

Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland

Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energieversorgung

- Anhang -

1. Stand der Bioenergienutzung und wirtschaftliche Bedeutung	2
2. Potenziale der Bioenergienutzung	6
2.1 Potenziale in Deutschland.....	6
2.2 Globale Biomassepotenziale	11
2.3 Nutzungskonkurrenzen	12
3. Stand der staatlichen Unterstützung	15
4. Optionen der Bioenergienutzung.....	20
4.1 Wärme aus Biomasse	20
4.2 Strom aus Biomasse	21
4.3 Biokraftstoffe	25
5. Bewertung der Bioenergienutzung	27
5.1 Bewertungskriterien.....	27
5.2 Wärme aus Biomasse	31
5.3 Strom aus Biomasse	33
5.4 Biokraftstoffe	35
5.5 Vergleichende Bewertung.....	36
6. Quellen.....	40

1. Stand der Bioenergienutzung und wirtschaftliche Bedeutung

In Deutschland wurden im Jahr 2007 ca. 13.842 Petajoule (PJ) Energie verbraucht. Etwa die Hälfte des Primärenergiebedarfs entfiel auf den Wärmebereich, gefolgt vom Kraftstoffbereich und dem Strombereich. Insgesamt entspricht dies umgerechnet dem Energieinhalt von ca. 400 Mrd. Liter Erdöl und somit fast 5.000 Liter Erdöl pro Einwohner. Der Anteil der Energieträger im Jahr 2007 ist in Abbildung 1 dargestellt. Der Primärenergieverbrauch beruhte im Jahr 2007 zu 93,3 % auf fossilen bzw. nuklearen Rohstoffen und zu 6,7 % auf erneuerbaren Energien.

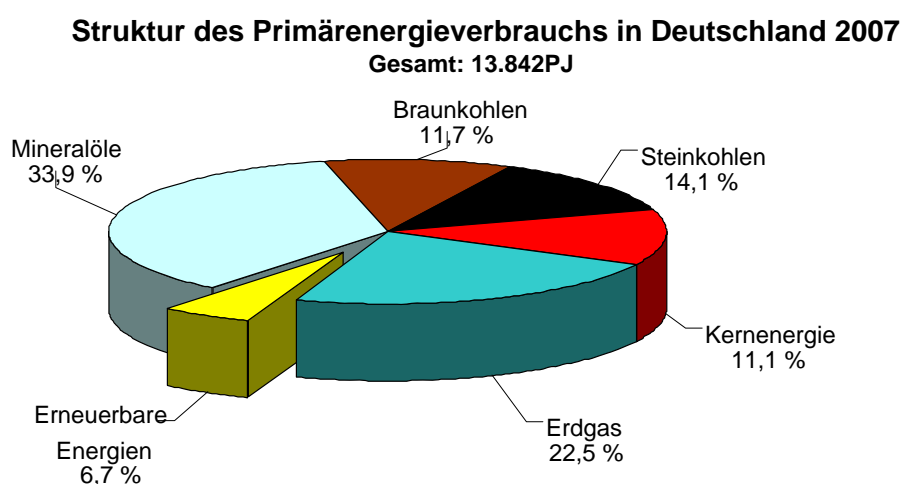


Abbildung 1: Anteil der Energieträger am Primärenergieverbrauch (Deutschland, 2007)

Auch wenn der Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch bisher noch relativ gering ist, konnten die erneuerbaren Energien – obwohl in den meisten Anwendungsbereichen noch nicht wettbewerbsfähig – in den vergangenen Jahren aufgrund der guten Förderbedingungen (z. B. durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz und das Marktanzreizprogramm für Erneuerbare Energien) ein deutliches Wachstum verzeichnen. Ihr Anteil am Primärenergieverbrauch steigerte sich von 2,6 % im Jahr 2000 auf 6,7 % im Jahr 2007.

Biomasse stellt mit 5,1 % am Primärenergieverbrauch den bedeutendsten erneuerbaren Energieträger in Deutschland dar. Bezogen auf die Endenergie der gesamten Bioenergien¹ werden etwa 15 % Strom, 55 % Wärme und 30 % Kraftstoffe bereitgestellt. Stellt man diese Werte in

¹ feste, flüssige, gasförmige Biomasse, Deponie- und Klärgas, biogener Anteil des Abfalls

Relation zu der Gesamtheit aller erneuerbaren Energien in Deutschland, so ergibt sich ein Bioenergieanteil am Endenergieverbrauch aller erneuerbaren Energien von 69 % (Abb. 2).

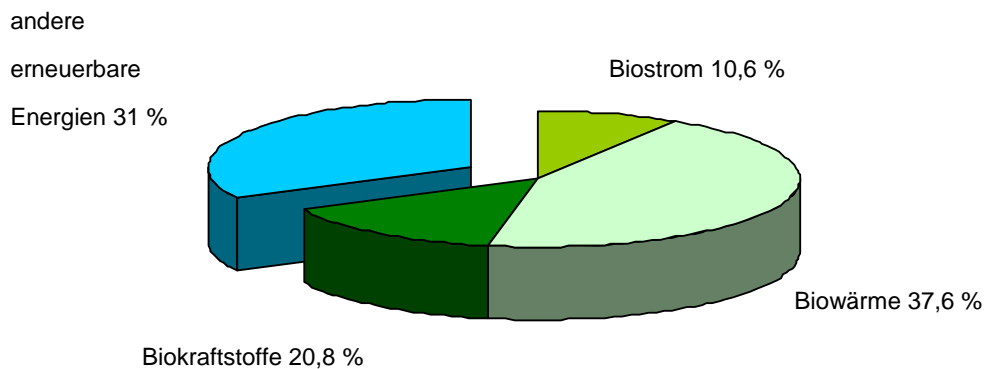


Abbildung 2: Endenergiebeiträge der Bioenergie und aller anderen erneuerbaren Energien (Deutschland, 2007)

Wärme

Die aus Biomasse produzierte Wärme entstammt zu über 91 % aus biogenen Festbrennstoffen (überwiegend Holz), die restlichen 9 % setzen sich aus flüssiger (Klärschlamm, Pflanzenöle) und gasförmiger Biomasse (Biogas, Klärgas) sowie aus den biogenen Bestandteilen des Abfalls zusammen. Der gesamte Anteil der Wärme aus Biomasse am Wärmeendenergieverbrauch belief sich 2007 auf 6,2 %.

feste Biomasse, einschl.
biogener Abfall 90,6 %

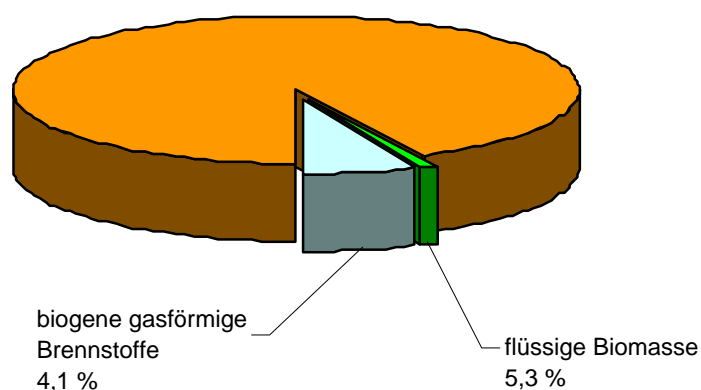


Abbildung 3: Wärmeerzeugung aus Biomasse bezogen auf die Endenergie EE, Bereich Wärme (Deutschland, 2007)

Die Wärme wird insbesondere durch den zunehmenden Einsatz der Stückholznutzung und durch den Ausbau der Holzpelletnutzung im kleinen Leistungsbereich und durch die Wärmeauskopplung bei der Verstromung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gewonnen. Die Anzahl an Anlagen zur Nutzung von Holzbrennstoffen hat in den letzten Jahren – nach jahrelang geringen Veränderungen – deutlich zugenommen. Ebenso wächst der spezifische Brennstoffbedarf je Anlage, da vorhandene Anlagen zur Holzverbrennung in Form von Einzelöfen und Kaminen verstärkt genutzt werden.

Unabhängig von staatlicher Förderung ist auch im privaten Sektor eine deutliche Steigerung der Holzverwendung zu verzeichnen. Gemäß einer Haushaltsbefragung (Mantau, 2006) verfügen 17 % der deutschen Haushalte über eine Möglichkeit der Holzverbrennung zur Wärmeerzeugung. Nach dieser Studie werden in Privathaushalten jährlich rd. 14 Mio. m³ Waldholz, was ungefähr einem Drittel des jährlichen Holzeinschlages entspricht, zur Wärmeerzeugung genutzt. Seit dem Jahr 2000 ist die private Waldholznutzung, vermutlich bedingt durch den gestiegenen Ölpreis, um 60-80 % gestiegen. Auch Landschaftspflege-/Gartenholz und Resthölzer aus der Holzbe- und -verarbeitung werden verstärkt eingesetzt.

Strom

Bedingt durch die Förderung im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) lag im Jahr 2007 der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bei 14,2 %, wozu die Biomasse mit über einem Viertel beitrug. Als Rohstoff wurde in erster Linie feste und gasförmige Biomasse eingesetzt. Zusätzlich ist seit wenigen Jahren ein stark zunehmender Einsatz flüssiger Biomassen festzustellen. Wurden in 2005 erst 3 % flüssige Biomassen zur Stromerzeugung verwendet, waren es 2007 schon rund 11 %. Insgesamt gesehen hat es in den vergangenen Jahren einen erheblichen Zuwachs der Anlagenzahl und -leistung gegeben. Lag die Stromerzeugung aus Biomasse im Jahr 2000 noch bei 4,1 TWh, so hatte sie sich bis 2007 auf 23,8 TWh stark gesteigert.

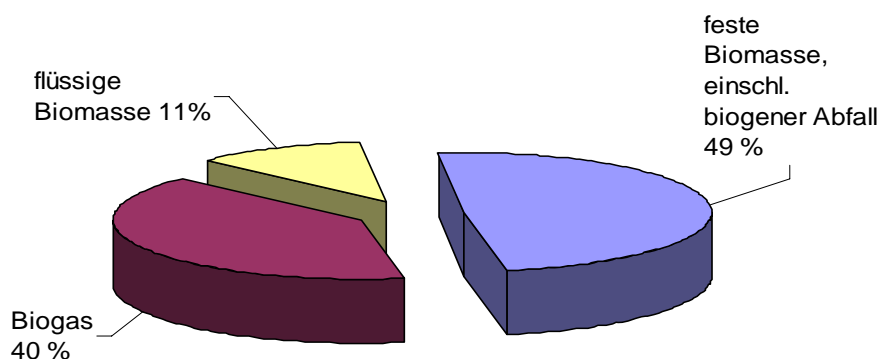


Abbildung 4: Stromerzeugung aus der gesamten Biomasse (Deutschland, 2007)

Kraftstoffe

Im Jahr 2007 betrug der Biokraftstoffanteil am gesamten Kraftstoffverbrauch in Deutschland rund 7,3 % bezogen auf den Endenergiegehalt. Damit wurde bereits das für das Jahr 2010 angestrebte EU-Ziel in Höhe von 5,75 % deutlich übertroffen.

Aufgeschlüsselt nach den verschiedenen Biokraftstoffsorten erreichte Biodiesel im Jahr 2007 erneut das mit Abstand größte Marktpotenzial, wobei auch bei Bioethanol die Verwendung zunimmt.

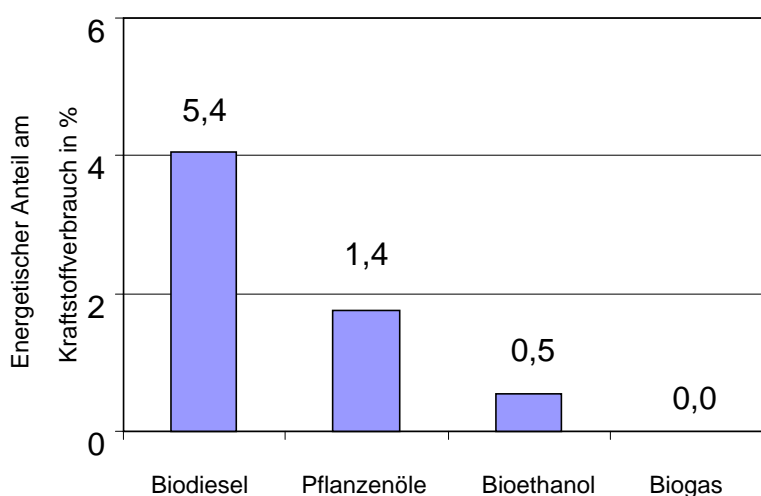


Abbildung 5: Anteil von Biokraftstoffen am Gesamtkraftstoffverbrauch (Deutschland, 2007)

Wirtschaftliche Bedeutung

Im Jahre 2007 waren in Deutschland im Bereich der erneuerbaren Energien ca. 250.000 Menschen tätig. Ca. 96.100 Menschen sind alleine im Bereich der Bioenergienutzung beschäftigt. Gegenüber 2004 (rund 160.000 Beschäftigte) ist das ein Plus von etwa 55 %. Diese sind in der land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffproduktion und im neu aufgebauten Wirtschaftszweig der Verarbeitung von Biomasse zu Energieträgern wie Pellets, Hackschnitzel oder Biogas tätig.¹

Die hiervon positiv beeinflussten Branchen sind in erster Linie die Agrartechnik und der Anlagenbau. Insgesamt wurde im Jahre 2007 in der gesamten Bioenergiebranche ein Umsatz von 10,23 Mrd. Euro erzielt. Dieser Betrag teilt sich in etwa zu einem Viertel auf die Planung und

¹ Quelle: <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/41023/40289/>

Errichtung von Anlagen und zu etwa dreiviertel auf den Betrieb von Anlagen auf. Beispielhaft für die volkswirtschaftliche Bedeutung sei genannt:

- In Deutschland waren 2007 (ohne Klär- und Deponiegasanlagen) 3.764 Biogasanlagen zur Stromerzeugung mit einer elektrischen Gesamtleistung von ca. 1.232 MW in Betrieb.
- Deutschland hat sich mit Produktionskapazitäten in Höhe von ca. 4,4 Mio. Tonnen im Jahr 2007 zum mit Abstand weltgrößten Biodieselproduzenten entwickelt.
- Zudem befindet sich die erste kommerzielle Pilotanlage zur Umwandlung von Biomasse in synthetische Kraftstoffe in Sachsen in der Erprobung.
- Die Produktionskapazitäten für Bioethanol sind in Deutschland auf ca. 850.000 t gestiegen.

