



BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG

Rolf Meyer
Armin Grunwald
Christine Rösch
Arnold Sauter

Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen

Basisanalysen

Dezember 2007
Arbeitsbericht Nr. 121



Umschlagbild:
© Olaf Schneider/PIXELIO



INHALT

| | |
|--|-----|
| ZUSAMMENFASSUNG | 5 |
| <hr/> | |
| I. EINLEITUNG | 23 |
| 1. Problemstellung und Zielsetzung | 24 |
| 2. Vorliegende Untersuchungen des TAB | 25 |
| 3. Vorgehensweise | 25 |
| 4. Aufbau des Berichts | 26 |
| <hr/> | |
| II. GRUNDLAGEN | 29 |
| 1. Einordnung und Definition Energiepflanzen | 29 |
| 2. Strukturierung des Technikfeldes Bioenergie | 36 |
| 2.1 Landwirtschaft | 39 |
| 2.2 Konversion zu Sekundärenergieträgern | 43 |
| 2.3 Konversion zu Nutzenergie | 56 |
| 2.4 Nutzung | 64 |
| 3. Züchtung von Energiepflanzen | 68 |
| 3.1 Ein- und zweijährige Pflanzen | 69 |
| 3.2 Mehrjährige Pflanzen: schnellwachsende Baumarten | 87 |
| 4. Nutzungskonkurrenzen bei Energiepflanzen | 100 |
| 5. Fazit | 106 |
| <hr/> | |
| III. AUSBAUZIELE UND FÖRDERPOLITIKEN | 111 |
| 1. Ausbauziele und Rahmenbedingungen | 111 |
| 1.1 Internationaler Rahmen | 112 |
| 1.2 Energiepolitische Ausbauziele | 112 |
| 1.3 Agrarpolitische Rahmenbedingungen | 120 |
| 1.4 Wirtschafts-, Struktur- und Regionalpolitik | 122 |
| 1.5 Gesamtheit förderpolitischer Rahmenbedingungen | 123 |
| 2. Förderpolitiken | 124 |
| 2.1 Förderinstrumente | 125 |
| 2.2 Stand der Förderung | 129 |



INHALT

| | | |
|-------|---|-----|
| 3. | Auswirkungen der Förderpolitiken | 134 |
| 3.1 | Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien | 134 |
| 3.2 | Flächenpotenziale und Flächenbedarf | 136 |
| 3.3 | Konkurrenz von Strom, Wärme und Kraftstoffen | 138 |
| 3.4 | Marktentwicklung | 140 |
| 4. | Fazit | 140 |
| <hr/> | | |
| IV. | FORSCHUNGSSTAND UND AUSWERTUNG VON SZENARIENSTUDIEN | 143 |
| 1. | Studien zu Bioenergie und Energiepflanzen | 143 |
| 2. | Auswertung von Szenarienstudien | 146 |
| 2.1 | Zielsetzungen und Grunddaten der Szenarienstudien | 146 |
| 2.2 | Kernaussagen zu erneuerbaren Energien, Bioenergie und Energiepflanzen | 154 |
| 2.3 | Flächenpotenziale für Energiepflanzen | 160 |
| 2.4 | Energiepotenziale und Beitrag zur erneuerbaren Energieversorgung | 169 |
| 2.5 | Offene Fragen | 172 |
| 3. | Ökologische Wirkungen | 173 |
| 3.1 | Bioenergieökobilanzen | 174 |
| 3.2 | Bioenergie und Naturschutz | 192 |
| 3.3 | Abbau nichterneuerbarer Phosphatressourcen | 194 |
| 3.4 | Energiepflanzen und Wasserhaushalt | 195 |
| 3.5 | Energiepflanzen und Kulturlandschaft | 196 |
| 3.6 | Fazit | 197 |
| 4. | Ökonomische Wirkungen | 198 |
| 4.1 | Produktionskosten | 198 |
| 4.2 | Wirtschaftlichkeit | 201 |
| 4.3 | Aussenschutz | 204 |
| 4.4 | Subventionen | 205 |
| 4.5 | Beschäftigungswirkungen | 207 |
| 5. | Fazit | 209 |
| <hr/> | | |
| V. | POLITISCHE THEMENFELDER | 217 |
| 1. | Forschungspolitik und Innovationspolitik | 217 |
| 2. | Agrarpolitik und Regionalpolitik | 219 |
| 3. | Klimaschutzpolitik und Umweltpolitik | 222 |
| 4. | Handelspolitik und Entwicklungspolitik | 224 |

| | | |
|-------|---|-----|
| VI. | UNTERSUCHUNGSSCHWERPUNKTE DER ZWEITEN PROJEKTPHASE | 227 |
| 1. | Dimensionen einer umweltverträglichen Energiepflanzenproduktion | 227 |
| 2. | Ausbau der Energiepflanzennutzung und Flächenkonkurrenz national und international | 228 |
| 3. | Zertifizierung biogener Energieträger | 229 |
| 4. | Ausblick | 230 |
| <hr/> | | |
| | LITERATUR | 231 |
| 1. | In Auftrag gegebene Gutachten | 231 |
| 2. | Weitere Literatur | 231 |
| <hr/> | | |
| | ANHANG | 247 |
| 1. | Tabellenverzeichnis | 247 |
| 2. | Abbildungsverzeichnis | 248 |



ZUSAMMENFASSUNG

Biomasse als Energieträger steht auf der politischen Tagesordnung und in der Wahrnehmung der Medien zurzeit ganz oben. Mehrere Entwicklungen kommen hier zusammen. Eine Verknappung von Erdöl und Ergas in den nächsten Jahrzehnten und der in den letzten Jahren stark gestiegene Ölpreis motivieren die Suche nach alternativen, möglichst erneuerbaren Energieträgern. Die Abhängigkeit Deutschlands von Energieimporten wird zunehmend als Problem empfunden, sodass verstärkt nach »heimischen« Energieträgern Ausschau gehalten wird. Schließlich folgt aus der zunehmend als dringlich erkannten Problematik des Klimawandels die Notwendigkeit der Substitution fossiler durch erneuerbare Energieträger. In der Summe hat diese Situation dazu geführt, dass große Hoffnungen in die energetische Nutzung von Biomasse gesetzt werden.

Zur Verringerung des Ausstoßes klimarelevanter Gase und der Abhängigkeit von Importen fossiler Energieträger hat die EU beschlossen, bis zum Jahr 2020 20 % des Primärenergiebedarfs durch erneuerbare Energieträger zu decken. Biomasse ist sowohl in der Europäischen Union als auch in Deutschland mit einem Anteil von rund zwei Dritteln der wichtigste erneuerbare Energieträger. Ihr wird auch eine große Bedeutung in den Ausbaustrategien für erneuerbare Energien zugeschrieben. Aufgrund der staatlichen Förderung sind in Deutschland die Biokraftstoffherzeugung und die Biogaserzeugung in den letzten Jahren stark angestiegen. Dieser Teil der Bioenergie beruht im Wesentlichen auf Energiepflanzenanbau.

Zunehmend wird allerdings die Befürchtung geäußert, dass durch den Ausbau der Biokraftstoffproduktion die Lebensmittelpreise parallel zu den Kraftstoffpreisen steigen werden, weil Nahrungsmittel- und Biokraftstoffproduktion um dieselben Anbauflächen konkurrieren. Dies würde dazu führen, dass Nahrungsmittel und die Ressourcen zu ihrer Herstellung insgesamt teurer und für Arme sogar unerschwinglich werden. Ein weiterer Diskussionspunkt ist, in welchem Umfang die ambitionierten Ausbauziele zum Import von Bioenergieträgern führen und in den tropischen Exportländern eine Ausweitung der Anbauflächen auf Kosten von Regenwald auslösen werden, was im Fall einer Regenwaldrodung sogar erhöhte Treibhausgasemissionen anstelle einer Reduktion bedeuten würde.

