenzial aufweist (Tabelle 1).

Weiterhin ist der bei der Nutztierhaltung anfallende Dung in getrocknetem Zustand als Festbrennstoff nutzbar. Wird vereinfachend unterstellt, dass rund die Hälfte der weltweit bei der Rinder- und Schweinehaltung anfallenden Exkremenente als Festbrennstoff nutzbar wäre, errechnet sich ein technisches Brennstoffpotenzial von rund 7,6 EJ/a. Davon resultieren rund 93 % aus Rinder- und etwa 7 % aus Schweineexkrementen. Die mit Abstand größten Potenziale sind dabei in Asien (ca. 2,7 EJ/a) gegeben. Alternativ zu einer solchen Nutzung als Festbrennstoff kann der Dung auch durch eine anaerobe Fermentation in Biogas umgewandelt werden. Mit ähnlich vereinfachenden Annahmen errechnet sich ausgehend vom weltweiten Bestand an Rindern und Schweinen ein

**Abb. 6 | Technische Potenziale energetisch nutzbarer holzartiger Bioenergieträger /Kaltschmitt und Hartmann 2001/**



**Abb. 7 | Technische Potenziale energetisch nutzbarer halmgutartiger Rückstände und Nebenprodukte /Kaltschmitt und Hartmann 2001/**



entsprechendes Biogaspotenzial von etwa 2,6 EJ/a; auch hier sind in Asien mit rund 0,9 EJ/a die weltweit größten Potenziale gegeben (Tabelle 1).

Wesentliche Bestimmungsgröße für die technischen Potenziale der Energiepflanzen sind die für einen Anbau verfügbaren Flächen; hier schwanken die Angaben zwischen 350 und 950 Mio. ha weltweit. Näherungsweise dürften in den Industriestaaten im Mittel auf rund 7 % der derzeit genutzten Ackerfläche Energiepflanzen anbaubar sein (ca. 48 Mio. ha). Für die Entwicklungsländer liegt die theoretisch verfügbare und für einen Energiepflanzenanbau geeignete Fläche im Mittel deutlich höher. Würde auf diesen Flächen ein Mix der an den jeweiligen Standorten einsetzbaren Pflanzen zur Lignocelluloseproduktion angebaut, errechnet sich ein technisches Energiepotenzial von rund 37,4 EJ/a. Davon ist mit rund 13,9 EJ/a das höchste Potenzial in Afrika gegeben (ca. 150 Mio. ha) (Tabelle 1).

### 3.2 Entwicklung

Der mögliche Beitrag von Biomasse an der zukünftigen Energieversorgung wurde und wird vielfach und kontrovers diskutiert. Auch unterscheiden sich die Ergebnisse unterschiedlicher Studien teilweise erheblich. So wird beispielsweise für das Jahr 2050 ein Potenzial in einer Bandbreite von weniger als 50 bis mehr als 400 EJ/a angegeben (Abb. 8). Diese doch erheblichen Unterschiede ergeben sich haupt-

sächlich durch Unsicherheiten bei der Entwicklung u. a. bei der Flächenverfügbarkeit und den Erträgen von Energiepflanzen, die von vielfältigen und kaum sicher vorhersagbaren Entwicklungsfaktoren abhängig sind. Im Vergleich dazu ist die Bandbreite der Erwartungen an die Verfügbarkeit von organischen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Land- und Forstwirtschaft und den diesen nachgelagerten Industriesektoren sowie den organischen Siedlungsabfällen deutlich geringer.

Wegen der vielfältigen Einflussfaktoren, aus denen die in Abb. 8 deutlich wendenden Unterschiede der dargestellten Ergebnisse von 17 Studien resultieren, erscheint für eine qualifizierte Abschätzung der zukünftig weltweit verfügbaren Potenziale ein szenarienorientierter Ansatz unumgänglich. Aufgrund der ungenügenden Datenbasis beschränken sich die nachfolgenden Betrachtungen deshalb auf die Analyse der wesentlichen Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Biomassepotenziale – und hier im Wesentlichen auf die Energiepflanzenpotenziale – bis zum Jahr 2050.

Entscheidend für die Entwicklung der Potenziale an Energiepflanzen sind die für den Anbau verfügbaren Flächen. Diese wiederum werden u. a. durch die Flächenproduktivität, den Nahrungsmittelverbrauch sowie durch den Flächenbedarf für andere Zwecke (z. B. für Infrastruktur) bestimmt, die durch die nach-

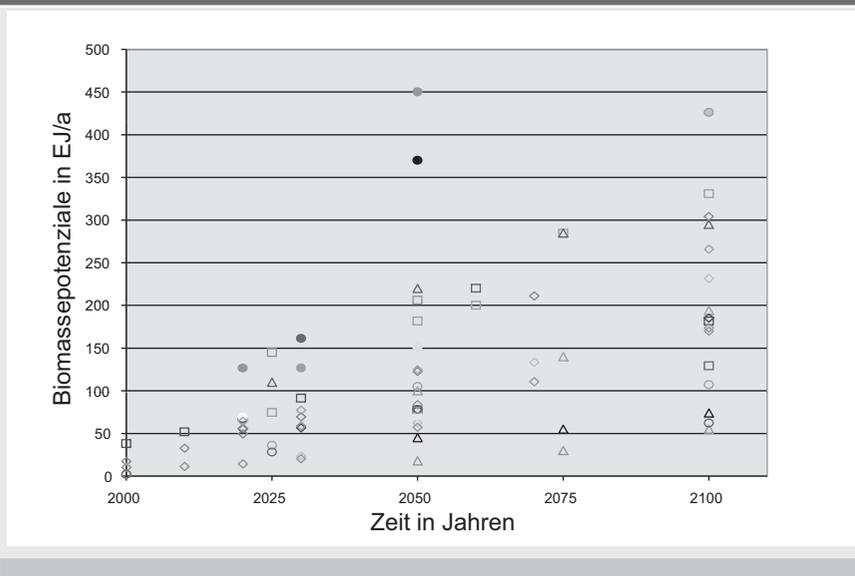
folgend diskutierten Faktoren beeinflusst werden. Soweit möglich werden diesen Faktoren „Korridore“ zugeordnet, welche die Bandbreite möglicher Entwicklungen bis zum Jahr 2050 auf der Basis des heutigen Kenntnisstandes – und bezogen auf den gegenwärtigen Zustand – aufzeigen.