Schon heute wird ein Teil der in Deutschland genutzten Biomasse auf dem Weltmarkt erworben. 2006 waren dies bereits schätzungsweise

- 600.000 t Biodiesel (ca. 25 % des Gesamtverbrauchs) zuzüglich 30 % der Rohstoffe für die heimische Biodieselerzeugung,
- 670.000 t von insgesamt 1 Mio. t reinem Pflanzenöl für Kraftstoffzwecke,

Dieser Markt wird sich weiter entwickeln und für die deutschen Importe an Bedeutung gewinnen. Gleichzeitig wachsen die Märkte im Ausland für den Export deutscher Technologien.

2. Potenziale der Bioenergienutzung

2.1 Potenziale in Deutschland

Insgesamt verfügt Deutschland über 17 Mio. ha landwirtschaftlich genutzte Fläche, die sich in 12 Mio. ha Ackerfläche und 5 Mio. ha Grünlandfläche aufteilt, und über ca. 11 Mio. ha Waldfläche. Im Jahr 2007 wurden für den Energiepflanzenanbau ca. 1,7 Mio. ha verwendet. Energiepflanzen, hier in erster Linie Raps (ca. 1,1 Mio. ha), wurden hauptsächlich zur Biokraftstoffproduktion verwendet. Holz wurde dagegen primär zur Wärmeerzeugung, aber auch zur Stromerzeugung in größeren Feuerungseinheiten eingesetzt. Des Weiteren wurden biogene Reststoffe über Biogasanlagen zur Verstromung eingesetzt.

Landwirtschaft

Das Potenzial hängt in hohem Maße von den zur Verfügung stehenden Flächen, den verwendeten Pflanzen und der Art der Biomassenutzung ab. Daneben sind die möglichen zu erwartenden Effizienzsteigerungen im Anbau sowie die Entwicklung der weltweiten Märkte für Agrarprodukte und Agrarrohstoffe von Bedeutung.

Bei der Ackerfläche gehen aktuelle Studien bei einem gleich bleibend hohen Selbstversorgungsgrad mit Nahrungs- und Futtermitteln von einer langfristig für die stoffliche und energetische Nutzung der Biomasse verfügbaren Fläche von 2,5-4 Mio. ha aus. Die Studien berücksichtigen nicht den Einfluss einer zu erwartenden höheren Nachfrage durch das Wachstum der Weltbevölkerung, die steigende Nachfrage nach qualitativ hochwertigen Lebensmitteln aus dem Ausland (z. B. Asien) und inwieweit die deutsche Landwirtschaft zur Deckung dieser Nachfrage beitragen könnte. Das Flächenpotenzial entsteht vor allem durch Steigerung der Flächenproduktivität und agrarpolitische Änderungen. Aktuell werden etwa 280.000 ha für den Anbau von Biomasse für die stoffliche Nutzung genutzt. Es wird geschätzt, dass diese Fläche bis 2020 auf etwa 500.000 ha ansteigen wird. Unter Abzug dieser maximalen Fläche für die stoffliche Nutzung und unter der Annahme von Brutto-Biomasseflächenerträgen von 180 bis 230 GJ/ha errechnet sich ein Gesamtenergieertrag von 360-800 PJ pro Jahr, der für die energetische Nutzung zur Verfügung steht.

Grundsätzlich ist auch der Aufwuchs auf Grünland energetisch verwertbar. Da zukünftig die landwirtschaftliche Grünlandnutzung mit Viehhaltung tendenziell eher abnehmen dürfte, könnte sich durch eine energetische Nutzung eine weitere Nutzungsalternative eröffnen. Welcher Anteil der ca. 5 Mio. ha Grünland dafür zur Verfügung stehen wird, ist schwer abschätzbar. Geht man von einem durchschnittlichen Grünlandertrag aus, so stehen etwa 100 PJ¹ bei einer angenommenen nutzbaren Fläche von 1 Mio. ha zur Verfügung.

Forstwirtschaft

In Deutschland ist die Waldwirtschaft nach der Landwirtschaft die flächenmäßig bedeutendste Landnutzungsform. Nach den Ergebnissen der zweiten Bundeswaldinventur (Stichjahr 2002) haben sich Holzvorräte in Höhe von rd. 3,4 Mrd. m³ aufgebaut. Für eine wirtschaftliche Holznutzung steht jedoch nicht der gesamte Zuwachs zur Verfügung, da auch Aspekte des nachhaltigen Nährstoffhaushaltes (z. B. Humusbildung) und der tatsächlichen Verwertbarkeit (Zugänglichkeit, Verwertungsinteresse) zu berücksichtigen sind. Die Bundeswaldinventur weist für die Vergangenheit eine durchschnittliche Nutzung von 65 Mio. m³/Jahr² aus. Diese Holz-

¹ Annahme: 6 t TM/ha und 18 GJ/t TM

² für die alten Bundesländer berechnet auf der Grundlage der Bundeswaldinventuren 1987 und 2002 und für die neuen Bundesländer geschätzt

menge wurde zu etwas weniger als einem Viertel energetisch genutzt, was einer Energiemenge von ungefähr 136 PJ entspricht.

Modellrechnungen des Johann Heinrich von Thünen Instituts haben Reserven für eine Ausweitung der stofflichen und energetischen Holznutzung oberhalb der Derbh Holzgrenze (7 cm Durchmesser) für die nächsten Jahre zwischen 13 Mio. m³/Jahr und 35 Mio. m³/Jahr ermittelt, ohne dass die Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung gefährdet würde. Beim unteren Wert wurden die gegenwärtigen Waldbewirtschaftungsregeln in die Zukunft projiziert; beim oberen Wert wurde eine definierte Reduzierung der Holzvorräte sowie des Endnutzungsalters über einen Zeitraum von 20 Jahren unterstellt. Wird ein Energiegehalt von 15 GJ/t Holz angenommen, entspricht dies bei einem Anteil von 40 % Laubholz (650 kg/m³) und 60 % Nadelholz (500 kg/m³) einem Energiegehalt von 109-294 PJ. Unter der Annahme, dass Holz auch zukünftig zu drei Vierteln stofflich und zu einem Viertel energetisch genutzt wird, könnten demnach zusätzlich ca. 27-74 PJ zur energetischen Nutzung zur Verfügung stehen.

Das Potenzial unterhalb der Derbh Holzgrenze von 7 cm Durchmesser wurde im Rahmen einer Clusterstudie abgeschätzt. Demnach können im Rahmen der oben beschriebenen Modelle theoretisch weitere 9-10 Mio. m³/Jahr für energetische Zwecke genutzt werden. Dabei ist angenommen, dass etwa die Hälfte dieser Gesamtmenge realisiert wird und eine stoffliche Nutzung nicht in Betracht kommt. Dies entspricht einem Energiegehalt von 38-42 PJ.

Über die gegenwärtig genutzte Energiemenge von 136 PJ/Jahr hinaus steht demnach in der Forstwirtschaft ein zusätzliches Potenzial von schätzungsweise 65-116 PJ/Jahr für energetische Zwecke zur Verfügung. Dabei wurde ein höheres Gebrauchtholzaufkommen nicht berücksichtigt.

Ebenfalls nicht berücksichtigt wurde eine zunehmende Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Verwendung von Holz. Eine Steigerung der inländischen Rohholzproduktion stößt an gewisse Grenzen. Während bei den staatlichen Forsten die Potenziale zunehmend ausgeschöpft werden, sind für die Mobilisierung der Potenziale in den anderen Waldbesitzarten, insbesondere im Kleinprivatwald noch erhebliche Anstrengungen nötig.

Grundsätzlich ist festzuhalten: Die Potenzialreserven beim Waldholz stellen das technisch nutzbare Potenzial dar. Wie viel davon tatsächlich ökonomisch aktiviert werden kann, hängt von zahlreichen Faktoren ab, u. a. von den aktuellen Marktpreisen ebenso wie von der Bereitschaft, das Potenzial auch zu nutzen.

Nebenprodukte, Reststoffe und Abfälle

Neben den oben skizzierten land- und forstwirtschaftlich bereitgestellten Biomassepotenzialen stehen noch Reststoffe und Abfälle biogenen Ursprungs für die energetische Nutzung zur

Verfügung. Hierzu zählen v. a. Gebrauchtholz (ca. 70 PJ), Gartenabfälle/Biotonne (ca. 35 PJ), Klärschlamm/Klär gas/Deponiegas (ca. 40 PJ), Gülle/Festmist (ca. 90 PJ) und Getreidestroh (ca. 275 PJ).¹ Zusammen mit weiteren weniger bedeutenden Reststoffen und Abfällen entspricht dies einem Energieaufkommen von ca. 550 PJ.

Der energetischen Nutzung von biogenen Abfall- und Reststoffen muss daher im Hinblick auf die zu erwartenden Nutzungskonkurrenzen in anderen Bereichen zukünftig mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Weitere Einflussfaktoren auf die Höhe des Biomassepotenzials

Weitere Möglichkeiten zur Erhöhung des Biomassepotenzials sind durch die Steigerung der Flächenerträge gegeben. Hier bieten vor allem die Züchtung und auch innovative Anbaumethoden sowie -techniken Chancen für die Zukunft. Es wird derzeit intensiv an der Entwicklung von Sorten gearbeitet, die deutlich höhere Biomasseerträge erzielen bzw. höhere Anteile vorteilhafter Inhaltsstoffe aufweisen, als die heute eingesetzten Sorten. Ebenso werden Anbauverfahren erprobt, bei denen mehrere Pflanzenarten auf der gleichen Fläche (Mischkulturanbau) oder unterschiedliche Pflanzenarten nacheinander innerhalb einer Vegetationsperiode (Zweikulturnutzung) angebaut werden.

Auch die Art der Aufbereitung der Biomasse zum Bioenergieträger hat einen bedeutenden Einfluss auf die nutzbare (Netto-)Energie. Bei der Umwandlung der Biomasse in Endenergie bzw. in Bioenergieträger fallen in Abhängigkeit von der gewählten Technologielinie unterschiedlich hohe Energieverluste an. Sowohl die Wahl der Energieform (Wärme, Strom, Kraftstoff) als auch das gewählte Umwandlungsverfahren haben Auswirkungen auf die Umwandlungsnutzungsgrade. Die Nettoenergieerträge variieren sowohl zwischen den Nutzungspfaden als auch innerhalb der Nutzungspfade stark.

Zwischenfazit

Die Ermittlung des tatsächlich in Deutschland erzielbaren Endenergiepotenzials der Bioenergie hängt von vielen Faktoren ab. Neben der Entwicklung der nutzbaren Flächen sind dies die Entwicklung der Technologien insbesondere zur Kraftstofferzeugung sowie ganz erheblich auch die Gewichtung der drei Energiesegmente Wärme, Strom und Kraftstoff, die über die unterschiedlichsten Umwandlungsnutzungsgrade verfügen. Außerdem sind ökologische Restriktionen zu beachten.

¹ Annahmen: 6,5 Mio. ha Getreide; 5 t Stroh/ha mit 17 GJ/t, 50% energetisch nutzbar

Unter den Annahmen

- einer konstanten Nahrungs- und Futtermittelerzeugung in Deutschland,
- der Nutzung der Biomasse als Ganzpflanzen und
- der Anwendung der effizientesten Technologien (Wärme, Kraft-Wärme-Kopplung, Biogas als Kraftstoff)

liegt die technisch mögliche Energiebereitstellung aus Biomasse in Deutschland aus heutiger Sicht mittel- bis langfristig bei ca. 1.210-1.700 PJ/Jahr. Aufgrund der gewählten Annahmen ist diese Spanne als sehr optimistisch einzuschätzen. Sie entspricht einem Anteil von 8-12 % am derzeitigen jährlichen Primärenergiebedarf von 14.500 PJ in Deutschland. Bezogen auf den für 2020 erwarteten Primärenergieverbrauch in Deutschland von 10.850 PJ/Jahr entspricht dies einem Anteil von 11-15 %. Der Vergleich mit dem aktuellen (2007) Biomasseanteil am Primärenergieverbrauch von 4,9 % (wobei auch heute schon ein Teil hiervon aus Kostengründen importiert wird) zeigt, dass potenziell noch ein erheblicher Ausbau der Biomassenutzung aus heimischen Rohstoffquellen möglich ist.

	Brutto-Energiepotenzial
Forstwirtschaft	200-250 PJ
Landwirtschaft – Ackerfläche	360-800 PJ
Landwirtschaft – Grünland	100 PJ
Reststoffe	550 PJ
Summe	1.210-1.700 PJ

Tabelle 1: Zusammenstellung der in Deutschland zukünftig verfügbaren Biomassequellen und der jeweiligen technischen Potenziale

In dem Maße, wie auf weniger energieeffiziente Nutzungspfade und Technologien (reine Verstromung und Biokraftstoffe der ersten Generation) zurückgegriffen wird, verringert sich der potenzielle Beitrag der inländischen Bioenergie am Primärenergieverbrauch. Geht man von den heute tatsächlich realisierten Energieeffizienzen aus und nimmt die heutige Nutzungsverteilung in Wärme (45 %), Strom (30 %) und Kraftstoffe (25 %) an, so ergibt sich ein mittlerer Jahresertrag pro Hektar Anbaufläche von nur noch ca. 100 GJ/ha (statt der in Tab. 1 unterstellten 180 bis 230 GJ/ha).

2.2 Globale Biomassepotenziale

Die Verfügbarkeit der heimischen Biomasse stößt insbesondere mittel- und langfristig an Grenzen. Daneben können Biomasse und Bioenergie in Drittländern häufig kostengünstiger produziert werden. Schließlich nimmt die Liberalisierung des Handels voraussichtlich zu, was auch den Handel mit Biomasse, insbesondere mit Biokraftstoffen, betrifft. Es kann deshalb in Deutschland von einem zunehmenden Bioenergeträgerimport ausgegangen werden. Die auch langfristig realisierbaren Importmengen sind jedoch nur sehr schwer abschätzbar, da sie von einer Vielzahl von Faktoren abhängen, u. a. auch vom zukünftigen Eigenbedarf der in der Regel Erdöl importierenden, potenziellen Biomasseexportländer und den zukünftig erzielbaren Preisen.

Der Import von Biomasse oder von Folgeprodukten ergänzt schon heute die inländische Bereitstellung. Dies betrifft in letzter Zeit mit steigenden Mengen besonders Pflanzenöle. Aber auch Holz als Stammholz, Hackschnitzel, Pellets, landwirtschaftliche Erzeugnisse wie z. B. Raps und auch Biokraftstoffe werden in zunehmenden Warenmengen international gehandelt.