Ein Ausbau der Bioenergie- und Energiepflanzenutzung erfolgt aufgrund der bislang mangelnden Wirtschaftlichkeit nicht von selbst, sondern bedarf der politischen Gestaltung. Die angestrebte verstärkte Nutzung von landwirtschaftlichen Pflanzen als erneuerbare Energieträger ist somit eine wichtige Fragestellung und Herausforderung im Schnittpunkt von Energie-, Umwelt-, Agrar-, Forschungs- und Wirtschaftspolitik. Die Vielfalt möglicher Optionen und Strategien und der



damit verbundenen sozioökonomischen und umweltrelevanten Auswirkungen spiegelt sich u. a. in einer großen Zahl bereits vorliegender Studien wie auch laufender Forschungsprojekte wider.

Das TA-Projekt »Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen« (Kurztitel »Energiepflanzen«) ist vom Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung am 27. September 2006 beschlossen worden, basierend auf insgesamt sieben Projektvorschlägen aus den Fraktionen der CDU/CSU, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. Mit diesem Bericht werden die Ergebnisse der ersten Projektphase vorgelegt, bei der eine vergleichende Auswertung vorliegender Studien im Mittelpunkt stand. Damit soll ein fundierter Überblick über den Stand des Wissens, strittige Einschätzungen und offene Fragen gegeben werden.

GRUNDLAGEN

Traditionelle Biomasse (d.h. traditionelle Nutzungen insbesondere in Entwicklungsländern wie Brennholz und Holzkohle) ist auf globaler Ebene der wichtigste erneuerbare Energieträger (9 % des weltweiten Primärenergieverbrauchs) und in vielen Entwicklungsländern von großer Bedeutung. Aber auch bei der Wärmeerzeugung in Deutschland spielt die traditionelle Biomassenutzung (Einzelöfen wie Kamin- und Kachelöfen in Haushalten) eine wichtige Rolle.

Moderne Biomasse bedeutet dagegen eine Nutzung in größerem Maßstab mit modernen Technologien und als Ersatz für konventionelle fossile Energieträger. Rohstoffbasis für die moderne Biomassenutzung sind Energiepflanzen im landwirtschaftlichen Anbau, forstwirtschaftliche Nebenprodukte, Reststoffe aus der Holzverarbeitung sowie organische Nebenprodukte und Abfälle.

Unter *Energiepflanzen* werden schließlich landwirtschaftliche Nutzpflanzen verstanden, die mit dem Hauptziel einer Energienutzung angebaut werden. Energiepflanzen sind ein Teil der modernen Biomasse bzw. Bioenergie und ihr energetischer Einsatz kann in den Bereichen Wärme, Strom und Kraftstoffe erfolgen. Teilweise wird der Begriff Energiepflanze allerdings auch nur bei einer Ganzpflanzennutzung verwendet. Bisher findet – wie bei der Nahrungsmittelproduktion – überwiegend eine Teilpflanzennutzung statt.

PRODUKTLINIEN DER ENERGIEPFLANZENNUTZUNG

Von den Energiepflanzen auf dem Acker bis zur nutzbaren Energie ist ein weiter Weg mit verschiedenen Prozessschritten zurückzulegen. Vielfältige Alternativen existieren für die Erzeugung bzw. Bereitstellung von Biomasse als Primärenergieträger über die Umwandlung zu Sekundärenergieträgern bis zur Endenergienutzung als Wärme, Strom oder Kraftstoff, d.h. unterschiedliche *Produktlinien* können genutzt werden bzw. befinden sich in der Entwicklung.

Die *Verbrennung von fester Biomasse* stellt eine *direkte Umwandlung* von biogenen Primärenergieträgern in End- bzw. Nutzenergie dar. Als Primärenergieträger können forstwirtschaftliche Nebenprodukte (Waldrestholz, Schwachholz), Reststoffe aus der Holzverarbeitung (Industrierestholz bis Altholz), landwirtschaftliche Ernterückstände (Stroh) sowie Energiepflanzen genutzt werden. Als Energiepflanzen kommen holzartige Biomasse (Kurzumtriebsplantagen mit Pappeln oder Weiden) und halmgutartige, lignocellulosehaltige Biomasse (Getreide, Miscanthus) infrage. Die Nutzung von forstwirtschaftlichen Nebenprodukten und von Reststoffen aus der Holzverarbeitung ist bisher vorherrschend. Neben der traditionellen Wärmebereitstellung in Hausfeuerungsanlagen (Endenergiebereitstellung 61,6 TWh 2006 in Deutschland) hat die Wärmeerzeugung in Heizkraft- und Heizwerken (2,2 TWh) und in der Industrie (9,3 TWh) bisher eine geringere Bedeutung. Die Stromerzeugung mit biogenen Festbrennstoffen erfolgt in Heizkraftwerken und reinen Stromerzeugungsanlagen (6,6 TWh).

Für die Verbrennung fester Biomasse zur Erzeugung von Wärme und/oder Strom steht eine Reihe etablierter Technologien zur Verfügung. Die Wärmebereitstellung aus biogenen Festbrennstoffen ist schon heute in der Regel wirtschaftlich und erfährt keine direkte staatliche Förderung. Die Stromerzeugung ist dagegen noch auf die EEG-Förderung angewiesen. Aus dem relativ geringen Energiegehalt der biogenen Festbrennstoffe ergibt sich vorzugsweise eine Nutzung in dezentralen Anlagen kleiner und mittlerer Leistung, möglichst in enger räumlicher Nähe zum Anbaubereich bzw. zum Ort des Anfalls der Biomasse. Für konditionierte (aufbereitete) Holzprodukte wie Pellets gibt es dagegen europäische und internationale Handelsströme.

Die *Konversion zu flüssigen und gasförmigen Sekundärenergieträgern* – auch als »Veredlung von Biomasse« bezeichnet – hat zum Ziel,

- > die Energiedichte zu erhöhen,
- > die Transportfähigkeit zu verbessern,
- > die Nutzung mit den vorhandenen Technologien der Endenergienutzung zu ermöglichen und somit eine Annäherung an das vorhandene Energiesystem zu erreichen.

Bei den Konversionstechnologien gibt es eine Reihe eingeführter Verfahren, die breit genutzt werden und Stand der Technik sind. Dazu gehören die etablierten Konversionsverfahren zu Biokraftstoffen (Pflanzenöl, Biodiesel, Bioethanol) und die Biogaserzeugung. Andere Konversionstechnologien, wie Vergasung und Pyrolyse sowie Biomass-to-Liquid-Prozesse (BtL-Prozesse), befinden sich noch im Stadium der Forschung, Entwicklung und Demonstration.

Aufgrund der staatlichen Förderung sind in den letzten Jahren die Biokraftstoffversorgung (20,7 TWh Biodiesel, 3,1 TWh Pflanzenöl und 3,7 TWh Bioethanol 2006 in Deutschland) und die Biogaserzeugung (5,4 TWh Strom und 5,4 TWh



ZUSAMMENFASSUNG

Wärme) stark angestiegen. Die bisherigen Biokraftstoffe beruhen auf Energiepflanzen in Teilpflanzennutzung. Insbesondere mit dem Ausbau der Biogas-erzeugung hat allerdings auch die Ganzpflanzennutzung an Bedeutung gewonnen.

Der *Vergasung von Biomasse* wird zukünftig voraussichtlich eine Schlüsselrolle zukommen. Vereinzelt wird dies auch der Pyrolyse zugesprochen. Mit der Vergasung soll einerseits die Rohstoffbasis erweitert werden, indem in diesem Prozess von Energiepflanzen über landwirtschaftliche Ernterückstände, forstwirtschaftliche Nebenprodukte und Reststoffe der Holzverarbeitung bis hin zu organischen Nebenprodukten und Abfällen genutzt werden sollen. Mit einer Ganzpflanzennutzung bei den Energiepflanzen soll gleichzeitig der Energieertrag pro landwirtschaftliche Fläche deutlich erhöht werden. Andererseits eröffnet das Produktgas aus der Vergasung vielfältige Nutzungswege, von der Strom- und Wärmeerzeugung über die Herstellung synthetischer Kraftstoffe und Biomethan bis hin zur stofflichen Nutzung.