▪ **Bevölkerungsentwicklung.** Die Entwicklung der Bevölkerung beeinflusst den Nahrungsmittelverbrauch wie auch den Verbrauch von nachwachsenden Rohstoffen zur stofflichen Nutzung. Die erwartete Bevölkerungsentwicklung bis 2050 variiert aber erheblich und liegt zwischen 7,7 und 10,6 Mrd. Menschen. Dies entspricht einem potenziellen Flächenmehrerbrauch von 25 bis 70 % im Vergleich zu 2005 /UNEP 2004/.

▪ **Pro-Kopf-Verbrauch.** Der Nahrungsmittelverbrauch wird wesentlich durch den Pro-Kopf-Verbrauch bestimmt. Dieser verändert sich weltweit aber nur langsam (Abb. 9) und scheint sich langfristig einem Grenzwert anzunähern. Mehr Einfluss auf die zukünftige Flächeninanspruchnahme hat deswegen der Anteil tierischer Produkte an der pro Kopf konsumierten Energie, da diese um mindestens den Faktor 6 flächenintensiver zu produzieren sind als die gleiche Energiemenge auf pflanzlicher Basis /KTBL 2005/. Dabei hat beispielsweise der Verbrauch an tierischen Lebensmitteln in den Entwicklungsländern zwischen 1970 und 2000 um mehr als den Faktor 2 zugenommen, während pflanzliche Nahrungsmittel nur um etwa den Faktor 1,2 mehr genutzt wurden /FAO 2003/. Geht man näherungsweise davon aus, dass sich die Ernährungsgewohnheiten der Entwicklungsländer bis 2050 an die der Industrienationen weitgehend annähern, entspricht dies einem Flächenmehrerbrauch von 18 bis 28 %.

▪ **Pflanzenzüchtung.** Ertragssteigerungen durch ein verbessertes Pflanzmaterial haben in den vergangenen 40 Jahren weltweit zu einer deutlichen Erhöhung der flächenspezifischen Nahrungsmittelproduktion geführt (Abb. 10). Jedoch gehen seit 1990 die Ertragssteigerungen zurück; der Getreideertrag beispielsweise ist von 1961 bis 1989 durchschnittlich um 3,8 %/a gestiegen, jedoch nur um 2 %/a von 1989 und 1999. Aus gegenwärtiger Sicht ist bis 2030 von einem Rückgang der Ertragssteigerungen z. B. von Getreide auf 1,2 %/a auszugehen /FAO 2003/. Geht man vereinfachend davon aus, dass sich die Ertragssteigerungen durch Züchtung bis

Abb. 8 | Weltweite Biomassepotenziale bis zum Jahr 2100 (17 Studien im Vergleich) /Smeets et al. 2004/ (die Symbole stehen exemplarisch jeweils für eine Studie bzw. Abschätzung)



2050 zwischen 0,5 und 2,2 %/a bewegen, errechnet sich ein Mehrertrag zwischen 60 und 120 % bzw. ein Flächenminderverbrauch zwischen 37 und 54 %.

▪ **Produktionstechnik.** Neben den züchterischen Erfolgen ist auch die reale Ertragssituation in der Landwirtschaft wesentlich. Diese ist in vielen Teilen der Welt weit vom jeweils technisch Machbaren entfernt. Beispielsweise liegt der durchschnittliche Weizenertag in Rumänien gegenwärtig nur bei rund 30 % des deutschen Ertrags. Auch in vielen Entwicklungsländern sind noch deutliche Zuwächse bei der Pflanzenproduktion durch technische Maßnahmen möglich. Deshalb ist die Angleichung der Produktionssysteme erklärtes Ziel der weltweiten Agrarpolitik. Geht man näherungsweise davon aus, dass infolge einer standortabhängig technisch optimierten Pflanzenproduktion 2050 weltweit die durchschnittlichen Erträge auf das Niveau der weit entwickelten Landwirtschaften der westlichen Welt angenähert bzw. angepasst werden können, resultiert daraus ein Mehrertrag – jedoch bei erheblichen Unsicherheiten, ob dieses Ziel auch tatsächlich erreichbar ist – zwischen 25 und 50 %. Damit ist diese Einflussgröße immer in Verbindung mit der Pflanzenzüchtung zu sehen.

▪ **Klimawandel.** Auch der zu erwartende Klimawandel beeinflusst die Flächenverfügbarkeit. Dies kann sowohl positive (z. B. höhere Niederschläge, wärmeres Klima) als auch negative Folgen (z. B. Versteppung und Wüstenbildung) haben. Deshalb liegen die aus den derzeit erwarteten Mindererträgen resultierenden Flächenverluste zwischen 0 und 7 % für die Jahre 1990 bis 2025 /Döös und Shaw 1999/. Plötzlich eintretende „Überraschungen“ infolge des Klimawandels (z. B. signifikante Veränderungen in der atmosphärischen Zirkulation) sind dabei aber nicht berücksichtigt.

▪ **Flächenverluste.** Flächenverluste für die Biomasseproduktion können durch Bodendegradation (Erosion, Versalzung etc.) und durch zusätzlichen Flächenbedarf für nicht landwirtschaftliche Zwecke entstehen.