Als (zukünftige) Exportländer kommen die äquatornahen Regionen in Asien, Afrika und Mittel-/Südamerika mit ihren oftmals deutlich höheren Flächenerträgen in Frage sowie osteuropäische Länder, allen voran Russland und die Ukraine. Für diese Länder eröffnen sich hierdurch völlig neue wirtschaftliche Perspektiven.

In den letzten Jahren wurde eine Reihe von Studien mit dem Ziel der Ermittlung des weltweiten Biomassepotenzials erstellt, deren Ergebnisse in Abhängigkeit von Methodik und gewählten Annahmen in einem weiten Bereich streuen. Laut International Energy Agency (IEA) stellte die Biomasse im Jahr 2004 10,4 % des weltweiten Primärenergiebedarfs bereit (IEA, 2006). Dieser Wert entspricht einem Beitrag von rund 48 EJ. Dabei gibt es große Unterschiede zwischen verschiedenen Regionen. Die Länder der OECD stellen nur 3 % des Primärenergieverbrauchs durch Biomasse bereit (7 EJ). In Afrika beträgt der Beitrag der Bioenergie 48 % (12 EJ). In absoluten Zahlen leistet die Bioenergie den größten Beitrag in Asien, wo sie mit 16 EJ Biomasse rund 29 % des dortigen Primärenergiebedarfs deckt.

Die Mehrzahl der Studien für das weltweite Biomassepotenzial zur energetischen Nutzung bewegt sich zwischen 200 EJ/a und 500 EJ/a. Die Extreme der untersuchten Studien schwanken zwischen 40 EJ/a bis 1.470 EJ/a. Der gesamte weltweite Primärenergieverbrauch lag 2004 bei 464 EJ. Auch hier legen die großen Unterschiede in den zugrunde gelegten Szenarioannahmen begründet. Der wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) hat in seinem Gutachten „Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung“ (2008) ein nachhaltiges Potenzial der Bioenergie für das Jahr 2050 in Hö-

he von insgesamt 80 bis 170 EJ pro Jahr abgeschätzt. Dieser Wert entspricht etwa einen Zehntel des für 2050 erwarteten Primäreinsatzes. Der WBGU hält etwa die Hälfte dieses technischen Potenzials für wirtschaftlich mobilisierbar und belegt, dass Bioenergie auch im globalen Maßstab und unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsanforderungen einen signifikanten Beitrag zur Energiebereitstellung leisten kann.

2.3 Nutzungskonkurrenzen

Es können vier Arten von Nutzungskonkurrenzen unterschieden werden:

- Wirtschaftliche oder nicht-wirtschaftliche Nutzung (z. B. Erholungs- oder Naturschutzgebiet) bzw. sonstige Nutzung (z. B. Verkehrsflächen) von Fläche.
- Nutzung der Fläche für die Erzeugung von Nahrung/Futter oder für die energetische bzw. stoffliche Verwertung von Biomasse.
- Biomassenutzung für die energetische oder für die stoffliche Verwertung.
- Verwertung der Biomasse wahlweise zur Erzeugung von Wärme, Strom oder Kraftstoffen.

Landwirtschaft in Deutschland

Von den ca. 12 Mio. ha Ackerfläche, die in Deutschland zur Verfügung stehen, wurden im Jahr 2007 ca. 1,7 Mio. ha zur Erzeugung von Energiepflanzen und ca. 0,3 Mio. ha für die stoffliche Rohstoffherzeugung genutzt. Dies entspricht ca. 17 % der Ackerfläche. Derzeit sind noch Potenziale vorhanden, den Biomasseertrag zu erhöhen, wie z. B. durch eine Erhöhung der Flächenerträge, durch eine verstärkte Ganzpflanzennutzung und die verstärkte Verwertung von Rest- und Nebenstoffen. Durch die Ausdehnung der Biomassenutzung ist zu erwarten, dass es mittel- und langfristig zu einer zunehmenden Konkurrenz der verschiedenen Verwertungsrichtungen um Biomasse und um die begrenzt verfügbare landwirtschaftliche Nutzfläche kommen wird. Dies ist bereits in verschiedenen Regionen mit einer hohen Dichte von Biogasanlagen zu beobachten und drückt sich dort u. a. in steigenden Pachtpreisen aus. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass zwischen Bioenergie- und Nahrungs- bzw. Futtermittelerzeugung auch Synergieeffekte bestehen. Flächen für Biodiesel- oder Bioethanolerzeugung dienen im hohen Umfang auch der Futtermittelerzeugung, da bei der Kraftstoffproduktion anfallende Nebenprodukte als Futtermittel Verwendung finden können.

Der durch staatliche Stimulierung unterstützte Ausbau der Nutzung von Biomasse für energetische Zwecke kann auch Auswirkungen auf die Preise von Agrarrohstoffen und damit auch auf die Nahrungsmittelpreise haben. Die zusätzliche Nachfrage nach Biomasse kann je nach Umfeld Preis stützend oder auch Preis treibend wirken. Der langfristige Trend steigender Nahrungsmittelpreise ist jedoch in erster Linie eine Folge der weltweit steigenden Nachfrage

nach Nahrungsmitteln, ausgelöst durch die weiterhin stark wachsende Weltbevölkerung und veränderte Konsumgewohnheiten der großen Schwellenländer China und Indien, in denen zunehmend höherwertige, tierische Lebensmittel nachgefragt werden. Die Lagerhaltung hat zudem ein so niedriges Niveau erreicht, dass Nachfragespitzen nicht mehr abgepuffert werden können.

Auch die stoffliche Nutzung von Biomasse wird von diesen globalen Entwicklungen beeinflusst. Preissteigerungen der Agrarrohstoffe können die stoffliche Nutzung von Biomasse erschweren. Es bieten sich jedoch auch interessante Synergieeffekte zwischen einer energetischen und stofflichen Biomassenutzung, z. B. durch eine Kaskadennutzung.

Forstwirtschaft in Deutschland

Die Situation der Forstwirtschaft unterscheidet sich aus mehreren Gründen von den in der Landwirtschaft vorliegenden Gegebenheiten.

- Bedingt durch die langen Wachstumszeiten des Holzes ist eine nachhaltige Forstwirtschaft von besonderer Bedeutung, Produktionsanpassungen lassen sich nicht innerhalb weniger Jahre umsetzen.
- Die wirtschaftliche Nutzung von Wald ist von vielen Faktoren abhängig, wie z. B. Waldbesitzerstruktur, Größe und Zugänglichkeit der Waldstücke, Art und Alter des Baumbestandes und Eigentümerzielsetzung, Schutzstatus von Waldflächen.
- Die zunehmende stoffliche Nutzung des Holzes (im Wesentlichen Holz-, Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie) konkurriert mit der direkten energetischen Biomassenutzung.
- Die Verbrennung von Holz zur Wärmeerzeugung ist schon heute oftmals ohne staatliche Förderung wirtschaftlich, was sie von allen anderen Arten der energetischen Biomassenutzung unterscheidet. Zudem erfüllt die Wärmeerzeugung aus Holz in Privathaushalten noch weitere, monetär nicht erfasste Anforderungen oder Wünsche wie die Möglichkeit der Selbstversorgung oder die Behaglichkeit eines Kaminofens.

Um Holz konkurrieren vier unterschiedliche Märkte:

- Stoffliche Verwertung,
- Wärmeerzeugung,
- Stromerzeugung,
- zukünftig wahrscheinlich: Kraftstofferzeugung für Kraftstoffe der 2. Generation.

Diese Märkte werden teilweise durch unterschiedliche Maßnahmen, wie z. B. durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) oder durch Steuerbegünstigungen, gefördert. Die energetische Nutzung wird dabei in der Regel stärker staatlich unterstützt als die stoffliche Nutzung.

Die zur Nutzung zur Verfügung stehende Holzmenge ist preisabhängig und somit kaum bestimmbar, da mit steigender Nachfrage – z. B. stimuliert durch staatliche Maßnahmen wie das EEG – auch teurere Sortimente genutzt werden. Bei der Mobilisierung dieser Holzreserven ist den Anforderungen des Bodenschutzes sowie des Naturschutzes (Totholzanteil, Schutz von Lebensräumen gefährdeter Arten) Rechnung zu tragen.

Naturgemäß besteht das größte Verwertungsinteresse an der kostengünstigsten Biomasse. Im Holzbereich ist dies aufgrund des großen Verwertungsspektrums über ein weites Feld von Holzsorten (z. B. Rundholz, Industrierestholz, Waldrestholz) zu unterschiedlichen Preisen von besonderer Bedeutung. Tendenziell ist der Holzbereich nach Jahrzehnten real rückläufiger Rohholzpreise durch Preissteigerungen gekennzeichnet. Mit weiter steigender Nachfrage nach Holz kann sich diese Entwicklung verstärken. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei Holz eine Wiederverwendung und ein Recycling im Sinne einer Kreislaufwirtschaft möglich sind und auch intensiv genutzt werden. Zu Beginn des Nutzungskreislaufs steht die stoffliche und am Ende die energetische Nutzung von Holz. Mit der möglichen Holznutzung für die Produktion von Biokraftstoffen der 2. Generation könnte sich diese Entwicklung verstärken.

Internationale Situation

Es kann davon ausgegangen werden, dass es in allen industrialisierten und stark vom Erdöl abhängigen Ländern zu einem verstärkten Interesse an der Bioenergie kommen wird. Trotz landesspezifischer Unterschiede in den Erzeuger- und Abnehmerstrukturen werden die Auswirkungen hinsichtlich der Nutzungskonkurrenz vergleichbar zur oben beschriebenen nationalen Situation sein. Dies gilt auch für Schwellen- und Entwicklungsländer.

Auch für Schwellen- und Entwicklungsländer bietet Bioenergie Chancen für eine nachhaltige Energieversorgung. Hier ist jedoch zum einen die Frage nach einer Verdrängung der Nahrungsmittelproduktion durch den Anbau von Energiepflanzen besonders relevant. Insbesondere für Länder, die auf Nahrungsmittelimporte angewiesen sind, kann sich ggf. die Ernährungssituation verschärfen, wenn die Nahrungsmittelpreise auf den internationalen Märkten ansteigen. Wie sich die gesteigerte Nachfrage nach Bioenergie auf die Ernährungssicherung der armen Bevölkerung in den Entwicklungsländern auswirkt, ist bisher noch wenig bekannt und ist Gegenstand aktueller Forschungen.

Zum anderen kann die erhöhte Bioenergienachfrage zu unkontrollierter Verdrängung bestehender, oftmals kleinbäuerlicher Strukturen und zur Vernichtung natürlicher Lebensräume (z. B. Beseitigung von Primärwäldern zugunsten von Palmölplantagen) beitragen. Dies gilt besonders aufgrund der oftmals geringeren staatlichen Reglementierung in Schwellen- und Entwicklungsländern.

3. Stand der staatlichen Unterstützung

Erneuerbare-Energien-Gesetz, Marktanreizprogramm und Biokraftstoffquotengesetz (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU))

Die energetische Verwertung von Bioenergie wird vom BMU mit dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG), dem Marktanreizprogramm (MAP) und dem Biokraftstoffquotengesetz gefördert. Das EEG dient seit dem Jahr 2000 als wirkungsvolles Instrument zum Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, wohingegen das MAP seit 1999 erfolgreich Investitionen im Wärmesektor anregt. Das Biokraftstoffquotengesetz legt dagegen einen Mindestanteil von Biokraftstoff an der Gesamtmenge des in Verkehr gebrachten Diesel- und Ottokraftstoffs fest.

Die Kernelemente des **EEG** sind

- der vorrangige Anschluss von Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien an die Netze der allgemeinen Elektrizitätsversorgung,
- die vorrangige Abnahme und Übertragung dieses erneuerbar hergestellten Stroms,
- eine für in Betrieb genommene Anlagen in der Regel für 20 Jahre konstante Vergütung dieses Stroms durch die Netzbetreiber und
- der bundesweite Ausgleich des abgenommenen Stroms und der entsprechenden Vergütungen.

Die Höhe der Vergütung für den Strom orientiert sich an den Stromgestehungskosten (d. h. daran, wie weit die eingesetzte Technologie von der Wettbewerbsfähigkeit entfernt ist) der Energiequelle. Die Vergütungshöhe hängt zudem vom Zeitpunkt der Installation der Anlage ab, je später eine Anlage in Betrieb genommen wird, desto geringer ist der Tarif. Der Ausbau der erneuerbaren Energien wird nicht durch Subventionen aus Haushaltsmitteln oder Steuermindereinnahmen, sondern durch eine Umlage finanziert, die vom Verbraucher zu tragen ist. 2007 wurden vom Verbraucher dafür rd. 4,3 Mrd. € an sog. Differenzkosten aufgebracht.

Das **Marktanreizprogramm** zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt unterstützt die Errichtung von Anlagen zur Erzeugung von Wärme aus erneuerbaren Energien. Das hierzu jährlich zur Verfügung stehenden Mittelvolumen konnte zunehmend gesteigert werden. Hierzu werden auch Erlöse der Versteigerung von Emissionszertifikaten verwendet.

Seit dem 1. Januar 2008 wird das Programm mit neuen Förderrichtlinien und einem vereinfachten Antragsverfahren für Investitionszuschüsse fortgeführt. Im Jahr 2008 wurden dafür 349 Mio. Eu-

ro bereitgestellt. Im Wohngebäudebereich liegen die Schwerpunkte insbesondere in der Förderung von Solarkollektoranlagen und Biomasseheizungen (insbesondere Hackschnitzelheizungen, Pelletkessel) Seit Programmbeginn im Jahre 2000 bis Ende 2008 wurden über 162.000 kleine Biomassekessel mit Zuschüssen und 407 große Anlagen zur Verfeuerung von Biomasse mit zinsverbilligten Darlehen und Tilgungszuschüssen gefördert. Aber auch große Wärmespeicher, Anlagen zur Aufbereitung und Einspeisung von Biogas sowie Biogasleitungen für unaufbereitetes Biogas können gefördert werden. Insgesamt wurden seit Programmbeginn bis Ende 2008 950.000 Vorhaben gefördert. Das damit ausgelöste Investitionsvolumen betrug rund 10 Mrd. Euro.