Die *Züchtung* von Energiepflanzen steht noch relativ am Anfang. Ziel ist, in möglichst kurzer Zeit geeignetes Sortenmaterial aus einem möglichst breiten Artenspektrum zur Verfügung zu stellen. Ergänzend sind geeignete Fruchtfolgen zu entwickeln, die Nahrungs- und Futtermittelproduktion einerseits und Energiepflanzenproduktion andererseits harmonisch miteinander verbinden. Die Züchtung konzentriert sich auf Energiepflanzen der zweiten Generation, die in Mitteleuropa als Ganzpflanzen auf absehbare Zeit vor allem zur Biogasproduktion verwendet werden sollen. Massenwüchsige Pflanzenarten wie Mais, Sorghum und Sonnenblume werden für eine Ganzpflanzennutzung züchterisch dahingehend bearbeitet, dass sie möglichst die volle Vegetationszeit mit vegetativem Wachstum ausnutzen. Ein maximaler Biomassertrag stellt bei den meisten landwirtschaftlichen Arten ein grundsätzlich neues Zuchtziel dar. Eher im Stadium einer Vision befinden sich Energiepflanzen der sog. dritten Generation, die neben hohen Massenerträgen spezielle Inhaltsstoffe ausbilden und direkt in den »Bio-raffinerien« der Zukunft stofflich und energetisch verwertet werden sollen. Für eine thermische Nutzung kommen dagegen vor allem mehrjährige, verholzte Pflanzen wie Kurzumtriebspappeln oder -weiden infrage. Eine züchterische Bearbeitung schnellwachsender Baumarten findet derzeit in Deutschland allerdings kaum statt.

AUSBAUZIELE UND FÖRDERPOLITIKEN

Angesichts der absehbaren Erschöpfung der fossilen Energievorräte, des zunehmenden Weltenergiebedarfs und der Umwelt- und Klimaproblematik ist es Aufgabe staatlicher Vorsorge, die Entwicklung von Energieoptionen für die Zukunft zu fördern. Ausdruck der entsprechenden Klimaschutz- und Energiepolitik sind Ausbauziele zur energetischen Nutzung von Biomasse und Förderpolitiken zu

ihrer Erreichung. Die Zielvorgaben und Förderinstrumente für die unterschiedlichen energetischen Nutzungen der Biomasse und den Energiepflanzenanbau sind infolge unterschiedlicher Politiken einerseits und technischer Möglichkeiten andererseits sehr unterschiedlich gestaltet.

Die *Stromerzeugung* aus erneuerbaren Energien kann durch verschiedene Energieträger erfolgen und beinhaltet hohe Klimagasreduktionspotenziale. Ausbauziele bestehen in der EU und ihren Mitgliedstaaten sowie in den untersuchten außereuropäischen Ländern. Entsprechende fördernde Instrumente hierzu sind in den letzten zehn Jahren vor allem auf europäischer Ebene etabliert worden.

Die regenerative *Wärmeerzeugung* erfolgt hauptsächlich auf der Basis von Wald(rest)holz in dezentralen Systemen und ist häufig wirtschaftlich, weswegen sie ohne eine übergeordnete Förderpolitik »überlebt«. Ausbauziele bestehen weder auf EU-Ebene und den einzelnen Mitgliedstaaten noch in den ausgewählten außereuropäischen Ländern. Definierte Ziele, eine umfassende Förderung und ein verbessertes Monitoring der Entwicklung bilden die Voraussetzung für den Ausbau der Wärmeerzeugung aus Biomasse, die im Sinne vielfältiger, dezentraler Anwendungsoptionen und geringer CO₂-Vermeidungskosten als empfehlenswert angesehen wird.

Alternative *Kraftstoffe* können absehbar nur auf Basis von Energiepflanzen produziert werden und sind in erster Linie aus energiepolitischen Gründen interessant. Deswegen hat dieser Bereich in der jüngeren Vergangenheit eine privilegierte Bedeutung – sowohl bei den Zielvorgaben als auch bei der Förderung – erhalten. In der EU soll der Mengenanteil der Biokraftstoffe bis 2010 auf 5,75 % und bis 2020 auf 10 % gesteigert werden, die USA streben einen Biokraftstoffanteil von 15 % in zehn Jahren an. Die Etablierung der Instrumente ist noch im Fluss und eine Auswertung der Effekte daher momentan kaum möglich. Für Biokraftstoffe – anders als für Strom und Wärme – besteht die Möglichkeit, sehr große Mengen in sehr kurzer Zeit über internationale Märkte zu beziehen.

Eingeleitete Fördermechanismen sind vor allem Einspeisevergütungen, Investitionsbeihilfen, Quotenregelungen und Kombinationen dieser Instrumente. Hierzu lässt sich angesichts der gegenwärtigen Situation folgendes Fazit ziehen:

- › *Einspeisevergütungsregelungen* mit festgelegter Laufzeit und sicherer Abnahme zu fixen Tarifen sind in der Lage, die Risiken bei der Investitionsentscheidung zu reduzieren. Die Förderung innovativer Technologien war bisher jedoch nur bei marktnahen Technologien, die faktisch als technisch ausgereift bezeichnet werden können, erfolgreich.
- › Mit *Quotenregelungen* wird ein Mindestanteil erneuerbarer Energien an der Energieerzeugung erreicht. Quotensysteme im Bereich Strom und Biokraftstoffe können technische Entwicklungen durch politisch vorgegebene Mengenbeschränkungen bremsen. Bei Mindestpreissystemen dagegen schaffen techno-



ZUSAMMENFASSUNG

logische Entwicklungen höhere Profite, wodurch Innovationen angeregt werden können.

- › *Investitionshilfen* sind auch ein guter Katalysator für neue Technologien. Dennoch wird dieses Instrument in vielen EU-Ländern unzureichend genutzt.
- › Das geeignete *Zusammenspiel verschiedener Fördermechanismen* zur Risikominimierung wird als der Schlüsselfaktor für eine erfolgreiche und effiziente Einführung der erneuerbaren Energien gesehen.

In den Zielvorgaben zum Ausbau der Nutzung der Biokraftstoff bleibt vielfach unklar, woher diese kommen sollen und wie dies in Einklang mit der Nahrungsmittelversorgung gebracht werden soll. Auch sind konkrete *Umwelt- und Nachhaltigkeitskriterien* in allen betrachteten Bereichen kaum etabliert. Die vor Kurzem begonnenen Debatten um Nutzungskonkurrenzen könnten zu einer zunehmenden Berücksichtigung führen. Erste Hinweise dahingehend liefert die gegenwärtige Diskussion um Nachhaltigkeitsstandards für Biokraftstoffe in den EU-Mitgliedstaaten.

FORSCHUNGSSTAND UND AUSWERTUNG VON SZENARIENSTUDIEN

Es gibt eine große Zahl von fachwissenschaftlichen Veröffentlichungen zu Bioenergie und Energiepflanzen, die einzelne Aspekte der Technikentwicklung, des Einsatzes und der Folgewirkungen behandeln. Mittlerweile gibt es aber auch eine Reihe von Studien, die den derzeitigen Kenntnisstand zusammenfassen und mehr oder weniger auf Politikberatung ausgerichtet sind. Sie haben erneuerbare Energien, Bioenergie, Energiepflanzen oder bestimmte Produktlinien bzw. Nutzungsbereiche zum Gegenstand.