Insbesondere die – nur sehr schwer quantifizierbaren – Flächenverluste durch Bodendegradation können die Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktivität erheblich beeinflussen. Auch sind insbesondere in Asien und Afrika bereits erhebliche Flächen primär infolge von Wasser- und Winderosion degradiert

Abb. 9 | Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs an Nahrungsmitteln in unterschiedlichen Weltgegenden /FAO 2007/

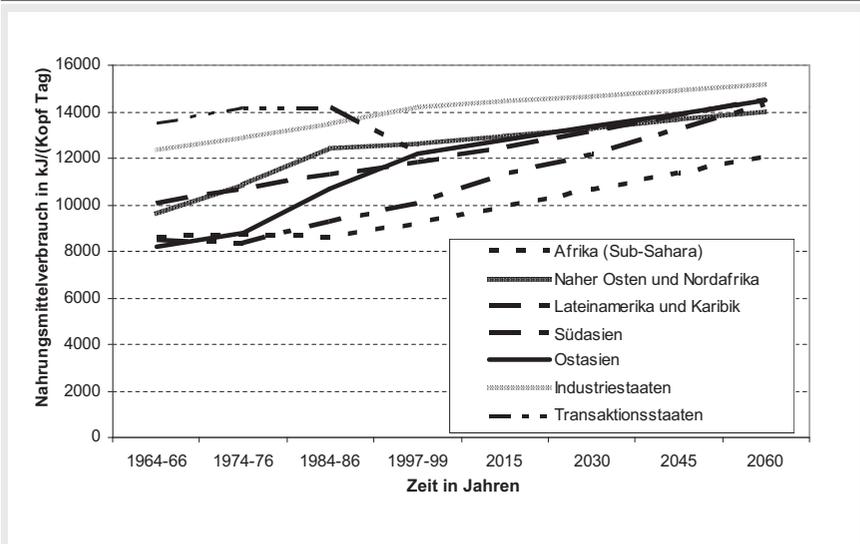
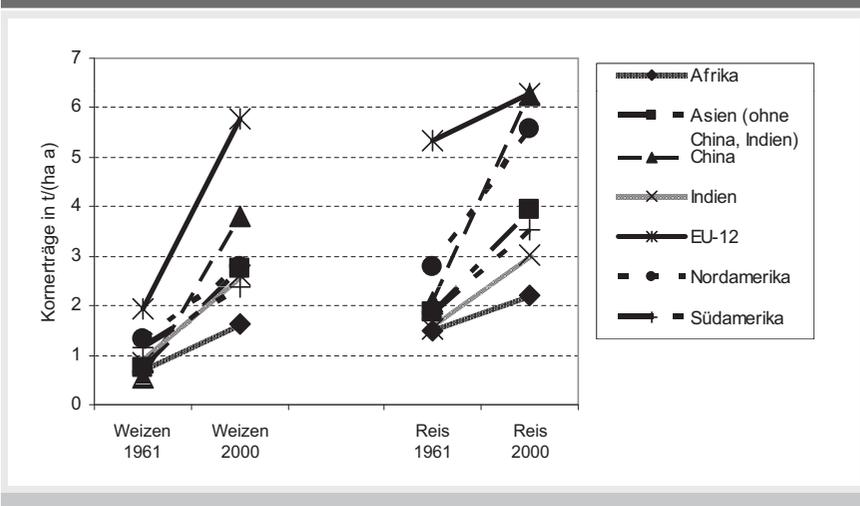


Abb. 10 | Entwicklung der flächenspezifischen Erträge ausgewählter Nahrungsmittel zwischen 1961 und 2000 in den verschiedenen Regionen der Welt /FAO 2006/



/Oldmann et al. 1991/. Schätzungen gehen davon aus, dass der jährliche Verlust an Ackerland weltweit bei 5 bis 12 Mio. ha liegt /Lal und Steward 1990/, /Kendall und Pimentel 1994/. Wesentlich wird die Flächendegradation auch durch die landwirtschaftliche Praxis beeinflusst, wobei Flächen mit geringeren Erträgen tendenziell mit einer stärkeren Degradation verbunden sind im Vergleich zu solchen mit höheren Erträgen. Zusammenfassend kann bei einer gegenwärtig weltweit landwirtschaftlich genutzten Fläche von rund 13 Mrd. ha ein Flächenverlust von 1 bis 5 % bis 2050 abgeschätzt werden. Unberücksichtigt bleibt dabei, dass in der Vergangenheit die landwirtschaftlich genutzte Fläche z. T. zugenommen hat /FAO 2003/; beispielsweise liegt im subsaharischen Afrika das jährliche Nutzflächenwachstum bei geschätzten 0,77 %. Diese Flächenausweitung geht jedoch vor allem auf Kosten von Waldflächen; deshalb bleiben diese zusätzlichen Flächen hier außerhalb der Betrachtung.

Flächenbedarf für nicht-landwirtschaftliche Zwecke entsteht z. B. durch einen zunehmenden Bedarf an Infrastrukturflächen (z. B. Siedlungsgebiete, Straßenflächen) oder durch Nutzungseinschränkungen z. B.

infolge von Naturschutzstrategien. Verglichen mit den anderen aufgezeigten Effekten ist dieser Einfluss jedoch gering /Fritsche et al. 2004/, /Thrän et al. 2006/ und wird hier mit einem Flächenverlust von 1 bis 4 % bis 2050 abgeschätzt /Döös und Shaw 1999/. In der Summe liegt damit der bis 2050 zu erwartende Verlust landwirtschaftlicher Flächen infolge derartiger Effekte bei 2 bis 9 %.

**Abbildung 11** zeigt eine Gesamtschau der diskutierten Einflussgrößen. Aus dem dargestellten Saldo zeigt sich, dass – je nach Entwicklung der Einzelparameter – der künftige Flächenbedarf für die Nahrungsmittelproduktion sowohl zunehmend als auch abnehmend sein kann. Unterstellt man näherungsweise eine gleichgerichtete Entwicklung der verschiedenen Einflussgrößen und in erster Näherung eine Unabhängigkeit der einzelnen Einflussparameter könnte bis 2050 ein gegenüber 2005 um 15 bis 30 % geringerer Flächenbedarf für die Nahrungsmittelproduktion gegeben sein; dies gilt aber nur dann, wenn die angenommenen züchterischen Erfolge erzielt und ein hoher standortangepasster technischer Stand in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion weltweit realisiert werden kann; und dies ist nicht nur abhängig vom tatsächlich in der Praxis erzielbaren Fortschritt bei Pflanzenzüchtung und Pflanzenproduktion, sondern auch eine Frage der Setzung der jeweiligen politischen Rahmenbedingungen und der entsprechenden ökonomischen Gegebenheiten. Die unter diesen

Bedingungen freisetzbare landwirtschaftliche Nutzfläche wäre dann für einen Energiepflanzenanbau verfügbar.