Die Förderrichtlinien wurden im Programmverlauf mehrfach der Marktentwicklung angepasst. Die hohe Nachfrage nach der Förderung sowie die verbesserte Wirtschaftlichkeit der geförderten Anlagen haben dazu geführt, dass Fördersätze mehrfach abgesenkt werden konnten, ohne die Attraktivität des Förderprogramms zu beeinträchtigen. Auch in Zukunft soll auf die Marktentwicklung schnell mit Richtlinienänderungen reagiert werden, um den effizienten Einsatz der aus dem Bundeshaushalt zur Verfügung gestellten Mittel zu gewährleisten.

Das derzeit wichtigste Förderinstrument im Bereich der Biokraftstoffe ist das **Biokraftstoffquotengesetz**, das am 1. Januar 2007 in Kraft trat. Mit dem Biokraftstoffquotengesetz wurde die Förderung von Biokraftstoffen im Wesentlichen auf das ordnungsrechtliche Instrument einer Biokraftstoffquote umgestellt. Steuerbegünstigungen werden nur noch in einigen Fällen gewährt.

Wesentliche Eckpunkte der Regelung sind:

- Unternehmen, die Diesel- oder Ottokraftstoffe in Verkehr bringen, sind verpflichtet, einen gesetzlich bestimmten Mindestanteil (Quote) des Kraftstoffabsatzes in Form von Biokraftstoffen abzusetzen.
- Die Höhe der Quote ist – bezogen auf den Energiegehalt des jeweiligen fossilen Kraftstoffs zuzüglich des diesen ersetzenden Biokraftstoffs – für Dieselmotorkraftstoff auf 4,4 % und für Ottomotorkraftstoff auf 2,0 % im Jahr 2008 festgelegt. Der Entwurf eines Gesetzes zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen sieht für die Jahre 2009 bis 2014 eine Quote für Ottomotorkraftstoff von 2,8 % vor.
- Ab dem Jahr 2009 ist darüber hinaus eine Gesamtquote zu erfüllen, die sich auf den Energiegehalt der Gesamtmenge des in Verkehr gebrachten Otto- und Dieselmotorkraftstoffs zuzüglich der diese ersetzenden Biokraftstoffe bezieht. Neben der Gesamtquote bleiben die o. g. Unterquoten für Otto- und Dieselmotorkraftstoff erhalten. Die Gesamtquote soll nach dem Entwurf eines Gesetzes zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen für das Jahr 2009 zunächst auf 5,25 % (bezogen auf den Energiegehalt) festgelegt werden. Ab 2010 soll dieser Anteil auf 6,25 % angehoben und dann bis 2014 konstant gehalten werden. Allerdings soll im Jahr 2011 eine Überprüfung der Quoten erfolgen.

Dazu berichtet die Bundesregierung dem Deutschen Bundestag – unter Berücksichtigung der Aspekte der Nachhaltigkeit – über die Entwicklung der Treibhausgasminde- rung der Biokraftstoffe und über die Biomassepotenziale und empfiehlt soweit erfor- derlich, eine Anpassung der Quoten.

- Eine degressiv gestaffelte steuerliche Begünstigung für reinen Biodiesel und reines Pflanzenöl, die nicht der Erfüllung der Biokraftstoffquote dienen, wird für einen Ü- bergangszeitraum bis Ende 2012 beibehalten.
- In der Land- und Forstwirtschaft eingesetzte reine Biokraftstoffe bleiben weiterhin im Ergebnis steuerfrei.
- Besonders förderungswürdige Biokraftstoffe (BtL, Alkohole aus Lignozellulose, Bio- ethanol in Form von E85) und Biogas werden bis 2015 unter Berücksichtigung der Überkompensationsregelung steuerbegünstigt. BtL und Alkohole aus Lignozellulose sind darüber hinaus auch dann steuerlich begünstigt, wenn sie der Erfüllung der Bio- kraftstoffquote dienen.

Seit 2008 fördert das Bundesumweltministerium auch Forschungs- und Entwicklungsvorha- ben zur Bioenergie im Rahmen der Bekanntmachung über die Förderung von Vorhaben zur Optimierung der energetischen Biomassenutzung. In einer ersten Phase von drei Jahren wer- den zunächst die Bereitstellung einer belastbaren Datenbasis sowie konkreter Optimierungs- ansätze, Konzepte und Machbarkeitsstudien gefördert. In der zweiten Phase sollen besonders viel versprechende Pilot- und Demonstrationsvorhaben gefördert werden. Diese Phase baut auf den Ergebnissen der ersten Stufe auf und ist für den Zeitraum 2011-2012 vorgesehen.

Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“, Ressortforschung, GAK (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV))

Mit dem Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ unterstützt das BMELV Forschungs-, Entwicklungs-, und Demonstrationsvorhaben, die Öffentlichkeitsarbeit und Markteinführung bei nachwachsenden Rohstoffen im energetischen und stofflichen Bereich. Die Abwicklung erfolgt über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) e.V.

Die Ressortforschung des BMELV erarbeitet wissenschaftliche Grundlagen, die neben der Politikberatung in Teilbereichen (z. B. Ökonomie, Forst- und Holzwirtschaft, Pflanzenbau und -züchtung) auch der Förderung der Nutzung nachwachsender Rohstoffe dienen.

Im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küsten- schutzes (GAK)“ in Verbindung mit der Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums nach Verordnung (EG) Nr. 1698/2005 fördern Bund, Länder und die EU

- Investitionsvorhaben im Bereich Verarbeitung und Vermarktung landwirtschaftlicher Erzeugnisse,
- einzelbetriebliche Investitionsvorhaben insbesondere im Bereich Verbesserung der Umweltbedingungen in der Produktion (Maßnahmen der Energieeinsparung- und Umstellung auf alternative Energiequellen).

Seit 2008 werden Investitionen in Nahwärme- und Biogasleitungen, die dem Transport von Wärme oder Biogas an den Ort der Energienutzung dienen, im Rahmen der GAK von Bund und Ländern, im Bereich der Integrierten ländlichen Entwicklung (ILE), gefördert.

Die Förderung der Versorgung mit erneuerbaren Energien ist auch Bestandteil des Schwerpunktes 3 „Lebensqualität im ländlichen Raum und Diversifizierung der ländlichen Wirtschaft“ der Verordnung (EG) Nr. 1698/2005 (ELER-Verordnung). Soweit die GAK-Maßnahmen der Umsetzung der Förderpolitik zur Entwicklung des ländlichen Raums nach der ELER-Verordnung dienen, ist eine Kofinanzierung der Bundes- und Landesmittel durch Gelder der Europäischen Kommission im Rahmen der ELER-Verordnung möglich.

Laut Rahmenplan 2008 bis 2010 zur Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes (GAK)" können die Länder ab 2008 Investitionen in Infrastrukturmaßnahmen, die der dezentralen Versorgung mit erneuerbaren Energien dienen (Nahwärme- und Biogasleitungen), einschließlich notwendiger Vorarbeiten, wie Erhebungen, Konzepte und Gutachten sowie Planungsarbeiten, fördern. Der Bund beteiligt sich im Rahmen der GAK mit 60 % an der Finanzierung solcher Maßnahmen.

Hightech-Strategie der Bundesregierung für Deutschland. (Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF))

Alle Aktivitäten im Bereich der Förderung der Bioenergieforschung und -entwicklung sind eingebettet in die Hightech-Strategie der Bundesregierung für Deutschland. 3 der 17 Zukunftsfelder der Hightech-Strategie betreffen das Thema Bioenergie direkt. Das sind

- Pflanzen: Neue Wege in Landwirtschaft und Industrie Rohstofflieferanten der Zukunft
- Energietechnologien: Die Herausforderung für das 21. Jahrhundert. Sicher, effizient, nachhaltig
- Fahrzeug- und Verkehrstechnologien: Mobilität für morgen Deutschland als Logistikkreuzung Europas.

Die Hightech-Strategie im Innovationsfeld Pflanze verfolgt das Ziel, den Anteil von pflanzlicher Biomasse an der Energieversorgung zukünftig deutlich zu erhöhen. Um dieses Ziel durch neue Impulse aus der Forschung zu erreichen, hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) die Förderaktivität „BioEnergie 2021 – Forschung für die Nutzung pflanzlicher Biomasse“ ausgeschrieben. Mit der Initiative „BioEnergie 2021“ sollen neue Forschungsansätze für die energetische Nutzung von pflanzlicher Biomasse gelegt werden, deren Ergebnisse anschließend in das Forschungsprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ des BMELV einfließen können. Darüber hinaus soll die Brücke geschlagen werden zur stofflichen Nutzung von Biomasse, die im Schwerpunkt „Nachwachsende Rohstoffe“ des BMELV umgesetzt sowie im Hinblick auf die nachgelagerten Prozesse durch den bereits eingeleiteten Cluster-Wettbewerb zur Weißen Biotechnologie „BioIndustrie 2021“ unterstützt wird. Flankierend soll zusammen mit den Bundesländern zudem die Kompetenzbündelung in den Agrarwissenschaften forciert werden. Den Rahmen für diese komplementären Maßnahmen bildet sowohl die Hightech-Strategie der Bundesregierung mit dem Innovationsfeld Pflanze als auch die Hightech-Strategie zur Energie- und Klimaschutzforschung.

Weitere Fördermaßnahmen des Bundes, der Länder und der EU

Für den Anbau von Energiepflanzen kann von der EU bis 2010 eine Beihilfe gewährt werden. Sie beträgt 45 €/ha.

Neben den beschriebenen Maßnahmen bestehen zahlreiche weitere Maßnahmen z. B. der EU und der Bundesländer.

4. Optionen der Bioenergienutzung

4.1 Wärme aus Biomasse

Gut 93 % der aus erneuerbaren Energien bereitgestellten Wärme entfiel im Jahr 2007 auf Biomasse. Als Energieträger wird überwiegend Energieholz in Form von Scheitholz, Hackschnitzeln und Pellets oder Altholz eingesetzt. Neben Holz sind jedoch auch andere Festbrennstoffe für die Wärmeerzeugung nutzbar. So sind sowohl Getreidekörner, Stroh oder auch Ganzpflanzen (z. B. Getreide, Miscanthus etc.) mögliche Brennstoffe. Die Brennstoffeigenschaften sind im Vergleich zu Holz ungünstiger, so dass es zu erhöhten Emissionen oder aggressiveren Verbrennungsgasen kommen kann, die durch entsprechende technische Vorkehrungen berücksichtigt werden müssen. Um diese Probleme zu lösen, wird derzeit intensiv geforscht.

Für die Nutzung von Holz stehen Feuerungsanlagen in einem weiten Leistungsbereich zur Verfügung, von Kleinanlagen (z. B. Kamine und Öfen) bis hin zu großen Kraft- und Heizkraftwerken, die im Nah- und Fernbereich Wärme und Strom bereitstellen. Das Interesse an diesen Anlagen hat in den vergangenen Jahren stark zugenommen.

Mehr als zwei Drittel der Wärmebereitstellung aus Biomasse erfolgt in privaten Haushalten. Gerade im Bereich der kleinen Holzfeuerungsanlagen hat es in den vergangenen Jahren erhebliche Innovationen gegeben, die zu einer deutlichen Minderung der Emissionen beim Betrieb dieser Anlagen geführt haben. Diesen modernen Anlagen steht jedoch ein Altanlagenbestand von wahrscheinlich über 8 Mio. Feuerungsstätten gegenüber, der bei einer zunehmenden Nutzung der Biowärme zu Zielkonflikten mit dem Immissionsschutz führen kann. Dies gilt insbesondere für Feinstaubemissionen.

Holzfeuerungsanlagen (Kamine, Öfen und Heizkessel) können je nach Bauart mit Pellets (gepresste Holzspäne und Sägemehl), Hackschnitzeln oder Stückholz betrieben werden. Pellets und Stückholz eignen sich als Brennstoff eher für kleinere Einzelfeuerstätten, Hackschnitzel eher für größere Anlagen. Insbesondere die Pelletheizungen verzeichnen aktuell ein großes Wachstum und erreichen bei den Neuanlagen bereits einen Anteil ca. 4 %. Bis Ende 2008 wurden nach Branchenangaben bereits über 100.000 Pelletheizungen installiert.

Wie viel Biomasse in Deutschland jährlich für die Wärmeerzeugung genutzt wird, ist statistisch nur schwer zu erfassen. So werden z. B. Holzheizungen neben der mit fossilen Energieträgern betriebenen Zentralheizung oft nur unregelmäßig oder sporadisch als Sekundärheizung genutzt und der eingesetzte Brennstoff wird nur zum Teil über den Handel bezogen.

Verschiedene Schätzungen gehen davon aus, dass bis zu 50 % der energetisch genutzten Holzmenge in Deutschland über Selbstversorgung abgedeckt wird. Eine Befragung von 10.000 repräsentativen Haushalten (Mantau, 2006) kam zu dem Ergebnis, dass bundesweit ca. 17 % der Haushalte über die Möglichkeit der Verfeuerung von Holz verfügen. Ein weiteres Prozent plant bereits eine Biowärmeanlage, weitere 46 % sind an Holzheizungen interessiert. Bezüglich des Holzverbrauches kam die Studie zu dem Schluss, dass der private Holzverbrauch in den Jahren 2000-2005 um 80 %, von ca. 11 Mio. m³ auf knapp 20 Mio. m³ (davon 14,2 Mio. m³ aus dem Wald), gestiegen ist.

Ein bisher zum erheblichen Teil noch ungenutztes Potenzial zur Wärmebereitstellung aus Biomasse besteht in der Nutzung der bei der Stromerzeugung aus Biomasse anfallenden Wärme, also in der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Kraft-Wärme-Kopplung ermöglicht eine effiziente energetische Nutzung des Energieträgers Biomasse und führt zu hohen energetischen Wirkungsgraden. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gibt seit 2004 mit dem sogenannten KWK-Bonus einen Anreiz zur verstärkten Nutzung der bei der Stromerzeugung aus Biomasse anfallenden Wärme. Das Interesse an der Biomasse-KWK hat seither spürbar zugenommen, wie das wissenschaftliche Monitoring zum EEG belegt.

4.2 Strom aus Biomasse

Bei der Stromerzeugung aus Biomasse gibt es mehrere Nutzungsalternativen. Dazu zählen vor allem die Verwertung in Kraft- und Heizkraftwerken, die Erzeugung von Biogas zur Stromgewinnung und die Mitverbrennung von Biomassefestbrennstoffen in Kohlekraftwerken. Durch diese Vielfalt der Nutzungsmöglichkeiten kann sowohl feste, feuchte sowie flüssige Biomasse als Rohstoff verwendet werden. Ein weiterer Vorteil der Biomassenutzung im Strombereich ist deren Lagerfähigkeit und damit die Möglichkeit der bedarfsorientierten Stromerzeugung. Dies ist bei anderen erneuerbaren Energien wie der Wind- oder Solarstromerzeugung nicht der Fall.