Im Rahmen des TAB-Projekts wurde eine *vergleichende Auswertung der Studien mit Potenzialabschätzungen und Ausbaustrategien* vorgenommen. Zielsetzung dieser Auswertung ist, Kernaussagen der Studien zusammen zu tragen, die Abschätzung des zukünftigen Energiepflanzenanbaus zu vergleichen sowie wichtige Erkenntnisse zu den ökologischen und ökonomischen Wirkungen darzustellen. In die vergleichende Analyse werden sieben Studien einbezogen.

Die *Studien zu Deutschland* stehen in einem gemeinsamen Kontext und wurden alle vom BMU gefördert. Ausgangspunkt sind die Klimaschutzziele der Bundesregierung, in deren Rahmen die erneuerbaren Energien längerfristig zur Hauptquelle der Energieversorgung werden sollen, mit einem Anteil um 50 % bis etwa zur Jahrhundertmitte. Einbezogen wurden mögliche Zielkonflikte zwischen dem Beitrag zur Verringerung von Treibhausgasemissionen einerseits und möglichen negativen Wirkungen in den Bereichen Umwelt- und Naturschutz andererseits. Die *Studien auf europäischer Ebene* sind heterogener.

Allen Studien ist gemeinsam, dass sie letztlich *Szenarien zu Bioenergiepotenzialen* beinhalten. Dabei werden in der Regel die *technischen Potenziale* bestimmt. Damit beschreiben sie nicht, wie sich die *wirtschaftlichen Potenziale* der Bioenergie unter verschiedenen Rahmenbedingungen zukünftig entwickeln. Ausnahmen bildet die mittelfristigen Studien »FORRES 2020« und »EU Bioenergy«, die unter verschiedenen politischen Rahmenbedingungen mittels technisch-ökonomischer Modellierungen die Marktdurchdringung der erneuerbaren Energien bzw. Bioenergie analysieren. Die Szenarien sind von klimaschutzpolitischen (und ergänzenden umwelt- bzw. naturschutzpolitischen) Zielsetzungen ausgehend konstruiert. Sie stellen damit *normative Szenarien* dar und analysieren, inwieweit eine gewünschte Zukunft erreicht werden kann. In den Studien wird damit nur ein Ausschnitt der möglichen Energiezukünfte berücksichtigt. Aus den Zielsetzungen der Studien ergibt sich, dass nur die Erreichbarkeit von Klimaschutzzielen in Verbindung mit Ausbauzielen für erneuerbare Energien untersucht wird.

AUSBAUSZENARIEN UND ENERGIEPFLANZENNUTZUNG

Die Reduktionsziele für Klimagasemissionen und eine nachhaltige Energieversorgung können nur bei einer deutlichen *Steigerung der Umwandlungs- und Nutzungseffizienz* aller Energieträger erreicht werden. Ein wesentliches Element der Ausbauszenarien für erneuerbare Energien ist deshalb eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz gegenüber dem Trend.

In Zukunft wird sich der *Anteil der verschiedenen Energiequellen an den erneuerbaren Energien* deutlich verschieben. Der derzeit dominierende Beitrag der Biomasse (68 % im Jahr 2005 einschließlich biogener Abfälle im Müll) bleibt auf absehbare Zeit noch bestehen. Nach dem Jahr 2030 sind aber die Potenziale weitgehend ausgeschöpft, sodass ihr relativer Beitrag dann deutlich sinkt.

Die Potenziale der *Bioenergie aus anderen Quellen als Energiepflanzen* (also Holz und die verschiedenen biogenen Reststofffraktionen) bleiben langfristig mehr oder weniger konstant. Die größten Unterschiede bei den Studien sind bei den angenommenen Potenzialen für Holz und Stroh zu finden. Energetisch nutzbare biogene Reststoffe sind stark an die land-, forst-, abfallwirtschaftlichen und naturschutzrechtlichen Rahmenbedingungen gekoppelt, die sich je nach Szenario verändern können. Die abgeschätzten Potenziale weisen teilweise erhebliche Differenzen auf.

Die Potenziale der Bioenergieträger auf der Basis von *Energiepflanzen* sind dagegen vor allem von der verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche abhängig, und die Bioenergieerzeugung mittels Energiepflanzen nimmt in den Ausbauszenarien über die Zeit deutlich zu. Gleichzeitig bestehen im Bereich der Energiepflanzen bei der mittel- und langfristigen Abschätzung die größten Unsicher-



heiten, u. a. weil für die zukünftig verfügbare landwirtschaftliche Nutzfläche vielfältige konkurrierende Nutzungsansprüche bestehen.

Die erzielbaren Energiepotenziale aus den abgeschätzten Flächenpotenzialen für Energiepflanzen weisen erhebliche Unterschiede in Abhängigkeit von den genutzten *Produktlinien* auf. Aufgrund der unterschiedlichen Effizienz der verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten kann bei einer vollständigen Verwendung des Biomasseaufkommens in stationären Anlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme ein etwa doppelt so hohes Energiepotenzial erschlossen werden wie bei einer ausschließlichen Erzeugung von Biokraftstoffen. Bei Energiepflanzen führt eine starke Förderung von Biokraftstoffen zur Begrenzung der Potenziale für den Strom- und Wärmebereich, und umgekehrt. Die vorliegenden Ausbauziele für Biokraftstoffe (s. o.) verursachen einen erheblichen Flächenbedarf.

Bei der Abschätzung der energetischen Potenziale von Energiepflanzen muss zunächst das *verfügbare Flächenpotenzial* ermittelt werden. Die zukünftig verfügbaren Flächen für den Anbau von Energiepflanzen sind von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, die in die Kategorien Flächenverfügbarkeit, Flächenproduktivität und konkurrierender Flächenbedarf für die Nahrungsmittelversorgung einteilbar sind.

Zunächst gehen die derzeitigen *Brachflächen*, d. h. die nicht zur Produktion nachwachsender Rohstoffe genutzten obligatorisch stillgelegten Flächen und die freiwillig stillgelegten Flächen, als potenzielle Anbaufläche für den Energiepflanzenanbau in die Flächenpotenzialabschätzung ein.

Der angenommene *Abbau von Überschüssen* liefert in den analysierten Studien einen wichtigen Beitrag zu den Flächenpotenzialen. Agrarflächen, auf denen Überschüsse sogenannter Marktordnungsprodukte (Getreide, Zucker, Ölfrüchte, Eiweißpflanzen, Milch, Rindfleisch u. a.) erzeugt und überwiegend auf den Weltmarkt exportiert werden, werden als potenzielle Flächen für Bioenergieträger angesehen. Dahinter steht das *agrarpolitische Szenario einer weiteren Liberalisierung* der europäischen Agrarpolitik und der internationalen Agrarmärkte. Damit wird der bisherige Trend der Reformen der Gemeinsamen Agrarpolitik fortgeschrieben, und im Rahmen der WTO wird eine erfolgreiche internationale Handelsliberalisierung erwartet.

Einen Einfluss auf die Flächenpotenziale haben die *Annahmen zum Umwelt- und Naturschutz*, die in den Studien szenarienabhängig sind. Differierende Annahmensetzungen in den Szenarien tragen hier wesentlich zu den unterschiedlichen Flächenpotenzialen für Energiepflanzen bei. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) kritisiert, dass bei den biomassebezogenen Szenarien die derzeit bestehenden natur- und umweltrechtlichen Regelungen nicht ausreichend berücksichtigt wurden.

Ein wesentlicher Faktor bei den Energiepflanzenpotenzialen ist schließlich die zukünftige *Produktivitätssteigerung in der Landwirtschaft*. Die Produktivitätserhöhung führt dazu, dass für die Erzeugung der gleichen Nahrungsmittelmenge weniger Land benötigt wird. Die Produktivitätssteigerung in der Pflanzenproduktion bedeutet außerdem, dass beim Energiepflanzenanbau steigende Energieerträge pro Fläche erzielt werden können. Die Annahmen zur zukünftigen Ertragsentwicklung haben entscheidenden Einfluss auf die Potenzialabschätzungen. Es gibt Argumente sowohl für eine optimistische als auch für eine pessimistische Einschätzung der zukünftigen Entwicklung.