Wird ausgehend davon vereinfacht unterstellt, dass bis 2050 rund ein Fünftel der derzeit weltweit genutzten landwirtschaftlichen Nutzfläche für einen Energiepflanzenanbau verfügbar gemacht werden könnte und dass im weltweiten Durchschnitt – da eine Nahrungsmittel- im Vergleich zu einer Energiepflanzenproduktion tendenziell immer eine höhere Anbaupriorität haben dürfte und deshalb Energiepflanzen eher auf schlechteren Böden produziert werden würden – rund 7 t/(ha a) Biomasse geerntet werden könnten, entspricht dies einem maximalen Energiepflanzenpotenzial von knapp 310 EJ/a (2050) bzw. rund 152 EJ/a (2030). Aus globaler Sicht stellen damit – lassen sich die unterstellten Verbesserungspotenziale zumindest zum überwiegenden Teil auch tatsächlich erschließen – die Energiepflanzenpotenziale durchaus eine energiewirtschaftlich relevante Option dar, mit der substanziell zur Deckung der globalen Energienachfrage beigetragen werden könnte.

### 3.3 Fazit

Ausgehend von den gemachten Ausführungen können die folgenden wesentlichen Aussagen zusammengefasst werden.

- Weltweit sind energiewirtschaftlich relevante Potenziale an Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen organischen

Ursprungs verfügbar; sie werden auch zukünftig nutzbar sein. Näherungsweise wird hier von rund 66,4 EJ/a ausgegangen.

- Zusätzlich sind noch beachtliche Flächen für einen Energiepflanzenanbau verfügbar, die zukünftig trotz anderweitiger Flächenansprüche für agrarische und nicht-agrarische Zwecke tendenziell noch weiter zunehmen könnten infolge
  - besseren Pflanzenmaterials,
  - verbesserter standortabhängiger Bewirtschaftungsverfahren und -techniken,
  - höherer Motivation der landwirtschaftlichen Produzenten wegen einer wahrscheinlich global steigenden Nachfrage und damit einem potenziellen Preisanstieg.
- Damit ist in den kommenden Jahren von einer Zunahme der (landwirtschaftlichen) Biomassepotenziale auszugehen; sie könnten zusammengenommen auf etwa 218,4 EJ/a (2030) bzw. rund 376,4 EJ/a (2050) ansteigen (d. h. Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle sowie Energiepflanzen). Offen ist, inwieweit die Forstwirtschaft durch veränderte Bewirtschaftungskonzepte und eine weitergehende Nutzung von Naturwäldern den Biomassertrag steigern kann und will (oder muss) und damit zusätzlich Biomasse in einer erheblichen Größenordnung zur Verfügung stellen kann.

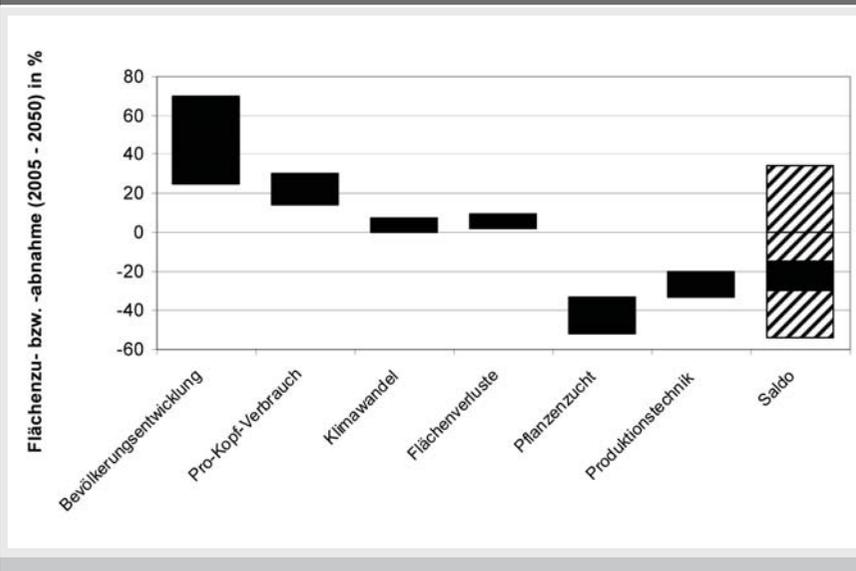
## 4. Biomassenutzung

Ziel der nachfolgenden Ausführungen ist eine Diskussion der weltweiten Biomassenutzung. Dazu werden sowohl der gegenwärtige Stand als auch mögliche zukünftige Entwicklungen diskutiert.

### 4.1 Stand

Vorliegende Schätzungen des weltweiten Biomasseeinsatzes schwanken erheblich. Die Bandbreite liegt zwischen rund 20 und deutlich über 60 EJ/a; z. T. finden sich in der Literatur auch noch davon abweichende Angaben (dies liegt darin begründet, dass Biomasse als ein i. Allg. nicht auf den klassischen kommerziellen Märkten gehandelter Energieträger sich einer verlässlichen statistischen Erhebung entzieht; deshalb basieren die vorliegenden Angaben auf mehr oder weniger aufwändigen Schätzungen). In den vorliegenden Nutzungsabschätzungen enthalten sind alle energetisch nutzbaren Biomassefraktionen (d. h. die Angaben beinhalten neben Holzkohle auch Brennholz, Dung, Land-

**Abb. 11 | Entwicklungskorridore unterschiedlicher Einflussfaktoren auf die Verfügbarkeit landwirtschaftlicher Nutzflächen bis 2050**



schaftspflegematerial, Waldrestholz und eine Vielzahl weiterer Organikfraktionen).