Bei kleineren Biomassekraftwerken für feste Biomasse liegt der elektrische Nutzungsgrad häufig im Bereich von 25-33 % (nur ein Viertel bis ein Drittel der im Brennstoff enthaltenen Energie wird zu Strom umgewandelt) – Biogas- und Pflanzenölanlagen können durchaus auch darüber liegende Werte von bis über 45 % erzielen. Die elektrischen Nutzungsgrade von modernen Kohle-Großkraftwerken liegen bei ca. 43 % und darüber. Deshalb ist auch die Mitverbrennung von Biomasse in Großkraftwerken eine Nutzungsoption. In Großkraftwerken kann sowohl halmgutartige (z. B. Stroh) als auch holzartige Biomasse mitverfeuert werden.

Das Problem der hohen Energieverluste der reinen Stromerzeugung lässt sich durch eine Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) reduzieren. Da Wärme im Gegensatz zu Strom nicht über längere Strecken transportiert werden kann, ist für einen ökonomisch wie ökologisch sinnvollen Betrieb entscheidend, dass in der Nähe der Anlage eine ausreichende, möglichst über das ganze Jahr verteilte Wärme- oder Kältenachfrage (Wärme kann in Kälte umgewandelt werden) gegeben ist. Davon hängt sehr stark der Gesamtnutzungsgrad einer KWK-Anlage ab. Die gleichzeitige Nutzung von Wärme/Kälte und Strom lässt sich vor allem in kleinen und mittleren dezentralen Anlagen realisieren. Der Gesamtwirkungsgrad moderner holzbefuerter Biomasseheizkraftwerke liegt bei ca. 80 %, wobei technisch bedingt ca. 20-30 % der Energie als Strom und 70-80 % der Energie als Wärme erzeugt werden. Die Kraft-Wärme-Kopplung ist deshalb, wo immer möglich, der reinen Stromerzeugung aus ökologischer Sicht vorzuziehen.

Bei Biogasanlagen findet keine direkte Verbrennung der eingesetzten Biomasse statt, sondern diese wird unter Luftabschluss vergoren. Dabei entsteht Methan, das anschließend als Brennstoff zur Strom-, Kraftstoff- oder Wärmeerzeugung genutzt werden kann. Da derzeit Biogas überwiegend zur Stromerzeugung genutzt wird, werden alle das Biogas betreffenden Aspekte in diesem Kapitel behandelt.

Da bei der Biogaserzeugung Biomasse im feuchten/nassen Milieu genutzt wird, ergeben sich einige Besonderheiten. Die eingesetzte Biomasse von landwirtschaftlichen Flächen kann feucht bzw. grün geerntet werden und durch eine Silierung haltbar gemacht werden. Die Flächen können in einem Jahr mehrmals bzw. mit unterschiedlichen Kulturen nacheinander genutzt werden, weil das Abreifen der Kulturen nicht abgewartet werden muss. Dadurch können jährlich Trockenmasseerträge von über 20 t/ha erzielt werden. Ein weiterer Vorteil der Biogasproduktion ist die Möglichkeit der energetischen Nutzung von Reststoffen wie Gülle oder Speiseabfällen, bei denen die Nutzungskonkurrenz geringer ist bzw. ganz entfällt. Auch können die Emissionen von Methan, Lachgas und Ammoniak bei optimierten Anlagenbedingungen reduziert werden und die Gärückstände auf landwirtschaftlichen Flächen genutzt werden. Im Idealfall ergeben sich geschlossene Nährstoffkreisläufe. Ein positiver Nebeneffekt der Güllenutzung in Biogasanlagen ist, dass die Geruchsbelästigung durch die Gülle deutlich gesenkt werden kann und die Verfügbarkeit der Nährstoffe aus der Gülle für die Pflanzen erhöht wird.

Bei der Stromerzeugung aus Biogas fällt immer auch Wärme an, die genutzt werden kann. In welchem Umfang die Wärme tatsächlich genutzt wird, hängt davon ab, ob in der Nähe der Biogasanlage auch ein Abnehmer für die Wärme vorhanden ist. Zum einen kann die Wärme entweder direkt über ein Nahwärmenetz oder indirekt über eine Biogasleitung zu einem BHKW transportiert werden.

Zum anderen kann Biogas auch in ein Erdgasnetz eingespeist werden, um dann vor Ort in einer entsprechenden KWK-Anlage genutzt zu werden. Hierzu muss das Biogas zuvor auf Erdgasqualität (Biomethan) aufbereitet werden. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist allerdings das Vorhandensein einer Gasleitung in der Umgebung der Biogasanlage. In Deutschland wurden bereits 12 Anlagen zur Biomethaneinspeisung in Betrieben genommen (Stand: Oktober 2008) oder befinden sich in der Inbetriebnahme, weitere sind in Planung oder Bau.

Bei der Biogasproduktion verbleibt ein erheblicher Teil der Wertschöpfung im ländlichen Raum. Die feuchten bis nassen Rohstoffe lassen sich aufgrund ihres relativ hohen Gewichts pro Energieeinheit nicht wirtschaftlich über längere Strecken transportieren. Folglich entfällt der Konkurrenzdruck aus dem Ausland, es sei denn, aufbereitetes Biomethan würde in das internationale Gasnetz eingespeist.

Anlagenbestand feste Biomasse

Ende 2007 waren in Deutschland 209 Kraft- und Heizkraftwerke im Leistungsbereich bis 20 MW_{el}, die ausschließlich mit festen Biomassen gemäß der Biomasseverordnung befeuert werden, in Betrieb. Einige wenige Anlagen weisen auch elektrische Leistungen von mehr als 20 MW_{el} auf, in denen Biomassen im Mix mit sonstigen Brennstoffen zum Einsatz kommen. Derartige Anlagen unterliegen nicht dem Geltungsbereich des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG).

Der Bestand an Biomasse(heiz)kraftwerken in Deutschland, deren Stromerzeugung durch das EEG vergütet wird, ist in den letzten Jahren kontinuierlich gewachsen. Die Anlagenanzahl hat sich von 2001 bis 2007 auf die bereits genannten 209 Anlagen mehr als verdreifacht. Gleichzeitig stieg die gesamte installierte Leistung auf ca. 1.040 MW_{el}, was einer Verfünffachung der gesamten installierten Leistung gegenüber dem Jahr 2000 entspricht.

In den Jahren 2001 bis 2004 haben vornehmlich größere Anlagen (> 5 MW_{el}) ihren Betrieb aufgenommen. Tatsächlich haben in dieser Zeit die Anlagen im Leistungsbereich 1-5 MW nur um ca. 50 % zugenommen, dagegen hat sich die Anlagenanzahl der Größe 10-20 MW sogar mehr als versechsfacht. Betreiber von Anlagen der höheren Leistungsklasse (5-20 MW) sind oft Elektrizitätsversorgungsunternehmen, wohingegen Anlagen kleiner 5 MW oftmals von Industrie- und Gewerbeunternehmen, zumeist aus der Holz- und Papierindustrie, betrieben werden.

Seit 2005, verstärkt jedoch seit 2006, setzte eine Trendwende hin zu kleineren, dezentralen Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung im Leistungsbereich kleiner 1 MW ein. Ursache hierfür sind die veränderten Anreize der Novelle des Erneuerbaren- Energien-Gesetzes von 2004.

Derzeit kommen überwiegend Dampfkraftprozesse zum Einsatz. Bei 20 % der in Betrieb (2007) befindlichen Anlagen kommen andere Stromerzeugungskonzepte wie der ORC-Prozess (Organic Rankine Cycle) oder Dampfmaschinen zum Einsatz. Bei den Ende 2007 in Bau

befindlichen Anlagen kommen dagegen alleine schon die ORC-Anlagen auf 36 % aller Anlagenformen.

Als Verbrennungsverfahren werden Rostfeuerungs- und Wirbelschichtfeuerungs-systeme verwendet, wobei für kleine und mittlere Leistungen nahezu ausschließlich Rostfeuerungen genutzt werden. Wirbelschichtfeuerungen werden in der Regel bei Leistungen ab etwa 10 MW_{el} eingesetzt. Rauchreinigungsanlagen umfassen Maßnahmen zur Stickoxyd und Kohlenmonoxydminderung sowie eine Entstaubung des Rauchgases mittels Gewebe- oder Elektrofilter. Technische Entwicklungen der letzten Jahre fanden insbesondere am Dampfturbinenprozess sowie im Bereich der ORC-Technik statt. Das verstärkte Interesse am ORC-Prozess ist sicherlich auf die Wirkung des Technologiebonus des novellierten EEG zurückzuführen. Aber auch die Tatsache, dass mit ORC-Anlagen der niedrigere Leistungsbereich kleiner 1,5 MW_{el} gut abgedeckt werden kann, eröffnet neue Anwendungsbereiche für die Stromerzeugung. Dampfturbinenanlagen sind üblicherweise in den höheren Leistungsklassen kostengünstiger einzusetzen.

Anlagenbestand Stromerzeugung mittels Biogas

Neben diesen direkten Verbrennungs- und Verstromungsanlagen sind ebenfalls mit großen Steigerungsraten eine Vielzahl von Biogasanlagen errichtet worden. Ende des Jahres 2008 waren ca. 4.000 Anlagen mit einer installierten Leistung von 1.400 MW_{el} in Betrieb. Im Jahr 2000 waren es noch ca. 1.000 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 78 MW_{el}. Analog zur Stromerzeugung aus fester Biomasse nahm auch hier die elektrische Leistung der Anlagen insgesamt, aber auch die Leistung der zugebauten Anlagen in den letzten Jahren stark zu. In 2005 betrug der jährliche Zubau der installierten elektrischen Leistung 415 MW_{el}, in 2006 waren es 335 MW_{el}. Lag die durchschnittliche Leistung aller Ende 2007 in Betrieb befindlichen Anlagen noch bei 330 kW_{el}, so liegt sie bei den in 2007 zugebauten Anlagen deutlich oberhalb der 500 kW_{el}.

Induziert durch den Bonus für die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) weist die Entwicklung des Anlagenbestandes von 2004-2008 einen verstärkten Bau von Anlagen auf, die vorwiegend nachwachsende Rohstoffe vergären. Der KWK-Bonus des EEG hat dazu geführt, dass Betreiber verstärkt nach Nutzungsmöglichkeiten für die anfallende Wärme suchen. Teilweise wurden dazu neue Wärmesenken in Verbindung mit der Biogasanlage geplant und errichtet. Dabei handelt es sich häufig um einen neu geschaffenen künstlichen Wärmebedarf. Es kann daher nicht davon ausgegangen werden, dass durch die zusätzliche Wärmenutzung in jedem Fall fossile Energieträger substituiert wurden. Die Neufassung des EEG trat sowohl der Konzentration auf die nachwachsende Rohstoffe als auch der unzureichenden oder nicht Zweck erfüllenden Wärmenutzung mit entsprechenden Regelungen (Gülle-Bonus, spezielle Anforderungen an die Wärmenutzung) entgegen.

Der Entwicklungsstand der einzelnen zur Stromerzeugung aus Biogas einsetzbaren Technologien reicht vom Versuchsstadium bis zur Marktreife. Als marktreife und am Markt etablierte Verfahren sind die Nassvergärung und die Verstromung über BHKW-Gasmotoren sowie über die BHKW-Zündstrahlmotoren zu nennen. In der Phase der Markteinführung befinden sich die Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität sowie die Verstromung in Gasturbinen. Andere Technologien, wie Brennstoffzellen, Mikrogasturbinen oder Stirlingmotoren befinden sich noch im Versuchsstadium bzw. werden in Pilot- oder Demonstrationsanlagen getestet und weiterentwickelt. Darüber hinaus werden auch bei den etablierten Technologien weitere Optimierungsarbeiten geleistet, um die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Verfahren zu steigern.

Anlagenbestand Stromerzeugung auf Basis flüssiger Biomasse

Die installierte Leistung bei Stromerzeugungsanlagen auf der Basis der Pflanzenölverbrennung liegt mit rund 275 MW_{el} in der Größenordnung von einem Fünftel der elektrischen Leistung von Biogasanlagen. Bis 2007 konnten in diesem Segment große Steigerungsraten verzeichnet werden. 2008 war die Zahl der Pflanzenöl-Blockheizkraftwerke infolge der hohen Pflanzenölpreise rückläufig Ende 2008 erzeugten etwa 1400 Anlagen ca. 2,5 TWh Strom. Zukünftig dürfte der Zubau neuer Anlagen in Grenzen halten, da mit der Neufassung des EEG eine obere Leistungsgrenze von 150 kW für den Anspruch auf den Nawaro-Bonus eingeführt wurde. Zudem wird der Anspruch auf EEG-Vergütung zukünftig an die Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien geknüpft.

Im kleinen und mittleren Leistungsbereich werden vornehmlich Industrie-Dieselmotoren an den Betrieb von Pflanzenöl angepasst. Anbieter von Serienmotoren für reinen Pflanzenölbetrieb gibt es im mittleren und hohen Leistungsbereich. Die elektrischen Wirkungsgrade liegen zwischen 25 % (kleine Anlagen) und 46 % (große Anlage). Zunehmend und insbesondere im mittleren und hohen Leistungsbereich kamen seit dem Jahr 2005 Palmöle zum Einsatz, was aufgrund des veränderten Brennverhaltens und des hohen Stockpunktes von Palmöl (34 °C) zu erhöhten technischen Anforderungen und den damit verbundenen Anstrengungen in Forschung und Entwicklung führte.

4.3 Biokraftstoffe

Die derzeit wichtigsten Biokraftstoffe der ersten Generation sind Biodiesel, Bioethanol, ETBE und Pflanzenöl (z. B. Rapsöl). Sofern diese Kraftstoffe in reiner Form oder oberhalb bestimmter Anteile als Gemisch mit fossilen Kraftstoffen genutzt werden, ist in der Regel die Anpassung der Fahrzeuge notwendig.