Bei den *Ergebnissen der Flächenpotenzialabschätzungen* bestehen zwischen den Studien deutliche Unterschiede. Für Deutschland reichen bei den *Ausbauszenarien mit einer Ausrichtung auf ein maximales Biomasseangebot* die Flächenpotenziale für Energiepflanzen im Jahr 2010 von 1,72 bis 3,54 Mio. ha und im Jahr 2020 sogar von 2,03 bis 5,55 Mio. ha. Die Flächenpotenziale sind deutlich niedriger, nehmen aber ebenfalls im Laufe der Zeit zu, wenn umwelt- und naturschutzpolitische Restriktionen berücksichtigt werden. Die *Ausbauszenarien mit Berücksichtigung von Umwelt- und Naturschutzanforderungen* weisen noch größere Unterschiede auf, mit Flächenpotenzialen für Energiepflanzen im Jahr 2010 von 0,15 bis 2,87 Mio. ha und im Jahr 2020 von 1,1 bis 4,71 Mio. ha. Die Unterschiede beruhen darauf, in welchem Umfang Begrenzungen durch Umwelt- und Naturschutzanforderungen in die Szenarien einbezogen wurden.

Bei der *Abschätzung der Energiepotenziale*, die sich aus den entsprechenden Flächenpotenzialen für Energiepflanzen ergeben, ist wiederum eine ganze Reihe von Annahmen notwendig. So weisen die Energieerträge von Energiepflanzen pro Flächeneinheit in Abhängigkeit von Produktlinie und Nutzungsbereich erhebliche Unterschiede auf. Die Nutzung von Festbrennstoffen, wie Holz von Kurzumtriebsplantagen zur Wärme- bzw. Kraft-Wärme-Nutzung, sowie die Kraft-Wärme-Nutzung von Biogas und Pflanzenöl ergeben beispielsweise wesentlich höhere Energieerträge/ha als die Nutzung von Energiepflanzen zur Herstellung von Kraftstoffen sowie zur alleinigen Stromnutzung.

Die analysierten Szenariestudien arbeiten mit unterschiedlichen Annahmen und legen nicht alle Annahmen offen, was die Nachvollziehbarkeit und den Vergleich erheblich erschwert. Außerdem ist bei einem Teil der Studien der Anteil der Energiepflanzen am Bioenergiepotenzial nicht ausgewiesen. Im Ergebnis weisen die vorliegenden Abschätzungen der *Energiepotenziale für Deutschland* eine noch größere Schwankungsbreite auf als bei den Flächenpotenzialen.

FOLGEN DES ANBAUS VON ENERGIEPFLANZEN

Neben der Analyse der Szenariestudien wurde der Kenntnisstand zu den ökologischen und ökonomischen Wirkungen des Anbaus von Energiepflanzen sowie



zu Nutzungskonkurrenzen ausgewertet. Wichtige Ergebnisse werden im Folgenden zusammengefasst.

ÖKOLOGISCHE WIRKUNGEN

Umweltwirkungen der Bioenergie werden meist auf der Basis von Ökobilanzen ermittelt, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Energie- und Treibhausgasbilanzen gelegt wird. Die Ökobilanzergebnisse von Prozessketten zur energetischen Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe schneiden gegenüber den fossilen Energieträgern am besten ab, da hier die teilweise hohen Umweltbelastungen aus der landwirtschaftlichen Biomassebereitstellung wegfallen. Ebenfalls gute Ergebnisse zeigt die energetische Nutzung von Holz oder mehrjährigen lignocellulosehaltigen Energiepflanzen, denn die Bereitstellung dieser Energieträger ist mit vergleichsweise geringen negativen Umweltauswirkungen verknüpft. Mit einer verstärkten Nutzung von Biomasse für die Bereitstellung von Strom und Wärme kann ein größerer Beitrag zur Verlangsamung des Klimawandels geleistet werden als durch die Herstellung von Biokraftstoffen. Allerdings schrumpft der Wärmemarkt und kann auch von anderen regenerativen Energiequellen mit zum Teil günstigeren Ökobilanzen bedient werden. Der wachsende Kraftstoffmarkt hat dagegen bislang keine regenerativen Alternativen zur Biomasse. Die Ökobilanzen der verwendeten bzw. in der Entwicklung befindlichen Biokraftstoffe unterscheiden sich teilweise deutlich. Biokraftstoffe aus tropischen Ländern und in Entwicklung befindliche wie BtL oder Ethanol aus Lignocellulose haben tendenziell ein größeres Potenzial zur Substitution fossiler Energieträger und zur Verringerung der Klimagasemissionen als bisherige heimische Biokraftstoffe (z.B. Biodiesel aus Raps, Bioethanol aus Mais).

Auch bei Anbau und Verarbeitung von Bioenergieträgern kann ein breites Spektrum von Umweltbelastungen entstehen. Dieses reicht von Überdüngung und Versauerung des landwirtschaftlichen Bodens bis hin zur Mehrbelastung durch gesundheitsschädigenden Feinstaubemissionen und zum Verlust an Artenvielfalt. Bei den meisten Ökobilanzen zeigt sich ein Zielkonflikt zwischen der Substitution fossiler Energie und der Minimierung der Treibhausgasemissionen einerseits und einer positiven ökologischen Gesamtbilanz andererseits. Angesichts dieser Vor- und Nachteile in den unterschiedlichen Bewertungskategorien können auf der Basis von Ökobilanzen allein keine abschließenden Aussagen und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Die Schwierigkeit, zu wissenschaftlich abgesicherten und verallgemeinerbaren Gesamtbewertungen zu kommen, erhöht sich noch, wenn Umweltwirkungen einbezogen werden, die mit den Umweltparametern der Ökobilanzen nicht erfasst werden. Mit der Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus können relevante negative Auswirkungen auf Artenvielfalt, Verfügbarkeit von Phosphat, Wasserhaushalt und Kulturlandschaft auftreten, die mit Ökobilanzen nicht abgebildet werden können. Negative Umweltwirkungen treten insbesondere auf, wenn der Energiepflanzenanbau zur Um-

wandlung von Grünland, zur Intensivierung bislang extensiv genutzter bzw. stillgelegter Flächen oder zu Regenwaldrodungen und Torfbödenutzungen in tropischen Ländern führt.

ÖKONOMISCHE WIRKUNGEN

Die Kosten der Bioenergieerzeugung setzen sich zusammen aus den Kosten für die Biomassebereitstellung bzw. die landwirtschaftliche Energiepflanzenproduktion, den Transport der Biomasse, die Konditionierung und die Konversion zu Sekundär- bzw. Endenergieträgern. Die *Bioenergieerzeugung aus Reststoffen* ist in der Regel kostengünstiger als die aus Energiepflanzen, zumindest solange kostengünstige Reststoffe für die Bioenergienutzung verfügbar sind. Bei einem schnellen Ausbau der Bioenergienutzung und der Einführung neuer Konversionstechnologien auf der Basis von Reststoffen (z.B. Waldrestholz) werden die Potenziale bei gleichzeitigen umwelt- und naturschutzrechtlichen Beschränkungen in absehbarer Zeit nicht ausreichen und zur Verteuerung entsprechender Biomassen führen.

Bei *Energiepflanzen* machen die Kosten der landwirtschaftlichen Produktion einen großen Teil der Gesamtkosten aus und haben somit einen erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Energiepflanzennutzung. Deshalb lassen sich über preiswerte Biomasseträger am ehesten die Kosten senken. Die Kosten für die Energiepflanzenproduktion sind allerdings von der Entwicklung der Agrarpreise abhängig.