Wird die derzeit genutzte Biomasse getrennt nach Regionen analysiert, zeigt sich in Asien mit rund 28,5 EJ/a der weltweit mit Abstand größte Biomasseeinsatz; demnach wird hier mehr als die Hälfte der global als Energieträger eingesetzten Biomasse genutzt. In vielen asiatischen Ländern wird die tägliche Energienachfrage noch immer zu 20 bis 80 % mit Holz gedeckt. Allein in China stellen etwa ein Fünftel der weltweit eingesetzten biogenen Festbrennstoffe die einzige Energiequelle für über 800 Mio. Menschen sowie eine halbe Million ländlicher Gewerbebetriebe dar. Verglichen damit ist die Biomassenutzung zur Energienachfragedeckung in Afrika deutlich geringer und in den anderen dargestellten Regionen – ebenfalls im Vergleich zu Asien – eher unbedeutend. Trotzdem tragen auch in einigen afrikanischen Ländern südlich der Sahara biogene Festbrennstoffe z. T. mit über 50 % zur Deckung der Gesamtenergienachfrage bei. Zusammengenommen werden dieser Abschätzung zufolge derzeit damit weltweit rund 49 EJ/a an Biomasse als Energieträger eingesetzt.

Diese Biomasse wird zur Wärmebereitstellung (d. h. Kochen, Heizen), zur Stromerzeugung und zur Kraftstoffbereitstellung eingesetzt /Witt und Kaltschmitt 2007/.

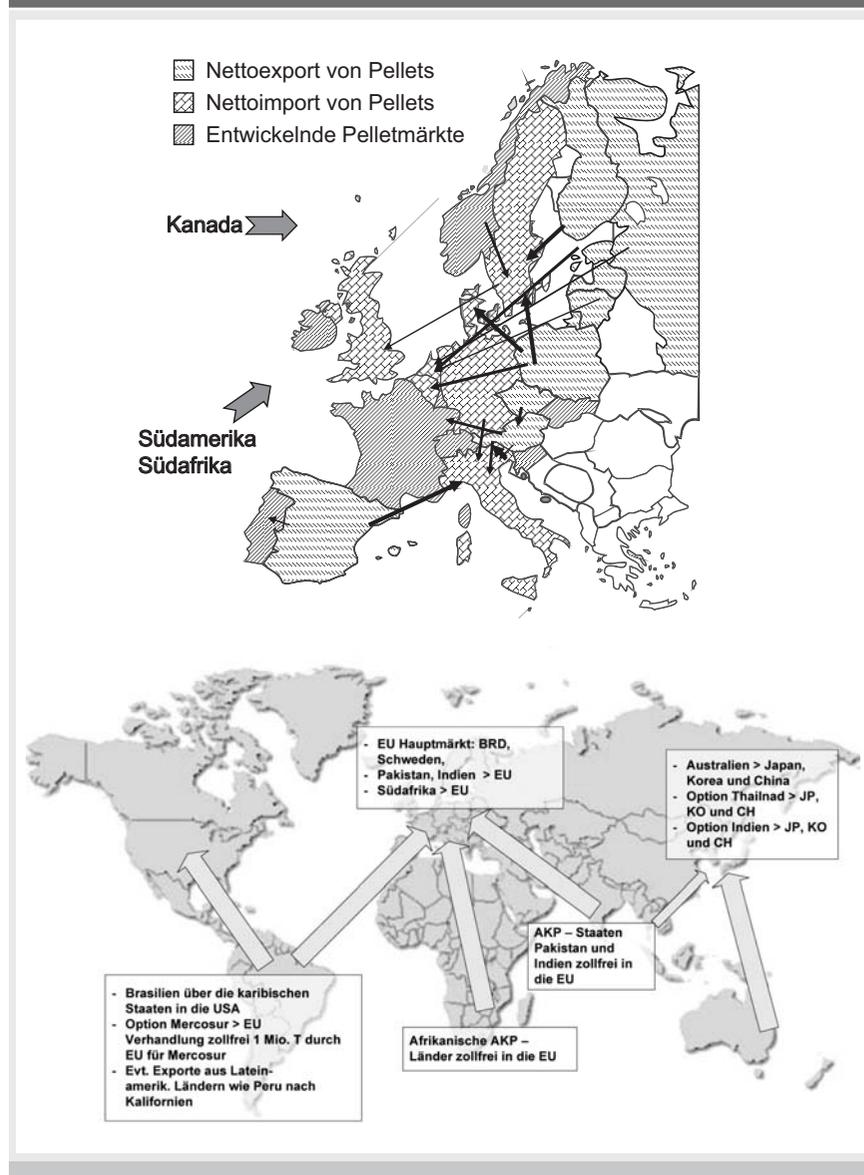
■ Werden durchschnittliche Umwandlungswirkungsgrade zugrunde gelegt, kann eine Nutzwärmebereitstellung von rund 13 EJ/a – bei jedoch erheblichen Unsicherheiten – abgeschätzt werden.

■ Weltweit werden netzgekoppelte Biomassekraftwerke zur Stromerzeugung mit einer installierten elektrischen Leistung von etwa 39 GW (2005) betrieben; davon sind etwa 50 % in Entwicklungsländern wie China (2 GW) und Indien (1 GW) vorhanden. Mit durchschnittlichen Volllaststunden zwischen 4 000 und 7 000 h/a ergibt sich daraus eine potenzielle Stromerzeugung zwischen 160 und 270 TWh/a. Wird näherungsweise unterstellt, dass die in Entwicklungsländern vorhandenen Kraftwerke ähnlich denen in den OECD-Ländern betrieben werden (2005: 18,3 GW bzw. 103 TWh; davon etwa 60 % aus KWK), errechnet sich eine mittlere globale Stromerzeugung aus fester Biomasse von 220 TWh. Oft werden auch Kraftwerke, welche u. a. die organische Müllfraktion nutzen, zur Biomassenutzung gezählt.

In den OECD-Staaten werden derartige Anlagen mit einer elektrischen Leistung von rund 7,2 GW betrieben, mit denen 2005 rund 21,3 TWh nur aus dem Organikanteil im Müll erzeugt wurden (davon knapp 40 % aus KWK). Hinzu kommt noch Biogas zur Stromerzeugung aus organischen Rückständen der Landwirtschaft und Industrie, aus Abfällen der Abwasserreinigung (Klärgas) sowie aus abgelagerten organischen Siedlungsabfällen (d. h. Depo-niegas). In den OECD-Staaten wurden 2005 in Biogasanlagen bei einer installierten elektrischen Leistung von 3,4 GW etwa 24,7 TWh Strom erzeugt.