Pflanzenöl wird mit Hilfe von physikalisch-chemischen Verfahren (Pressung/Extraktion) gewonnen. Pflanzenöl kann zu Pflanzenölmethylester (Biodiesel) weiterverarbeitet und in dieser Form zu fossilem Diesel zugemischt werden. Der in Europa bekannteste Pflanzenölmethylester ist Rapsölmethylester (RME). Biodiesel, der nach derzeit gültigen Kraftstoffnormen bis zu 7 Vol % reinem Diesel beigemischt wird (B7), kann von allen Dieselfahrzeugen getankt werden. Darüber hinaus wird Biodiesel in Deutschland als Reinkraftstoff (B100) in hierfür ausgelegten PKW und in LKW-Flotten verwendet. Eine Freigabe durch die Pkw-Hersteller erfolgt jedoch bei modernen Fahrzeugen ab Euro-4-Abgasstandard nicht mehr. Pflanzenöl findet als Reinkraftstoff vor allem im Bereich der LKW-Flotten und im Bereich land- und forstwirtschaftlicher Maschinen und Geräte Verwendung.

Bioethanol wird durch alkoholische Gärung aus Ausgangsstoffen wie beispielsweise Zuckerrüben, Getreide, oder Zuckerrohr erzeugt. Je nach Einsatzstoff sind jedoch unterschiedliche Vorketten mit einem zum Teil deutlich unterschiedlichen technischen Aufwand erforderlich. Derzeit werden Getreide (z. B. Weizen) als stärkehaltige Ausgangsstoffe und in geringerem Umfang Zuckerrüben als zuckerhaltiges Ausgangsmaterial in Deutschland genutzt. Das erzeugte Ethanol darf nach den geltenden Kraftstoffnormen in handelsüblichen Otto-Motoren als Zumischkomponente bis zu 5 Vol % (E5) eingesetzt werden. Im Wesentlichen wird Ethanol jedoch in Form des Antiklopfmittels ETBE verwendet.

Zudem kann auch Ethanol in dafür ausgelegten Motoren (FFV¹) in Form von E85² genutzt werden. Diese Technik, die derzeit vor allem z. B. in Brasilien und den USA Anwendung findet, setzt sich in jüngerer Vergangenheit auch in Europa stärker durch. Neben Schweden entwickelt sich auch z. B. in Frankreich ein wachsender Markt. Die Tatsache, dass inzwischen weitere Autohersteller die Technik in Europa anbieten, lässt erwarten, dass sich E85/FFV auch in Deutschland zukünftig weiter entwickelt.

Biogas entsteht beim biochemischen Abbau organischer Stoffe und kann nach Aufbereitung auf Erdgasqualität (Biomethan) in erdgastauglichen Fahrzeugen problemlos eingesetzt werden. Der Vorteil von Biomethan ist, dass die ganze Pflanze zur Biogaserzeugung genutzt werden kann. Die potenzielle Kraftstoffausbeute je Fläche liegt daher sehr hoch. Bislang sind allerdings erst ca. 50.000 Erdgasfahrzeuge auf dem deutschen Markt.

Im Entwicklungsstadium befinden sich derzeit weitere Biokraftstoffe der zweiten Generation. Hierzu gehören Bioethanol, das durch biotechnologische Verfahren zum Aufschluss von Zellulose gewonnen wurde, sowie BtL-Kraftstoffe (Biomass-to-Liquid) bzw. synthetische Kraftstoffe.

¹ FFV: Flexible Fuel Vehicle

² E 85: 85 Vol % Ethanol, 15 Vol % Benzin

Der Einsatz von lignozellulosehaltiger Biomasse zur Bioethanolproduktion hat noch keine Marktreife erlangt. Derzeit wird der Bau einer Pilotanlage zur Herstellung von Bioethanol auf Basis von Stroh in Deutschland von Unternehmen geprüft.

Synthetische Biokraftstoffe werden durch Vergasung von Biomasse gewonnen. Das so produzierte Synthesegas (im Wesentlichen Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff) kann anschließend zu Kraftstoffen mit definierten Eigenschaften synthetisiert werden. Aus gegenwärtiger Sicht sind primär drei Konversionspfade von besonderem Interesse: die Erzeugung von Methanol, FT-Diesel (Fischer-Tropsch-Diesel) und DME (Di-Methyl-Ether). Die dafür notwendigen technischen Verfahren und deren optimale Kombination befinden sich noch in der Entwicklung; in Freiberg/Sachsen wird eine erste Pilotanlage in Betrieb genommen. Ein nennenswerter Markteintritt wird frühestens im Laufe des nächsten Jahrzehnts erwartet. BtL-Verfahren bieten den Vorteil, dass sich die Kraftstoffeigenschaften sehr gut einstellen lassen. Damit kann diese Option sowohl heutigen als auch zukünftigen Motoren-Anforderungen gerecht werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass eine breitere Rohstoffbasis, darunter auch Reststoffe und Abfälle, genutzt werden kann. Zudem versprechen diese Kraftstoffe eine gute Treibhausgasbilanz.

5. Bewertung der Bioenergienutzung

5.1 Bewertungskriterien

Maßgebliche Bewertungskriterien für die verschiedenen Bioenergienutzungen sind Klimaschutz und andere Umwelteinwirkungen, Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit, Energieeffizienz, Beschäftigung, Wertschöpfung im ländlichen Raum sowie Auswirkungen auf andere Nutzungsbereiche von Biomasse.

Klimaschutz

Als Maß für die Klimaschutzwirkung der Biomassenutzungsoptionen lassen sich verschiedene Kriterien aufstellen:

- prozentualer Anteil der Treibhausgasminderung an den Emissionen Deutschlands bezogen auf den Energieverbrauch,
- Menge CO₂-Äquivalent, die pro Flächeneinheit der Anbaufläche durch die Nutzung der Biomasse eingespart werden kann,
- Menge CO₂-Äquivalent pro Produkteinheit,

- Kosten der CO₂-Minderung,
- substituierte fossile Energieträger.

Bei der Wärme wird angenommen, dass Heizungsanlagen im Verhältnis zwei Drittel Heizöl- und ein Drittel Erdgasheizungen ersetzt werden. Der Energiebedarf für die Bereitstellung des Holzes wird mit dem Energieaufwand für die Bereitstellung des Heizöls und des Erdgases gleichgesetzt, ebenso wie der Wirkungsgrad der Heizungen.

Bei Kraftstoffen wird Erdöl in Form von Diesel oder Benzin ersetzt. Der Energiebedarf für die Bereitstellung und Umwandlung des Brennstoffs wird ebenfalls berücksichtigt. Nicht berücksichtigt sind deutlich höhere CO₂-Emissionen möglicher zukünftiger Kraftstoffe, die auf dem Wege der Kohleverflüssigung oder aus energetisch aufwändig zu verarbeitenden Rohölkquellen (z. B. Ölschiefer) gewonnen werden.

Andere Umwelteinwirkungen

Erzeugung und Nutzung nachwachsender Rohstoffe können jenseits der Treibhausgasminde- rung sowohl positive als auch negative Umweltwirkungen entfalten. Dabei spielen u. a. die jeweiligen regionalen Bedingungen eine Rolle. Positive Wirkungen können z. B. durch die Erweiterung von Fruchtfolgen oder den Erosionsschutz durch spezielle Energiepflanzen- fruchtfolgen gegeben sein. Eine massiv verstärkte Nutzung der Bioenergie kann hingegen zu verengten Fruchtfolgen bis hin zu Monokulturen, zur Verminderung der Biodiversität, zur Beeinträchtigung von Bodenfunktionen oder zu erhöhtem Einsatz von Dünge- und Pflanzen- schutzmitteln führen. Im Forstbereich besteht die Gefahr der Übernutzung bei hohem Nut- zungsdruck. In Deutschland unterliegen die Land- und Forstwirtschaft jedoch einer Vielzahl rechtlicher Regelungen, die diesem Problem entgegenwirken. Neue Forschungsergebnisse, z. B. hinsichtlich der Freisetzung von Lachgas beim Anbau von nachwachsenden Rohstoffen, müssen selbstverständlich in eine ganzheitliche Bewertung einfließen.

Zur Verwirklichung der gesteckten Ziele für die Anteile der biogenen Rohstoffe an der Ener- gieversorgung werden aus Kostengründen erhebliche Importe getätigt werden. Hiervon sind besonders tropische Regionen mit deutlich höheren Flächenproduktivitäten und kostengünsti- geren Produktionsbedingungen betroffen. Gerade hier sind ökologische und soziale Folgewir- kungen zu beachten. Es besteht die Gefahr, dass Ausweitungen der landwirtschaftlichen Pro- duktion auch zu Lasten der verbliebenen Regenwälder gehen können.

Versorgungssicherheit

Entscheidend für das Ziel Versorgungssicherheit ist, dass ein möglichst hoher Anteil der fossilen Ressourcen Erdöl und Erdgas, die nur in wenigen, zum Teil politisch instabilen Regionen der Erde konzentriert sind, durch Bioenergie ersetzt werden kann.

Die Versorgungssicherheit durch Bioenergie kann auf unterschiedliche Art und Weise gewährleistet sein. Die Verfügbarkeit der notwendigen Technologien vorausgesetzt, kann Biomasse (oder weiterverarbeitete Bioenergieträger) entweder aus einheimischer Produktion stammen, was dem höchsten Maße an Versorgungssicherheit bei vergleichbar geringer Energiemenge (Begrenztheit der Flächen) entspricht, oder sie kann importiert werden. Der Import von Biomasse oder von aus Biomasse hergestellten Bioenergieträgern impliziert eine erneute Abhängigkeit von anderen Staaten. Vor dem Hintergrund, dass Bioenergieträger zukünftig noch weiter verstärkt international gehandelt werden, relativiert sich die Abhängigkeit wieder durch die Vielzahl der potenziellen weltweiten Anbieter. Somit kann auch insgesamt beim Import von Bioenergieträgern von einer Steigerung der Versorgungssicherheit ausgegangen werden, soweit die Importe nicht durch Entwicklungen in den Exportländern (eigene hohe Nachfrage nach Biomasse zur energetischen Verwertung) eingeschränkt werden.

Die vielfältigen energetischen Verwendungsmöglichkeiten von Biomasse erlauben die Produktion von Wärme, Strom oder Kraftstoff. Zudem sind die Biomasse oder die aus ihr produzierten Bioenergieträger lagerfähig, was die Flexibilität in der Wahl der Endenergie auch noch um den Vorteil der zeitlichen Entkopplung von Produktion und Nachfrage ergänzt. Letzteres macht die Verstromung von Biomasse grundlastfähig, was bei der angestrebten Substitution von Kraftwerkskapazitäten durch erneuerbare Energien von großer Bedeutung ist.

Ferner bietet die energetische Verwertung von Biomasse derzeit die einzige Möglichkeit zur Gewinnung von Kraftstoffen aus erneuerbaren Energien, sieht man von den zukünftig erwarteten Möglichkeiten des Betriebs von Elektrofahrzeugen mit regenerativ erzeugtem Strom und der regenerativen Wasserstoffgewinnung zunächst ab. Spürbare Substitutionseffekte sind trotz des vernehmbar gestiegenen Interesses an der Elektromobilität vermutlich erst in 2020 zu erwarten. Eine Abschätzung der Erfolge der Wasserstofftechnologie ist mit weit größeren Unsicherheiten behaftet. Diese wird sich vermutlich erst in 10-20 Jahren am Markt überhaupt bemerkbar machen. Demnach stellen aus heutiger Sicht und sicherlich auch noch für die nächsten 5-10 Jahre die Biokraftstoffe die einzigen marktrelevanten erneuerbaren Kraftstoffe dar.

Wirtschaftlichkeit

Als Maß für die Wirtschaftlichkeit wird die Höhe der Kostendifferenz zwischen der Bereitstellung der Energie mit Biomasse und den fossilen Alternativen angenommen. Hierbei ist jedoch nicht nur auf die Kosten der Energieträger zu achten, sondern auf die Gesamtbereitstellungskosten der benötigten Energieform, die sich aus den Brennstoffkosten und den Investitionskosten für die benötigten Anlagen zusammensetzt. Für eine gesamtwirtschaftlich fundierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind allerdings noch weitere Kosten- und Nutzenpositionen relevant, die hier nicht näher betrachtet werden, z. B. die negativen externen Kosten der fossilen Energieerzeugung, deren genaue Quantifizierung Schwierigkeiten bereitet. Dadurch wird die fossile Energieerzeugung im Vergleich zur Biomassenutzung positiver bewertet. Dies muss bei der Beurteilung der Zahlen berücksichtigt werden.

Energieeffizienz

Maßgeblich verursacht durch die unterschiedlichen Verfahren bei der Umwandlung des Rohstoffes Biomasse zur Endenergie (Wärme, Strom) bzw. zum Endenergieträger (Kraftstoff) variieren die Energieeffizienzen in einem weiten Rahmen. Mit Energieeffizienz ist hier das Verhältnis des Energieinhaltes der Biomasse am Eingang eines technischen Konversionsprozesses zum Energieinhalt des Produktes (Wärme, Strom, Kraftstoff) am Ausgang gemeint, ungeachtet der Wertigkeit der Endenergie.

Beschäftigung und Wertschöpfung insbesondere im ländlichen Raum

Die Biomassenutzung ist in vielen Fällen mit positiven Beschäftigungseffekten und zusätzlicher Wertschöpfung verbunden. Im ländlichen Raum sind diese insbesondere dann zu erwarten, wenn eine dezentrale Energieerzeugung wirtschaftlich möglich ist und damit eine hohe relative Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Importen bzw. einer zentralen, nicht an den ländlichen Raum gebundenen Erzeugung, gegeben ist.

Es ist davon auszugehen, dass sich mit steigender Biomasseverwendung im energetischen Bereich die Konkurrenz mit der stofflichen Nutzung von Biomasse z. B. in der Papier- und Holzindustrie oder der Chemischen Grundstoffindustrie verschärfen wird. Dies muss erfasst und mit dem Ziel Wettbewerbsverfälschungen zu vermeiden in die Bewertung einbezogen werden.

5.2 Wärme aus Biomasse

Im Hinblick auf den **Klimaschutz** werden durch Holz im Vergleich zu Heizöl und Erdgas bis zu 85 % der Treibhausgasemissionen eingespart. Pro Hektar und Jahr können ca. 10 t CO₂ eingespart werden, wobei die CO₂-Minderungskosten zwischen 0 und 60 Euro/t CO₂-Äquivalente liegen.

Ein Großteil der nicht mit der Stromerzeugung gekoppelten Wärmeerzeugung aus Biomasse erfolgt in Kleinanlagen. Zum Vergleich der CO₂-Emissionswerte wird als Referenzanlage die Wärmeerzeugung aus einer 30 kW Erdgas-Brennwerttherme und einer 30 kW Heizöl-Anlage, deren spezifischen Emissionen sich bei der Gasheizung auf ca. 250 g CO₂/kWh_{th} bzw. bei der Ölheizung auf ca. 330 g CO₂/kWh_{th} belaufen, verwendet. Eine beispielsweise mit Hackschnitzel betriebene Vergleichsanlage emittiert dagegen nur ca. 40 g CO₂/kWh_{th}.