Bioenergieträgern mit hoher Energiedichte, wie Biokraftstoffe, haben geringe Transportkosten und werden deshalb global gehandelt. Biokraftstoffe weisen beim *internationalen Vergleich der Produktionskosten* erhebliche Unterschiede auf, wobei beispielsweise die Produktionskosten für Bioethanol aus Zuckerrohr in Brasilien am niedrigsten liegen und diese Bioethanolerzeugung schon heute ohne staatliche Beihilfe konkurrenzfähig ist. Die niedrigeren Produktionskosten in tropischen Ländern sind durch hohe Biomasserträge und niedrige Boden- und Arbeitskosten bedingt.

Die *Preise fossiler Energieträger* bestimmen wesentlich die Wirtschaftlichkeit der Energiepflanzennutzung. Steigende Preise für fossile Energieträger bedeuten nicht nur höhere Preise für Bioenergieträger, sondern bewirken auch steigende Kosten im Energiepflanzenanbau. Außerdem führen steigende Weltmarktpreise für agrarische Rohstoffe tendenziell auch zu steigenden Preisen für Biomasse aus dem Energiepflanzenanbau, die entscheidend für die gesamten Kosten der Energiepflanzennutzung sind. Damit wird eine zunehmende Wirtschaftlichkeit der Bioenergienutzung (durch steigende Preise für Erdöl etc.) voraussichtlich nicht verhindert, aber vermutlich verlangsamt. Einigkeit besteht insoweit, dass die Märkte für fossile Energien, für Energiepflanzen und Bioenergieträger sowie für



ZUSAMMENFASSUNG

Agrarprodukte und Nahrungsmittel mittlerweile miteinander verknüpft sind und sich gegenseitig beeinflussen.

Hinsichtlich *neuer Konversionstechniken* werden wirtschaftliche Vorteile der Vergasungstechnologie im Bereich der Stromerzeugung gesehen, während Verbrennungstechnologien bei der Bereitstellung von Wärme überlegen sind, insbesondere bei kleinen Heizanlagen und den wärmegeführten Heizkraftwerken. Außerdem sind neue Produktlinien der Wärme- und Stromerzeugung näher an der Wirtschaftlichkeit als die BtL-Herstellung. Allerdings gibt es im Bereich der Kraftstoffe gegenwärtig kaum andere Alternativen zu fossilen Energieträgern.

Die Nutzung von Energiepflanzen ist derzeit in der Regel nicht wirtschaftlich. Deshalb werden entsprechende Förderpolitiken (s.o.) eingesetzt, um die Energiepflanzennutzung zu ermöglichen und auszubauen. Die Kosten der Förderung werden wesentlich durch die Entwicklung der fossilen Energiepreise und der Produktionskosten bei der Energiepflanzennutzung bestimmt. Deren zukünftige Entwicklungen sind ungewiss, sodass *Abschätzungen des Subventionsbedarfs* mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind.

Weiterhin liegt eine erste Abschätzung der möglichen *Beschäftigungswirkungen* nachwachsender Rohstoffe und der Energiepflanzennutzung vor. Diese zeigt, dass die Beschäftigungswirkungen im Bereich der Konversion sowie die indirekten und induzierten Beschäftigungswirkungen diejenigen in der Landwirtschaft überwiegen. Außerdem nimmt der Arbeitskräftebedarf der Landwirtschaft insgesamt durch den technischen Fortschritt und die damit verbundenen Produktivitätssteigerungen in der Agrarproduktion ab, was durch die Energiepflanzennutzung (sowie durch nachwachsende Rohstoffe insgesamt) nur verlangsamt, aber nicht umgekehrt werden kann. Bei einer Bilanzierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte treten nur geringe positive Nettobeschäftigungseffekte auf. Die Höhe der Nettobeschäftigungseffekte hängt entscheidend von der Preisdifferenz zu fossilen Energieträgern ab. Positive Effekte können auch als Folge einer technologischen Vorreiterstellung entstehen, wenn Konversionstechniken in relevantem Umfang exportiert werden können.

NUTZUNGSKONKURRENZEN

Nutzungskonkurrenzen bestehen auf verschiedenen Ebenen. Energiepflanzen konkurrieren in der Flächennutzung einerseits mit anderen Nutzungszwecken, und andererseits bestehen innerhalb des Energiepflanzenanbaus Konkurrenzbeziehungen zwischen den verschiedenen energetischen Nutzungsmöglichkeiten (Produktlinien). Der Anbau von Energiepflanzen steht in Konkurrenz mit:

- › der Nahrungs- und Futtermittelproduktion,
- › anderen Flächennutzungen wie Siedlung und Verkehr oder Naturschutz sowie
- › der stofflichen Nutzung (nachwachsender Rohstoffe).

Innerhalb des Energiepflanzenanbaus besteht eine fundamentale Konkurrenzsituation zwischen der stationären Nutzung zur Wärme- und Stromerzeugung und der mobilen Nutzung als Biokraftstoff. Energiepflanzen (genauso wie die anderen Biomassekategorien) können in der Regel mit verschiedenen Produktlinien genutzt werden. Daher bestehen zusätzlich innerhalb der beiden grundlegenden Alternativen stationäre und mobile Nutzung vielfältige Konkurrenzsituationen. Die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Produktlinien kann dabei von der Ausgestaltung staatlicher Förderungen erheblich beeinflusst werden.

POLITISCHE THEMENFELDER

Auf der Basis der vorhergehenden Analysen werden wesentliche gesellschaftliche und politische Konfliktfelder und Gestaltungsbereiche diskutiert, die mit dem Ausbau der Energiepflanzenutzung verbunden sind.

FORSCHUNGS- UND INNOVATIONSPOLITIK

Damit der Energiepflanzenanbau einen wesentlichen Beitrag zum Ausbau der erneuerbaren Energien leisten kann, ist weitere Forschung und Entwicklung bei verschiedenen Produktlinien und über die gesamten Prozessketten hinweg notwendig. Insgesamt ist eine *Integration der Forschungsanstrengungen* über Produktlinien und Disziplinen hinweg erforderlich. Abstimmungen werden gefordert u. a. zwischen Pflanzenzüchtung, Pflanzenbauforschung, Agrarökonomie, ökologischer Forschung, Forschung zu Konversionstechnologien und Nachhaltigkeitsforschung.

Die verschiedenen Produktlinien der Energiepflanzenutzung werden sich angesichts einer begrenzten Flächenverfügbarkeit nicht alle gleichzeitig realisieren lassen. Denn mit dem Ausbau derzeit verfügbarer Konversionstechniken wird längerfristig Flächenpotenzial gebunden. Die derzeitige – und zukünftige – *Ausgestaltung der Förderung für Bioenergie* hat damit erheblichen Einfluss auf die Chancen der verschiedenen Energiepflanzenproduktlinien und auch auf ihre Technikentwicklung.

In der Anlaufphase einer verstärkten Bioenergienutzung war es sinnvoll, in der Forschung und Entwicklung ein sehr breites Spektrum von Produktlinien zur Bioenergie- und Energiepflanzenutzung zu bearbeiten. In den nächsten Jahren wird sich aber die Frage stellen, ob eine *Prioritätensetzung* notwendig wird, d. h. eine Konzentration auf die Konversionstechnologien und Produktlinien erfolgen sollte, die die besten Effizienzgewinne und die höchsten internationalen Chancen versprechen.



AGRAR- UND REGIONALPOLITIK

Nach Jahrzehnten niedriger Weltagrarpreise und subventionierter Agrarexporte können *steigende Agrarpreise* neue Chancen für Landwirte, gerade auch in Entwicklungs- und Schwellenländern bedeuten. Steigende Nahrungsmittelpreise werden andererseits die wirtschaftliche und soziale Notlage von Menschen mit geringem Einkommen und einem hohen Anteil der Ernährungsausgaben an ihrem Einkommen verschärfen. Flächenkonkurrenz und Sicherung der Ernährungsgrundlagen werden somit ein zunehmend bedeutendes politisches Thema.