■ Bioethanol als Kraftstoff wird aus zucker- oder stärkehaltigen Biomassen (z. B. Zuckerrohr, Mais) produziert. 2005 wurden weltweit rund 33,5 Mrd. l Bioethanol für den Kraftstoffsektor erzeugt (710 PJ/a). Bioethanol kommt weltweit in mindestens 20 Ländern auf 5 Kontinenten im Kraftstoffsektor zum Einsatz. Allein Brasilien und die USA decken jedoch jeweils rund 45 % des Weltmarktes ab, gefolgt von China mit 3 % (d. h. 1 Mrd. l). Hinzu kommt noch die Biodieselproduktion, die weltweit auf etwa 4,0 Mrd. l (2005) bzw. 140 PJ/a geschätzt wird.

Abb. 12 | Beispiele für Handelsströme von Sekundärenergieträgern aus Biomasse (oben: europäischer Pelletmarkt Stand 2005; unten: globaler Bioethanolmarkt 2005) /Witt 2007, Weber 2007/



#### 4.2 Entwicklung

Zukünftig ist davon auszugehen, dass Biomasse einen noch weitergehenden Beitrag zur Deckung der globalen Energienachfrage leisten müssen. Wird näherungsweise ein mittlerer weltweiter jährlicher Zuwachs der Biomassenutzung zwischen 2 und 3 % unterstellt, entspricht dies bis zum Jahr 2020 bzw. 2030 einer Biomassenachfrage zwischen 65 und 74 EJ bzw. 79 und 100 EJ. Dies entspricht einer Zunahme um den Faktor 1,3 bis 1,5 (2020) bzw. 1,6 bis 2 (2030). Da diese Biomassemehrnutzung sich regional gesehen – aufgrund der unterschiedlichen politischen Zielvorgaben, der variierenden lokalen Gegebenheiten und der verschiedenartigen Entwicklung der Energiemärkte und Energiesystemstrukturen – unterschiedlich entwickeln wird, ist zu erwarten, dass sich globale Biomassemärkte herausbilden werden, um die regionalen Angebots- und Nachfrageungleichgewichte auszugleichen. Diese Entwicklung internationaler Biomassemärkte gilt insbesondere für standardisierte bzw. genormte Sekundärenergieträger, die einfach transportiert und damit handelbar sind. Erste derartige Tendenzen – bei einem deutlich steigenden Marktvolumen – sind bereits heute erkennbar (Abb. 12).

#### 4.3 Fazit

Ausgehend von den gemachten Ausführungen können die wesentlichen Aussagen wie folgt zusammengefasst werden.

- Nach Biomasse – und damit nach den daraus produzierten Sekundär- bzw. Endenergieträgern – besteht heute bereits global gesehen eine „gewaltige“ Nachfrage; Biomasse trägt heute energiewirtschaftlich relevant zur Deckung der weltweiten Energienachfrage bei.

- Zukünftig wird der Beitrag der Biomasse zur Deckung der Energienachfrage – auch vor dem Hintergrund hoher Energiepreise – deutlich steigen. Dabei wird es zunehmend zu einer Diversifizierung der aus Biomasse in den Markt gebrachten Sekundärenergieträger kommen; insbesondere von Biokraftstoffen ist zu erwarten, dass sie zukünftig an Bedeutung gewinnen werden.

- Die Bioenergieträger-Märkte werden zunehmend globalisiert (d. h. Energieträger aus nachwachsenden Rohstoffen werden zunehmend nicht nur regional, sondern global gehandelt; z. B. Pellets, Bioethanol).

- Derartige Märkte für Energieträger aus Biomasse sind bereits heute aus volkswirtschaftlicher Sicht bedeutend und werden – setzt sich die gegenwärtige Entwicklung fort – in den kommenden Jahren weiter an Bedeutung gewinnen.

### 5. Vergleich

Ziel der nachfolgenden Diskussionen ist ein Vergleich der Biomassenutzung bzw. der -potenziale mit der Energienachfrage nach dem gegenwärtigen Stand und der möglichen zukünftigen Entwicklung.

#### 5.1 Stand

Die regional vorhandenen technischen Energieträgerpotenziale, deren gegenwärtige Nutzung sowie der Primärenergieeinsatz an fossilen Energieträgern (einschließlich Kernenergie) und an Wasserkraft ist in **Tabelle 2** dargestellt. Zusätzlich sind die jeweiligen Anteile angegeben.

Bei einem Vergleich der vorhandenen Potenziale mit der gegenwärtigen Nutzung wird deutlich, dass – mit Ausnahme

von Asien – in allen betrachteten Regionen die verfügbaren Potenziale bisher nur teilweise genutzt werden. In Asien übersteigt derzeit jedoch die Nutzung die vorhandenen Potenziale; dies liegt – auch aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte – an der traditionell sehr weitgehenden Biomassenutzung (d. h. nicht nachhaltige Nutzung der vorhandenen Biomasseressourcen). Im Weltdurchschnitt liegt der Anteil der bereits genutzten (ca. 49 EJ/a) an den hier quantifizierten derzeit verfügbaren technischen Biomassepotenzialen (ca. 104 EJ/a) bei rund 47 %. Einer weitergehenden Biomassenutzung steht damit seitens der vorhandenen Potenziale nichts entgegen; die einzige Ausnahme bilden die asiatischen Staaten (ohne ehemalige UdSSR). Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass es unabhängig davon regional und lokal sehr wohl zu Versorgungsengpässen bzw. regional begrenzten Übernutzungen der verfügbaren Biomasseressource kommen kann.