Bei den **anderen Umweltwirkungen** ergeben sich bei einer Holznutzung von Waldflächen zur Wärmeerzeugung keine Auswirkungen auf die Artenvielfalt im Vergleich zu anderen Nutzungsoptionen. Allerdings muss bei der Mobilisierung der Holzreserven den Anforderungen des Boden- und Naturschutzes (z. B. Erhaltung des standorttypischen Humusgehaltes, hinreichender Totholzanteil, Schutz von Lebensräumen gefährdeter Arten) Rechnung getragen werden.

Die Nutzung von Holz im mehrjährigen Kurzumtrieb kann mit positiven Effekten hinsichtlich der Artenvielfalt verbunden sein. Bei der Nutzung von halmgutartigen Ganzpflanzen(teilen) ergeben sich zur konventionellen Nahrungsmittelproduktion keine Änderungen bezüglich der Wirkungen auf die Artenvielfalt, sofern die Anbaumethoden nicht verändert werden. Auswirkungen auf die Humusgehalte von Böden sind zu berücksichtigen.

Bei den Emissionen, die bei der Verbrennung entstehen, schneiden Erdöl und Erdgas im Allgemeinen besser ab als Biomasse. Den schädlichen Emissionen bei biomassebefeuerten Anlagen kann wirkungsvoll durch moderne Anlagentechnik (vollständiger Ausbrand) und nachgeschaltete Filter begegnet werden. Diese werden bisher überwiegend in größeren Kraft- und Heizkraftwerken eingesetzt. Bei Kleinf Feuerungsanlagen steht inzwischen im Vergleich zu Altanlagen eine stark verbesserte Technik zur Verfügung, die ständig weiterzuentwickeln ist. Emissionen können zudem durch verschiedene Maßnahmen (z. B. trockenes Holz, optimale Luftführung) deutlich gemindert werden. Es wird zunehmend wichtig, darauf zu achten, dass die Klimaschutzziele nicht durch hohe Emissionen luftverunreinigender Stoffe aus qualitativ minderwertigen Anlagen und falschem Anlagenbetrieb konterkariert werden. Auch sind bei der Verwertung von Verbrennungsrückständen auf Böden negative Auswirkungen auf diese zu vermeiden.

Derzeit wird in Deutschland Wärme überwiegend mit Erdöl oder Erdgas erzeugt. Der Einsatz von Biomasse im Wärmebereich (überwiegend Holz) erhöht folglich die **Versorgungssicherheit** deutlich, da die hinsichtlich der langfristigen Verfügbarkeit und der Stabilität der Herkunftsländer problematischsten fossilen Rohstoffe substituiert werden. Gleichzeitig ist bei der Wärmeerzeugung aus Biomasse eine Ganzpflanzennutzung üblich, wodurch pro Flächeneinheit hohe Energieerträge erzielt werden können und damit eine relativ große Menge an fossilen Ressourcen ersetzt werden kann. Auch die Aufarbeitung des Brennstoffs, meist Holz, ist wenig energieaufwändig. Pro Hektar Kurzumtriebsplantagen können ca. 5.000 l Erdöl bzw. 5.500 m³ Erdgas ersetzt werden, was ca. 180 GJ/ha und Jahr entspricht.

Aus Sicht der **Wirtschaftlichkeit** ist in keinem anderen Sektor der erneuerbaren Energien die Substitution fossiler Brennstoffe, insbesondere Gas und Öl, technisch und wirtschaftlich so einfach und kostengünstig wie beim Einsatz der Biomasse im Wärmebereich. Wärmeerzeugung aus Biomasse ist inzwischen in vielen Bereichen nahe der Wirtschaftlichkeit, teilweise auch schon wirtschaftlich. Während die Investitionskosten bei Biomassefeuerungen höher liegen als bei Öl- und Gasheizungen sind die Brennstoffkosten in der Regel niedriger. Die Gesamtkosten liegen bei den derzeitigen Brennstoffpreisen für Heizöl, Gas und Brennholz auf vergleichbarer Höhe, durch die höhere Besteuerung von fossilen Brennstoffen ergeben sich derzeit betriebswirtschaftlich teilweise Kostenvorteile für die Bioenergiewärme. Die technisch aufwändigere Bauweise von Biomasseheizungen hat jedoch höhere Investitionskosten zur Folge, was viele Verbraucher von der Anschaffung eines solchen Heizsystems abhält.

Die Analyse der Preisentwicklungen der letzten Jahre hat gezeigt, dass sich die Holzpreise einerseits zunehmend am Ölpreis orientieren, andererseits auch von der zunehmenden Holz nachfrage am Markt geprägt sind. Bedingt durch die vielen Einflussgrößen ist eine verlässliche Prognose der Preisentwicklung und damit auch der künftigen Wirtschaftlichkeit derzeit kaum möglich. Durch die vergleichsweise geringe Brennstoffkostenabhängigkeit bei der Wärmeerzeugung aus Holz und durch die auch weiterhin zu erwartende Orientierung des Holzpreises am Ölpreis sollte auch zukünftig bei der Wärmeerzeugung mit Vorteilen der Biomasseanlagen gegenüber fossil befeuerten Heizungen zu rechnen sein.

Die Wärmebereitstellung ist dadurch charakterisiert, dass Wärme nicht über weitere Strecken transportiert werden kann. Das bedeutet, dass die Erzeugung dezentral erfolgen muss. Auch ist aufgrund der relativ geringen Energiedichte der meisten Festbrennstoffe der Transport über längere Strecken nicht wirtschaftlich. Diese beiden Punkte bieten für die **Wertschöpfung und die Schaffung von Arbeitsplätzen im ländlichen Raum** besondere Chancen, insbesondere dann, wenn die Land- und Forstwirte sowie der Brennstoffhandel nicht nur als Rohstofflieferanten auftreten, sondern auch Dienstleistungen im Bereich der Brennstoffbereitstellung und des Betriebs von Heizwerken anbieten. Regional bereitgestellte Brennstoffe sind häufig be-

sonders wettbewerbsfähig und auch die Wärmebereitstellung in dezentralen Heizwerken oder kleineren Einzelfeuerungen bietet vielfältige Beschäftigungs- und Einkommensmöglichkeiten im ländlichen Raum. Weiteres Nutzungspotenzial ist vor allem durch den Bau und Betrieb von Nahwärmeversorgungssystemen zu erwarten.

Die oben getroffenen, vorwiegend auf Holz als dem wichtigsten biogenen Energieträger für die Wärmeerzeugung bezogenen Aussagen gelten im Wesentlichen auch für halmgutartige Brennstoffe wie Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe.

Neben der ausschließlichen Wärmeerzeugung bietet vor allem die Wärmenutzung bei der Stromproduktion ökonomisch wie ökologisch interessante Perspektiven.

5.3 Strom aus Biomasse

Bei der Stromerzeugung aus Biomasse sind pauschale Aussagen schwierig. Im Folgenden wird differenziert auf die wichtigsten Erzeugungsoptionen eingegangen.

Die Bestimmung der **Klimaschutzwirkung** erfolgt durch den Vergleich mit der fossilen Stromproduktion, deren Emissionswerte maßgeblich vom verwendeten Brennstoff, aber auch von der zum Einsatz kommenden Technologie abhängen. So sind beispielsweise bei der Erdgasverstromung in einem modernen Kraftwerk ca. 360 g CO₂ Äquiv./kWh und bei der Braunkohleverstromung ca. 950 g CO₂ Äquiv./kWh anzusetzen. Als mittleren, den heutigen deutschen fossil befeuerten Kraftwerkspark kennzeichnenden Wert kann 650 g CO₂ Äquiv./kWh angenommen werden. Die durch die Verstromung von Biomasse emittierte CO₂-Menge wird maßgeblich von einer eventuellen Gutschrift durch die Wärmenutzung über KWK mit beeinflusst. Im Falle von NawaRo-Anlagen erstreckt sich die übliche Spanne bestehender Anlagen von 170 g CO₂ Äquiv./kWh ohne Wärmenutzung bis zu 60 g CO₂ Äquiv./kWh bei einer 80 %-igen Abwärmenutzung über KWK.

Wird Gülle als Substrat in Biogasanlagen verwendet, können sogar negative Werte erzielt werden, da neben der Substitution fossiler Energieträger auch noch klimaschädliche Methanemissionen vermieden werden. Die CO₂-Emissionen liegen dann um 800 g CO₂ Äquiv./kWh unter denen des durchschnittlichen Strommixes.

Beim Einsatz von Biomasse in Kohlekraftwerken wird der klimaschädlichste fossile Brennstoff – die Kohle – substituiert, so dass CO₂-Emissionsminderungen von über 600-1000 g CO₂ Äquiv./kWh erzielbar sind.

Die CO₂-Vermeidungskosten liegen bei der Mitverbrennung bei ca. 30 Euro/t CO₂-Äquivalent, bei Biogaserzeugung aus Gülle bei ca. 75 Euro/t CO₂-Äquivalent und bei der Biogaserzeugung aus Maissilage bei ca. 170 Euro/t CO₂-Äquivalent.

Bei der Biogasnutzung entstehen auch **andere Umweltwirkungen**. Die Biogasproduktion aus Gülle hat den Vorteil, dass die Emissionen von Methan, Ammoniak und Lachgas in die Atmosphäre bei optimiertem Betrieb der Anlage und bei einer Weiterentwicklung der Anlagentechnik weiter verringert werden können. Dadurch wird darüber hinaus erreicht, dass mehr Nährstoffe der eingesetzten Substrate wieder auf den landwirtschaftlichen genutzten Flächen ausgebracht werden können. Somit werden endliche Ressourcen wie Phosphate und andere Nährstoffe und Mineralstoffe, v. a. gegenüber einer Verbrennung der Biomasse, geschont und eine energieaufwändige Herstellung von Stickstoffdüngern reduziert. Die Gärreste der Biogasanlagen leisten darüber hinaus einen positiven Beitrag zur Humusbilanz. Gleichzeitig bestehen Befürchtungen, dass durch die regionale oder lokale Konzentration des Maisanbaus für die Biogaserzeugung die Artenvielfalt oder der Boden- und Gewässerschutz leiden. Eine Weiterentwicklung des Zwischenfruchtanbaus kann hierzu auch zur Entspannung beitragen.

Die Nutzung von Palmöl zur Stromerzeugung birgt große Risiken wie die Zerstörung wertvoller natürlicher Lebensräume, wie z. B. Regenwälder durch Umwandlung in Ölpalmlantagen.

Je nach Brennstoff und der Art der Stromerzeugung ist die Kostendifferenz zwischen Biomasse und fossilen Energieträgern mehr oder weniger groß. Fossil erzeugter Strom kann in Deutschland zu Kosten von 3-5 ct/kWh bereitgestellt werden. In diesem Bereich liegen auch die Erzeugungskosten für Strom aus Altholz. Das Potenzial ist allerdings bereits zum größten Teil genutzt. Durch die Mitverbrennung von Biomasse (z. B. Stroh) in Kohlekraftwerken kann Strom für ca. 6-7 ct/kWh bereitgestellt werden. Im Biogasbereich liegen die Kosten je nach Größe der Anlage bei Gülle durchschnittlich bei ca. 11 ct/kWh, während die Kosten bei Maissilage ca. 17 ct/kWh betragen. Die Rentabilität hängt also stark von der Art der Nutzung ab.

Die Biogasnutzung, aber auch in eingeschränktem Maße die Mitverbrennung z. B. von Stroh in Kohlekraftwerken, bieten Möglichkeiten für zusätzliche **Wertschöpfung und Arbeitsplätze im ländlichen Raum**. Da die Substrate für die Biogaserzeugung feucht sind und damit wenig transportwürdig, haben dezentrale Anlagen im ländlichen Raum häufig wirtschaftliche Vorteile. Voraussetzung ist derzeit allerdings eine finanzielle Unterstützung, wie sie durch höhere Einspeisetarife erfolgt. Bei der Mitverbrennung von anderweitig nicht benötigter Biomasse (z. B. Stroh in Überschussgebieten) in nahe gelegenen Kohlekraftwerken bieten sich zudem Wertschöpfungspotenziale vor allem für Landwirte.

5.4 Biokraftstoffe

Der Beitrag der Biokraftstoffe der ersten Generation zur **Treibhausgasminderung** ist in der Regel geringer als dies bei der Wärmenutzung der Fall ist. Vor allem die energieaufwändigen Konversionsprozesse bei der Biotreibstoffherstellung wirken sich negativ aus Sicht des Klimaschutzes aus. Für Biodiesel und Rapsöl ergibt sich im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen im Mittel eine Treibhausgasminderung um ca. 50 % und für Bioethanol aus Getreide von ca. 30 % bis 70 %. Biokraftstoffe der zweiten Generation versprechen nach derzeitigen Erkenntnissen ein besseres Reduktionspotenzial. Für BtL-Kraftstoffe¹ wird ein Treibhausgasminderungspotenzial von ca. 90 % und für Bioethanol aus Lignocellulose ein Treibhausgasminderungspotenzial von ca. 80 % erwartet. Diese Werte beruhen allerdings auf der Annahme, dass der hohe Energiebedarf für die Umwandlung der Biomasse in Kraftstoff durch erneuerbare Energien bereitgestellt wird.

Der Beitrag zum Klimaschutz durch die Substitution von fossilen Kraftstoffen durch Biotreibstoffe der ersten Generation liegt bei ca. 3-7 t CO₂/ha². Dabei sind allerdings die als Kuppelprodukte erzeugten Nahrungs- und Futtermittel nicht berücksichtigt, weshalb die Vergleichbarkeit mit Kraftstoffoptionen, die die ganze Pflanze verwerten, nur eingeschränkt möglich ist. Durch die höheren Biomasseerträge pro Hektar liegen diese Werte bei Ethanol aus Zuckerrohr allerdings deutlich höher und auch beim Einsatz von Zuckerrüben sind die Werte besser als bei Getreide. Auch der Einsatz von Biomethan oder BtL als Kraftstoff führt zu höheren Treibhausgaseinsparungen pro Hektar.