Der Abschaffung *produktbezogener Subventionen* für die Nahrungsmittelproduktion steht die Einführung einer subventionierten Bioenergieerzeugung gegenüber. Die Förderung der Bioenergie ist teilweise nicht produktionsneutral (z.B. die EEG-Förderung), d.h. die Erzielung möglichst hoher Flächenerträge wird belohnt. Die Förderung der Energiepflanzenutzung kann zu einer Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus weit über die bisherige Stilllegungsflächen hinaus führen und auf eine Verdrängung der Nahrungsmittelproduktion aus Deutschland (bzw. der EU) hinauslaufen.

Eine andere Entwicklung ist möglich, wenn zunehmend die Verwendung von Bioenergeträgern gefördert bzw. vorgegeben wird. Ob die dadurch erzeugte Nachfrage nach Bioenergeträgern dann durch Energiepflanzenanbau in Deutschland oder durch *Importe* gedeckt wird, ist vor allem von den Produktionskosten, den Transportkosten und dem Außenschutz abhängig. Es zu erwarten, dass zunehmend politische Konflikte um die Förderung der inländischer Energiepflanzenerzeugung und die Ausgestaltung des Außenschutzes entstehen.

Schließlich stellt die zukünftige *regionale Verteilung* des Energiepflanzenanbaus eine agrar- und regionalpolitische Fragestellung dar. Zur regionalen Verteilung liegen erst sehr wenige Untersuchungen vor. Auf jeden Fall weisen die verschiedenen deutschen Regionen unterschiedliche Standortvorteile für Energiepflanzen auf, sodass eine ungleichmäßige regionale Verteilung des Energiepflanzenanbaus erwartet werden kann.

KLIMASCHUTZ- UND UMWELTPOLITIK

Im Rahmen der Klimaschutzpolitik spielt der Ausbau erneuerbarer Energien eine zentrale Rolle. Alle Ausbaustrategien sehen vor, dass die Nutzung der Bioenergie weiter ausgebaut und ihr dominierender Beitrag auf absehbare Zeit bestehen bleiben wird. Durch die Förderpolitik kann erheblich beeinflusst werden, welche Energiepflanzen angebaut und welche Produktlinien und Nutzungsbereiche ausgebaut werden. Mit einer stationären Nutzung zur Strom- und Wärmeerzeugung kann mit der gleichen Energiepflanzenfläche ein etwa doppelt so hohes *Energiepotenzial* erschlossen werden wie mit der Herstellung von Biokraftstoffen. Bei begrenzt zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Flächen für den Energie-

pflanzenanbau wird voraussichtlich auch in Zukunft kontrovers diskutiert werden, welche Nutzung Priorität haben soll.

Mit der Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus wird zunehmend die Frage aufgeworfen, ob dadurch eine *Intensivierung der Landbewirtschaftung* und neue Umweltprobleme hervorgerufen werden. Politische Gestaltungsaufgabe der nächsten Jahre wird es sein, eine umweltfreundliche Energiepflanzenproduktion sicherzustellen und die notwendigen Rahmenbedingungen zu schaffen bzw. weiterzuentwickeln. Neben den Umweltwirkungen des Energiepflanzenanbaus stellen mögliche Konflikte mit dem *Naturschutz* ein weiteres Themenfeld dar. Insgesamt werden Klimaschutzziele einerseits und Umwelt- und Naturschutzziele andererseits bei Energiepflanzen auf absehbare Zeit in einem Spannungsverhältnis stehen.

Schon in der Vergangenheit ist die *landwirtschaftliche Nutzfläche in Entwicklungs- und Schwellenländern* aufgrund steigender Nachfrage nach Lebens- und Futtermitteln ausgedehnt worden. Die zunehmende Förderung und Nachfrage insbesondere von Biokraftstoffen droht diese Entwicklung zu verschärfen. Die Gewinnung neuer Anbauflächen für Energiepflanzen erfolgt teilweise durch die unmittelbare Rodung von Regenwald und teilweise durch die Umwandlung von Weideland (für Rinder) sowie die Verdrängung von Kleinbauern, die dann wiederum neue Flächen auf Kosten von Regenwald erschließen. Damit ist es eine große Herausforderung, den globalen Ausbau des Energiepflanzenanbaus so zu gestalten, dass er nicht im Ergebnis den Klimaschutzziele zuwider läuft.

HANDELS- UND ENTWICKLUNGSPOLITIK

Zunächst ist daran zu erinnern, dass im globalen Maßstab nach wie vor die Nutzung *traditioneller Biomasse* dominiert. Es bleibt eine wichtige entwicklungspolitische Aufgabe, die Effizienz der traditionellen Bioenergienutzung zu verbessern, eine nachhaltige Bereitstellung von Biofestbrennstoffen sicherzustellen bzw. zu erreichen sowie bisher noch nichtgenutzte Bioenergiepotenziale zu erschließen.

Mit politisch festgelegten Ausbauzielen und entsprechenden Förderpolitiken sowie einer zunehmenden Wirtschaftlichkeit gewinnen in den letzten Jahren aber auch *moderne Nutzungen der Bioenergie* weltweit an Bedeutung. Damit wird der Anbau von Energiepflanzen ausgeweitet. Insbesondere flächenreiche Länder mit günstigen Produktionskosten in tropischen Regionen wollen ihre Chancen nutzen und die Herstellung von Biokraftstoffen ausdehnen, sowohl zur heimischen Nutzung als auch zum Export.

Die *zukünftige Handelspolitik* wird somit großen Einfluss nehmen auf die zukünftige Entwicklung der Energiepflanzenutzung. Die EU wird unter Druck bleiben, ihren Außenschutz im Agrarbereich und auch für Bioenergieträger auf



ZUSAMMENFASSUNG

der Basis von Energiepflanzen abzubauen. Die Ergebnisse der internationalen Verhandlungen über eine weitere Liberalisierung der Handelspolitik werden hier entsprechende Rahmenbedingungen setzen.

Aufgrund der Befürchtung, dass der Ausbau der Biokraftstoffherzeugung in tropischen Ländern zur Verdrängung von Kleinbauern und zur Störung der regionalen Lebensmittelversorgung sowie zum Verlust von Regenwäldern führt, wird zunehmend die Einführung von Sozial- und Umweltstandards diskutiert. Die Einführung einer international anerkannten, anwendbaren und nachprüfaren *Zertifizierung* wird von verschiedenen Umweltorganisationen, aber auch von einzelnen Regierungen, Industrieunternehmen und Verbänden gefordert. Derzeit finden national und international vielfältige Aktivitäten zur Zertifizierung statt. Eine vorläufige Einschätzung ergibt, dass freiwillige Zertifizierungssysteme die Einführung und Umsetzung von staatlichen Umwelt- und Naturschutzregulierungen in Entwicklungs- und Schwellenländern nicht ersetzen können und die Chancen, verbindliche Zertifizierungen im Rahmen der WTO zu etablieren, als gering einzuschätzen sind.

UNTERSUCHUNGSSCHWERPUNKTE DER 2. PROJEKTPHASE

In der ersten Projektphase ist eine Sichtung und vergleichende Auswertung der zahlreichen vorliegenden Studien zu Energiepflanzen und Bioenergie vorgenommen worden, die in diesem Bericht zusammengefasst wird. Basierend auf dieser Auswertung und der vom Ausschluss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung beschlossenen Projektkonzeption wurden drei Vertiefungsthemen für die zweite Projektphase identifiziert, die eine hohe politische Relevanz haben und bisher wissenschaftlich noch nicht umfassend untersucht sind. Die in der zweiten Projektphase bearbeiteten Untersuchungsschwerpunkte sind:

- › Dimensionen einer umweltverträglichen Energiepflanzenproduktion,
- › Ausbau der Energiepflanzenutzung und Flächenkonkurrenz national und international sowie
- › Zertifizierung biogener Energieträger.