Die Gegenüberstellung zwischen der Biomassenutzung (ca. 49 EJ/a) und dem Energieeinsatz an fossilen Energieträgern (einschließlich Kernenergie) und an Wasserkraft (ca. 455,5 EJ/a) zeigt, dass der energetische Biomasseeinsatz den Energieverbrauch an fossilen Energieträgern (einschließlich Kernenergie) und an Wasserkraft in keiner der untersuchten Regionen übersteigt. Damit trägt Biomasse weltweit insgesamt derzeit nur mit rund 11 % des Energieträgereinsatzes an fossilen Energieträgern (einschließlich Kernenergie) und an Wasserkraft zur Deckung der Energienachfrage bei – jedoch bei großen Unterschieden zwischen einzelnen Kontinenten und Regionen. Während beispielsweise in Afrika Biomasse mit drei Viertel des Energieeinsatzes an fossilen Energie-

**Tab. 2 | Technische Potenziale, Biomassenutzung, fossiler Primärenergieverbrauch (einschl. Kernenergie) und Wasserkraftnutzung sowie die entsprechenden Anteile nach Regionen (Stand 2006)**

	Nordamerika	Lateinamerika und Karibik	Asien**	Afrika	Europa und Eurasien	Mittlerer Osten	Summe
Potenziale in EJ/a	19,9	21,5	21,4	21,4	18,9	0,7	103,8
Nutzung in EJ/a	3,8	3,2	28,5	10,2	3,2	0,1	49,0
PEV* in EJ/a	117,4	22,1	152,5	13,6	126,7	23,2	455,5
Nutzung/Potenzial in %	19	15	133	48	17	14	47
Nutzung/PEV* in %	3	15	19	75	2	<1	11
Potenzial/PEV* in %	17	97	14	157	15	3	23

PEV – Primärenergieverbrauch; \* Primärenergieverbrauch ohne Bioenergie (d. h. ausschließlich Erdöl, Erdgas, Kohlen, Kernenergie und Wasserkraft); \*\* Asien einschließlich pazifischer Raum; hier übersteigt die derzeitige Nutzung die vorhandenen Potenziale (d. h. in Asien wird momentan mehr Biomasse genutzt, als nachwächst; folglich wird Biomasse nicht nachhaltig genutzt)

trägern (einschließlich Kernenergie) und an Wasserkraft zur Energienachfragedeckung beiträgt, liegt ihr Anteil in Nordamerika bzw. in Europa lediglich bei rund 2 bis 3 %.

Der Beitrag der insgesamt vorhandenen und aus technischer Sicht heute nutzbaren Biomassepotenziale (ca. 104 EJ/a) zur Deckung der gegenwärtigen Energienachfrage (ca. 455,5 EJ/a) liegt weltweit bei rund 23 %. Es ist jedoch regional sehr uneinheitlich. Beispielsweise könnte in Lateinamerika und der Karibik sowie in Afrika der derzeitige Verbrauch an fossilen Primärenergieträgern (einschließlich Kernenergie) und an Wasserkraft theoretisch durch die verfügbaren Biomassepotenziale gedeckt werden. In allen anderen betrachteten Gebieten übersteigt der Energieeinsatz an fossilen Energieträgern (einschließlich Kernenergie) und an Wasserkraft die Biomassepotenziale deutlich.

## 5.2 Entwicklung

Diese Relationen werden sich zukünftig verändern. Entsprechend der diskutierten Zunahme könnte der fossile Primärenergieverbrauch von rund 456 EJ in 2006 auf etwa 670 EJ in 2030 ansteigen (Kapitel 2). Parallel dazu ist den ausgeführten Überlegungen zufolge bei der Biomasse von einer Zunahme der energetischen Nutzung von rund 49 EJ in 2006 auf etwa 79 EJ in 2030 auszugehen (Kapitel 4); in dem gleichen Zeitraum könnten aber die energetisch nutzbaren Biomassepotenziale von gegenwärtig rund 104 EJ/a auf etwa 218 EJ in 2030 und 376 EJ in 2050 unter den unterstellten Rahmenbedingungen zunehmen (Kapitel 3). Damit könnte – diesen Überlegungen zufolge – der Anteil der Biomasse an der gesamten Energienachfrage von gegenwärtig maximal 11 % auf knapp 12 % – steigen. Gleichzeitig sinkt die Ausnutzung der weltweit vorhandenen Biomassepotenziale von rund 47 % auf etwa 36 %. Einer noch weitergehenden Biomassenutzung würde also aus Sicht der vorhandenen Potenziale nichts im Wege stehen – aber nur unter der Maßgabe, dass es auch gelingt, durch entsprechende Maßnahmen die unterstellten Zuwächse bei der landwirtschaftlichen Primärproduktion in der Praxis zu erreichen; dies gilt auch vor dem Hintergrund der bisher nicht berücksichtigten weitergehenden Beiträge fortwirtschaftlich erzeugter Biomasse im globalen Energiesystem.

## 5.3 Fazit

Die Ausführungen dieses Kapitels können wie folgt zusammengefasst werden.

- Die vorhandenen Biomassepotenziale werden weltweit bisher zu weniger als der Hälfte genutzt. Daran wird sich auch zukünftig wenig ändern; tendenziell wird die Potenzialausnutzung – lässt sich der unterstellte Potenzialanstieg auch in der Praxis darstellen – eher zurückgehen, da das Potenzial bei den unterstellten Rahmenbedingungen schneller wie die Nachfrage zunehmen könnte.

- Der Beitrag der Biomasse im globalen Energiesystem ist weltweit heute mit maximal knapp 11 % beachtlich. Er wird absolut zukünftig weiter deutlich zunehmen. Relativ jedoch – und damit bezogen auf die ebenfalls deutlich ansteigenden Größenordnungen des gesamten weltweiten Energiesystems – wird der weltweite Beitrag der Biomasse an der Energieversorgung im Mittel im Bereich zwischen 10 und 15 % bleiben; er wird sich damit aller Voraussicht nach nicht signifikant verändern.