Die Treibhausgasvermeidungskosten liegen bei Biokraftstoffen der ersten Generation aus einheimischer Produktion bei 80 bis 300 Euro/t CO₂-Äquivalent, für Biokraftstoffe der zweiten Generation werden Werte von unter 100 Euro/t erwartet. Die Verwendung von Bioethanol aus brasilianischem Zuckerrohr führt mit -27 Euro/t CO₂-Äquivalent zu einer Kostenersparnis; dabei ist jedoch nicht berücksichtigt, ob und ggfs. inwieweit Nachhaltigkeitskriterien eingehalten sind. Es ist zu berücksichtigen, dass sowohl die Höhe der Treibhausgasminderung an sich als auch die Kosten hierfür stark vom fossilen Referenzkraftstoff abhängen.

Bei der Erzeugung von Biomasse kann es zu negativen **Umweltwirkungen** kommen. Die Ausdehnung von Sojaöl-, Palmöl- oder Zuckerrohrplantagen birgt erhebliche Umweltrisiken. Besonders zu nennen ist die Zerstörung wertvoller natürlicher Lebensräume, wie z. B. Regenwälder.

¹ BtL-Kraftstoff: Biomass to Liquid-Kraftstoff

² Ethanol aus brasilianischem Zuckerrohr: 15 t CO₂Äquiv/ha

Durch die Substitution von Erdöl durch Biokraftstoff erhöht sich die **Versorgungssicherheit**. Welche Menge Erdöl pro Flächeneinheit substituiert werden kann, hängt von der Art des Biotreibstoffs ab. Bei Biodiesel, Pflanzenöl und Ethanol (aus Getreide) liegen die Werte ca. bei 1.000-1.500 l pro Hektar unter deutschen Verhältnissen. Bei Biomethan und BtL liegen die Flächenerträge bei ca. 3.000-4.000 l pro Hektar¹. Wird Ethanol aus Zuckerrüben hergestellt, liegen die Flächenerträge wahrscheinlich zwischen denen von Ethanol aus Weizen und Kraftstoffen der zweiten Generation. Die Flächenerträge bei Palmöl und Ethanol aus Zuckerrohr liegen bei 5.000-6.000 l/ha. Da die alternativen Substitutionsmöglichkeiten von Erdöl im Verkehrsbereich begrenzt sind, spielt hier die Biomasse eine besondere Rolle bezüglich der Versorgungssicherheit.

Bezüglich der **Wirtschaftlichkeit** sind in Deutschland hergestellte Biotreibstoffe der ersten Generation derzeit wesentlich teurer als Benzin oder Diesel. Das gleiche gilt für Biomethan. In tropischen Ländern lassen sich Biotreibstoffe der ersten Generation allerdings bereits heute zu ähnlichen Kosten wie fossile Kraftstoffe herstellen.

Die **zusätzliche Wertschöpfung in der Landwirtschaft** ist bei der heute üblichen Form der Biokraftstoffherstellung begrenzt, da Landwirte vor allem als Rohstofflieferanten auftreten. Einkommenseffekte für Landwirte können sich auch durch Preissteigerungen der landwirtschaftlichen Rohstoffe aufgrund der gestiegenen Nachfrage ergeben. Dies ist in Deutschland derzeit vor allem beim Raps der Fall. Biokraftstoffanlagen können zudem dazu beitragen, im **ländlichen Raum** bei Zulieferern und örtlichem Handwerk Wertschöpfung zu schaffen. Da die Verarbeitung bei den Verfahren der Kraftstoffherstellung jedoch in der Regel in kapitalintensiven, aber arbeitsexensiven Anlagen stattfindet, kann nur mit begrenzten positiven Arbeitsplatzeffekten im ländlichen Raum gerechnet werden.

5.5 Vergleichende Bewertung

Weder Wirtschaftlichkeit noch das CO₂-Verminderungspotenzial einer Bioenergietechnologie können als alleiniges Kriterium für die Bewertung der unterschiedlichen Nutzungsoptionen der Biomasse herangezogen werden.

Die Betrachtung der Kosten zeigt, dass die Verstromung von Holz sowie die Wärmebereitstellung aus Holz die kostengünstigsten energetischen Biomassenutzungen darstellen. Die Mehrkosten gegenüber konventionellen Anlagen fallen vergleichsweise gering aus, oftmals kann Wärme aus Biomasse auch mit der fossil erzeugten Wärme konkurrieren. Kraftstoffe zeigen dagegen zwar eine zur Wärmebereitstellung ähnliche Treibhausgasreduzierung je er-

¹ Angaben jeweils in Relation zum Energieinhalt von fossilem Kraftstoff.

zeugter kWh jedoch bei leicht erhöhten Kosten. Die Verstromung von Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen und Gülle fällt aus Kostengesichtspunkten negativ aus dem Rahmen. Der Vorteil dieser Nutzungsoption liegt primär in den nutzbaren Potenzialen.

Bei der Stromerzeugung aus Biomasse sind die substituierbaren Treibhausgasemissionen am größten. Dies ist v. a. dann der Fall, wenn Kohlestrom ersetzt wird oder klimaschädliche Methanemissionen beim Einsatz von Gülle zur Stromerzeugung vermieden werden. Wird Biogas zur Stromerzeugung ohne Kraft-Wärme-Kopplung aus angebauter Biomasse verwendet, ist dieser Vorteil jedoch geringer.

Die Klimaschutzwirkung ist bei der Kraftstofferzeugung aufgrund der geringeren Nettoenergieerträge und der relativ hohen CO₂-Vermeidungskosten im Vergleich zur Strom- und Wärmeerzeugung geringer einzustufen .

Die flächenspezifische Betrachtung der Treibhausgasverminderung führt wiederum zu anderen Ergebnissen. Für ausgewählte Biomassenutzungspfade lassen sich beispielsweise die folgenden flächenspezifischen Treibhausgaseinsparungen abschätzen ¹.

1. Stromerzeugung (Holz ersetzt Kohle)	14 t CO ₂ -Äq /ha
2. Biokraftstoff Rapsölmethylester (Glycerin genutzt)	2,5 t CO ₂ -Äq /ha
3. Biokraftstoff Ethanol (Weizen, Schlempe energetisch genutzt)	4,5 t CO ₂ -Äq /ha
4. Biokraftstoff Ethanol (Weizen, Schlempe Viehfutter)	3,0 t CO ₂ -Äq /ha

Bei der Interpretation sind die Randbedingungen für den Einsatz der einzelnen Technologien zu beachten. Dies sind v. a.:

- die Verfügbarkeit der Rohstoffe (Holzverstromung erfordert große Anlagen mit entsprechendem Holzbedarf),
- die örtlichen Gegebenheiten (Wärme sollte am Ort der Erzeugung verwendet werden) und
- die Zielsetzung (Mobilität aus Erneuerbaren Energien kann derzeit am einfachsten über Biomasse realisiert werden).

Bei den **sonstigen Umweltwirkungen** ist keine eindeutige Vorzüglichkeit der drei Optionen zu erkennen. Bei der Verbrennung fester Biomasse zur Wärmeerzeugung kann es v. a. bei kleineren und älteren Heizanlagen zu Emissionsbelastungen kommen. Mögliche Auswirkungen der Nutzung von Holz aus der Forstwirtschaft oder durch die Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf Naturhaushalt, Biodiversität, Landschaftsbild und Erholungswert der Landschaft sind ausreichend zu berücksichtigen. Bei der Stromerzeugung sind im Vergleich zu fossilen Brennstoffen keine negativen Emissionen zu erwarten. Insbesondere die Verwertung von Gülle in Biogasanlagen zeigt erhebliche positive Umwelteffekte. Zum Teil werden jedoch

¹ SRU, 2008

bei der Biomasseerzeugung negative Auswirkungen für die Artenvielfalt und den Boden durch einseitige Fruchtfolgen und ein insgesamt steigender Nutzungsdruck befürchtet.

Bei der **Versorgungssicherheit** schneidet die Wärmeerzeugung aus Biomasse sehr positiv ab, da fast ausschließlich die Importrohstoffe Erdöl und Erdgas ersetzt werden. Gleichzeitig werden relativ große Energiemengen pro Flächeneinheit auf heimischer Basis erzeugt, weshalb der Umfang der Importsubstitution auch relativ groß ist. Da bei der Stromproduktion der Anteil fossiler Importrohstoffe geringer ist, ist der Beitrag der Biomasse zur Versorgungssicherheit auch kleiner. Biokraftstoffe tragen besonders zur Versorgungssicherheit bei, da anders als in anderen Bereichen auf absehbare Zeit kaum alternative erneuerbare Quellen zur Verfügung stehen. Durch heimisch erzeugte Biotreibstoffe wird fast ausschließlich Erdöl ersetzt, die gesamte substituierbare Energiemenge ist jedoch sowohl pro Flächeneinheit als auch absolut geringer als im Wärmebereich. Diese Einschränkung gilt bei Ethanol aus Zuckerrohr oder Biodiesel aus Palmöl nicht, da deren Flächenerträge an den oftmals äquatornahen Standorten höher sind.

Hinsichtlich der **Energieeffizienz** lassen sich bei der Verbrennung von fester Biomasse mit vergleichsweise geringem technischem Aufwand relativ hohe Wirkungsgrade bei der Umwandlung von Biomasse in Wärme erzielen. Verluste entstehen hierbei erzeugerseitig im Wesentlichen nur bei der Holzverbrennung. Konversionsseitig sind nur die heißen ungenutzten Verbrennungsabgase und ggf. die Kesselabwärme, wenn dieser nicht am Ort der eigentlichen Wärmenutzung aufgestellt ist, zu nennen. Für die Energieeffizienz sind Werte zwischen 60 und 80 % üblich. Ähnlich gute Werte lassen sich auch mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) erzielen. Jedoch ist bei diesen Anlagen die vorhandene Spreizung, die sich von ca. 25-75 % erstreckt, sehr viel größer. Verursacht wird diese in erster Linie durch die Vielzahl der zur Verfügung stehenden Techniken (Pflanzenölmotoren, Dampfturbinenprozesse, ...), aber auch durch unterschiedlich effiziente Verfahren der Abwärmenutzung.

Deutlich niedrigere Werte weisen die Kraftstofferzeugung (5-40 %) und die reine Stromerzeugung (rund 30-40 %) auf. Erstere haben das Problem des hohen Energieeinsatzes bei der Herstellung der Kraftstoffe und letztere verzichten auf den Energieeffizienzgewinn durch die Nutzung der Abwärme, die unweigerlich bei der Stromerzeugung anfällt. Der Anteil der Wärmenutzung bei der Stromerzeugung (KWK) hat in den vergangenen Jahren aber kontinuierlich zugenommen.

Bei der **Wertschöpfung und den Arbeitsplätzen im ländlichen Raum** weist vor allem die Wärmeerzeugung Vorteile auf, da hier dezentrale Strukturen besonders wettbewerbsfähig sind. Importe der Brennstoffe sind häufig unwirtschaftlich und die Wärme lässt sich nicht über längere Strecken transportieren, so dass zentrale Großheizwerke nicht wirtschaftlich be-

trieben werden können. Folglich stammen die verwendeten Brennstoffe meist aus dem lokalen Umfeld und auch der Betrieb und die Wartung der Anlagen schafft Arbeitsplätze im ländlichen Raum. Außerdem eignen sich auch geringwertige Holzfraktionen als Brennstoff für die Wärmeerzeugung, da sie kaum alternative Verwendungsmöglichkeiten haben. Holz kann vor Ort zu geeigneten Brennstoffen verarbeitet werden. Beide Aspekte tragen zur Steigerung der Wertschöpfung im ländlichen Raum bei.

Bei der Strom- und Wärmeerzeugung mit Hilfe von Biogas kommt es ebenfalls zu positiven Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzeffekten im ländlichen Raum, da die verwendete Gülle oder feuchte Biomasse nicht sehr transportwürdig sind. Auch kann Gülle keiner anderweitigen energetischen Nutzung zugeführt werden, so dass durch die Verwendung in Biogasanlagen eine zusätzliche Wertschöpfung im ländlichen Raum entsteht. Eine dezentrale Stromerzeugung ist allerdings häufig weniger wettbewerbsfähig als dies in zentralen Anlagen der Fall ist, so dass hier im Vergleich zu der Wärmeerzeugung ein größerer staatlicher Stützungsbedarf gegeben ist. Die Mitverbrennung in Großkraftwerken hat hingegen geringere positive Auswirkungen auf Arbeitsplätze und Wertschöpfung im ländlichen Raum, da deren Standort nicht zwangsläufig im ländlichen Raum angesiedelt ist.

Bei den Kraftstoffen ist eine wirtschaftliche Erzeugung häufig nur in kapitalintensiven großtechnischen Verarbeitungsanlagen möglich. Der Landwirt fungiert als Rohstofflieferant, Abnehmer von Kuppelprodukten und als Teil der weiteren Wertschöpfungskette.

Die beschriebenen Vor- und Nachteile der einzelnen Konversionstechnologien machen deutlich, dass sich keine eindeutige Vorzüglichkeit eines speziellen Biomassenutzungspfades feststellen lässt.

6. Quellen

BMU, 2007	Erneuerbare Energie in Zahlen, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Februar 2007, http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/38788/5466/
Dena, 2006	Biomass to Liquid – Realisierungsstudie, Deutsche Energie Agentur GmbH (dena), Berlin, Dezember 2006, http://www.dena.de/de/themen/thema-mobil/projekte/projekt/btl-studie/
EEG-Monitoring, 2007	Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Biomasse, April 2007, http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/36204/4593/
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, www.fnr.de
IEA, 2006b	“Renewables Information”, Paris 2006
IER, 2007	Analysen des Institute of Energy Economics and Rational Use of Energy (IER), Universität Stuttgart, persönliche Ausarbeitung von Andreas König und Ludger Eltrop, 2007
Mantau, 2006	Mantau, U., Sörgel, C., Energieholzverwendung in privaten Haushalten, Marktvolumen und verwendete Holzsortimente – Zwischenbericht vom 06.07.06. Hamburg 2006, 18 S.
SRU, 2007	Sachverständigenrat für Umweltfragen, Sondergutachten 2007 „Klimaschutz durch Biomasse“
WBGU, 2008	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, Gutachten 2008 „Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung“
Wuppertal-Institut	www.wupperinst.org

7. Einheiten und Abkürzungen

Einheiten

a	Jahr
t	Tonne
g	Gramm
ha	Hektar (=10.000 Quadratmeter)
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
J	Joule

Vorzeichen für Energieeinheiten

E	Exa	10^{18}
P	Peta	10^{15}
T	Tera	10^{12}
G	Giga	10^9
M	Mega	10^6
K	Kilo	10^3

Verwendete Abkürzungen

EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MAP	Marktanreizprogramm
TM	Trockenmasse
THG	Treibhausgas
el	elektrisch
th	thermisch