- Heute könnten mit dem vorhandenen Biomassepotenzial maximal zwischen 20 und 25 % der Nachfrage nach fossiler Primärenergie (einschl. Kernkraft) und Wasserkraft gedeckt werden. Dieser Anteil wird – den diskutierten potenziellen Entwicklungen zufolge – zukünftig – lassen sich die unterstellten Entwicklungen auch in der Praxis umsetzen – leicht zunehmen und könnte bis zum Jahr 2030 etwa 30 bis 35 % ansteigen.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Ausführungen ist es, die Möglichkeiten und Grenzen der energetischen Biomassenutzung im Kontext des globalen Energiesystems zu diskutieren. Die gemachten Aussagen können wie folgt zusammengefasst werden.

- Das globale Energiesystem ist „gewaltig“ und wird zukünftig noch merklich weiter wachsen. Es wird primär durch fossile Energieträger gespeist, die aufgrund der großen noch vorhandenen Reserven und Ressourcen auch zukünftig – wenn auch wahrscheinlich zu im Durchschnitt (deutlich) höheren Preisen – zur Verfügung stehen.

- Weltweit sind beachtliche Biomassepotenziale vorhanden, die – werden Ener-

giepflanzen berücksichtigt – energiewirtschaftlich relevant sind und im Bereich von 20 bis 25 % des gegenwärtigen fossilen Primärenergieverbrauchs liegen. Diese Biomassepotenziale werden zukünftig zunehmen; dies gilt aber primär für Energiepflanzen und weniger für Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle. Voraussetzung für diesen Potenzialanstieg ist aber die forcierte Verfügbarmachung verbesserten Pflanzenmaterials, das nach westlichem Produktionsstandard standortabhängig nachhaltig angebaut wird.

- Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle werden bereits weitgehend und Energiepflanzen eingeschränkter genutzt; weltweit tragen diese Fraktionen mit knapp 50 EJ zur Deckung der Energienachfrage primär in Entwicklungsländern bei. Auch zukünftig werden mehr Bioenergieträger zur Deckung der Wärme-, Strom- und Kraftstoffnachfrage genutzt werden; dazu werden sich aufgrund der regionalen Ungleichgewichte zwischen Angebot und Nachfrage vermehrt internationale Handelsströme sowohl für (primäre) Agrar- und Forstprodukte als auch für Bioenergieträger auf sehr unterschiedlichen Veredlungsstufen (z. B. Pellets, Bioethanol) herausbilden.

Damit Biomasse auch zukünftig verstärkt zur Deckung der globalen Energienachfrage beitragen und sukzessive mehr fossile Energieträger ersetzen kann – und damit die aufgezeigte Entwicklung auch in die Praxis überführt werden kann, müssen die folgenden Herausforderungen gemeistert werden:

- Landwirtschaft: verbessertes Pflanzenmaterial und optimierte standortabhängige Pflanzenproduktion
- Forstwirtschaft: nachhaltige Konzepte für einen höheren Masseertrag
- Ressourcenverfügbarkeit: Erarbeitung von Lösungsstrategien zur friktionsfreien parallelen Bedienung der Märkte für Lebens- und Futtermittel einerseits sowie zur stofflichen und energetischen Nutzung andererseits und Entwicklung globaler Märkte für Bioenergieträger
- Bereitstellungstechnologien: effizientere Konversionsanlagen und Wandlungspfade zur Energieträgerbereitstellung
- Anwendung: deutliche Verbesserung der Effizienz der Endnutzungstechnologien

## Literatur

- BP 2007 BP (Hrsg.): Statistical Review of World Energy, BP, UK, 2007
- EWI/Prognos Energiereport IV 2005 BMWi (Hrsg.): EWI/Prognos-Studie Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030; BMWi, Berlin, 2005
- IE 2007 IE (Hrsg.): persönliche Mitteilung, IE, Leipzig, 2007
- Kaltschmitt und Hartmann 2001 Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse; Springer, Berlin, Heidelberg, 2001
- Smeets et al. 2004 Smeets, E.; Faaij, A.; Lewandowski, I.: A quickscan of global bio-energy potentials to 2050. An analysis of the regional availability of biomass resources for export in relation to the underlying factors. Report NWS-E\_2004-109, University of Utrecht, Utrecht, Niederlande, 2004 (ISBN 90-393-3909-0)
- UNEP 2004 UNPD (Hrsg.): World Population Prospects – The 2004 revision – highlights. United Nations Population Division, New York, USA, 2004
- KTBL 2005 KTBL (Hrsg.): Faustzahlen für die Landwirtschaft; Landwirtschaftsverlag, Münster, 2005, 13. Auflage
- FAO 2003 FAO (Hrsg.): World Agriculture towards 2015/2030, An FAO perspective; Earthscan Publications Ltd, London, UK, 2003
- FAO 2006 FAO (Hrsg.): Yield of Crop Land and Area Planted for Crops, FAO Database; [www.historylink101.com/lessons/farm-city.htm](http://www.historylink101.com/lessons/farm-city.htm)
- FAO 2007 FAO (Hrsg.): FAO Database; [www.fao.org](http://www.fao.org)
- Döös und Shaw 1999 Döös, B. R.; Shaw, R.: Can we predict the future food production? A sensitive analysis; Global Environmental Change, Vol. 9(1999), S. 261–283
- Oldmann et al. 1991 Oldmann, L.R. et al.: The global extent of soil degradation. In: Dooge, J.C.I.; Goodman, G.T., la Rivière, J.W.M. (Eds.): An Agenda of Science for Environment and Development into the 21st Century; Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1991, S.79–89
- Lal und Steward 1990 Lal, R.; Steward, B.A.: Soil Degradation; Springer, New York, USA, 1990
- Kendall und Pimentel 1994/ Kendall, H.W.; Pimentel, D.: Constrains on the expansion of the global food supply; Ambio 23(1), S. 198–205 (1994)
- Fritsche et al. 2004 Fritsche, U.R. u. a.: Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, 2004
- Thrän et al. 2006 Thrän, D. et al.: Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext – Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, 2006
- Witt und Kaltschmitt 2007 Witt, J.; Kaltschmitt, M.: Erneuerbare Energien – Stand 2006 weltweit und in Europa; BWK 59(2007), 1/2, S. 52–63
- Witt 2007 Witt, J.: Persönliche Mitteilung, Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig, 2007
- Weber 2007 Weber, A.: Persönliche Mitteilung, Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig, 2007