DIMENSIONEN EINER UMWELTVERTRÄGLICHEN ENERGIEPFLANZENPRODUKTION

Ein Ausbau der Bioenergieproduktion wird vorwiegend aus Klimaschutz- und energiepolitischen Zielsetzungen angestrebt und sollte selbst so umweltfreundlich wie möglich gestaltet werden. Angesichts der Begrenztheit der verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche (siehe den zweiten Untersuchungsschwerpunkt) sowie der Konkurrenz durch die Bioenergieträgerproduktion auf überlegenen Standorten weltweit (siehe den dritten Untersuchungsschwerpunkt) ist es beim Energiepflanzenanbau erforderlich, dass in Deutschland und den meisten euro-

päischen Ländern möglichst hohe Biomasserträge je Fläche angestrebt werden. Dies steht potenziell im Konflikt mit umweltpolitischen Zielsetzungen, die landwirtschaftlichen Umweltbelastungen im Rahmen einer nachhaltigen Landbewirtschaftung zu verringern.

Die Frage spezifischer Anforderungen an eine umweltverträgliche Energiepflanzenproduktion ist bisher relativ wenig und wenn, dann vor allem in wissenschaftlichen Einzeluntersuchungen behandelt worden. In diesem Untersuchungsschwerpunkt werden die wesentlichen Konfliktbereiche identifiziert, die verfügbaren Lösungsansätze dargestellt und die politischen Gestaltungsmöglichkeiten analysiert.

AUSBAU DER ENERGIEPFLANZENNUTZUNG UND FLÄCHENKONKURRENZ NATIONAL UND INTERNATIONAL

Bei einem verstärkten Anbau von Energiepflanzen gewinnt zunehmend das Thema an Bedeutung, inwieweit dieser in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion tritt und zur Verknappung bzw. Verteuerung von Nahrungsmitteln führt. Die vorliegenden Studien arbeiten durchweg mit Potenzialabschätzungen und Ausbaustrategien für die Bioenergienutzung, um u.a. die Frage zu beantworten, welchen maximalen Beitrag zukünftig der Anbau von Energiepflanzen zur Energieversorgung leisten kann. Teilweise wird die Flächenkonkurrenz mit Natur- und Landschaftsschutz berücksichtigt. Eine mögliche Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion ist bisher nur ansatzweise diskutiert worden.

Im Untersuchungsschwerpunkt werden denkbare zukünftige Entwicklungen der Energiepflanzenutzung beschrieben, in Abhängigkeit von günstigeren und ungünstigeren sozioökonomischen und politischen Rahmenbedingungen (mittels sogenannter explorativer Szenarien). Dabei werden vorliegende Szenarienanalysen sowohl zur weltweiten Situation (ggf. anhand von wichtigen einzelnen Ländern bzw. Weltregionen) als auch speziell für Europa und Deutschland zusammengetragen und genutzt. Damit soll ein Beitrag zu einer realistischen Einschätzung der zukünftigen Energiepflanzenproduktion geleistet werden. Weiterhin wird für die möglichen Entwicklungen des Energiepflanzenanbaus die jeweilige Ausprägung der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion abgeschätzt. Zielsetzung ist, die möglichen Dimensionen des Problems einer Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung und die Möglichkeiten einer Berücksichtigung in politischen Ausbaustrategien zur Bioenergie herauszuarbeiten.

ZERTIFIZIERUNG BIOGENER ENERGIETRÄGER

Mit der Ausweitung des Energiepflanzenanbaus stellt sich zunehmend die Frage, in welchem Umfang zukünftig biogene Energieträger importiert werden sollen bzw. müssen. Einzelne Länder bzw. Regionen in Lateinamerika und Südostasien verfügen über erhebliche Potenziale zur Energiepflanzenproduktion, die aller-



ZUSAMMENFASSUNG

dings nicht notwendig in einer umweltverträglichen bzw. nachhaltigen Weise erfolgen wird. Die Gefahr besteht, dass eine Ausweitung u.a. auf Kosten tropischer Regenwälder erfolgt. Aus diesem Grund wird von vielen Seiten gefordert, eine Zertifizierung zur ökologischen und sozialverträglichen Produktion grenzüberschreitend gehandelter biogener Energieträger zu entwickeln und – möglichst weltweit verbindlich – einzuführen.

In vielen internationalen Gremien bzw. Foren wird über die mögliche Ausgestaltung und Implementierung entsprechender Zertifizierungssysteme beraten. Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) hat auf Initiative des BMELV die Erarbeitung eines ersten Vorschlages für ein Zertifizierungssystem in Auftrag gegeben. Im Untersuchungsschwerpunkt des TAB-Projekts wird kein eigener Vorschlag entwickelt, sondern es werden vielmehr die grundsätzlichen Möglichkeiten und Begrenzungen der Zertifizierungen von Bioenergieträgern und ihre politische Gestaltbarkeit herausgearbeitet.

AUSBLICK

Die drei Vertiefungsthemen beziehen sich aufeinander und behandeln zentrale Fragestellungen der zukünftigen Energiepflanzennutzung. Durch ihre Analyse soll aufgezeigt werden, welche Möglichkeiten einer nachhaltigeren Energiepflanzennutzung bestehen, welche spezifischen Vor- und Nachteile die verschiedenen Gestaltungsmöglichkeiten aufweisen und welche Handlungsoptionen in verschiedenen Politikfeldern zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse der zweiten Projektphase werden im Abschlussbericht dokumentiert werden.

EINLEITUNG

I.

Biomasse als Energieträger steht auf der politischen Tagesordnung und in der Wahrnehmung der Medien zurzeit ganz oben. Mehrere Entwicklungen kommen hier zusammen. Eine Verknappung von Erdöl und Ergas in den nächsten Jahrzehnten und der in den letzten Jahren stark gestiegene Ölpreis motivieren die Suche nach alternativen, möglichst erneuerbaren Energieträgern. Die Abhängigkeit Deutschlands von Energieimporten wird zunehmend als Problem empfunden, sodass verstärkt nach »heimischen« Energieträgern Ausschau gehalten wird. Schließlich folgt aus der zunehmend als dringlich erkannten Problematik des Klimawandels die Notwendigkeit der Substitution fossiler durch erneuerbare Energieträger. In der Summe hat diese Situation dazu geführt, dass große Hoffnungen in die energetische Nutzung von Biomasse gesetzt werden.

Zur Verringerung des Ausstoßes klimarelevanter Gase und der Abhängigkeit von Importen fossiler Energieträger hat die EU beschlossen, bis zum Jahr 2020 20 % des Primärenergiebedarfs durch erneuerbare Energieträger zu decken. Biomasse ist sowohl in der Europäischen Union als auch in Deutschland der wichtigste erneuerbare Energieträger mit einem Anteil an diesen von rund zwei Dritteln. Ihr wird auch eine große Bedeutung in den Ausbaustrategien für erneuerbare Energien zugeordnet. Aufgrund der staatlichen Förderung sind in Deutschland die Biokraftstoffherzeugung und die Biogaserzeugung in den letzten Jahren stark angestiegen. Dieser Teil der Bioenergie beruht im Wesentlichen auf Energiepflanzenanbau.

Zunehmend wird allerdings die Befürchtung geäußert, dass durch den Ausbau der Biokraftstoffproduktion die Lebensmittelpreise parallel zu den Kraftstoffpreisen steigen werden, weil Nahrungsmittel- und Biokraftstoffproduktion um dieselben Anbauflächen konkurrieren. Dies würde dazu führen, dass Nahrungsmittel und die Ressourcen zu ihrer Herstellung insgesamt teurer und für Arme sogar unerschwinglich werden. Ein weiterer Diskussionspunkt ist, in welchem Umfang die ambitionierten Ausbauziele zum Import von Bioenergieträgern führen und in den tropischen Exportländern eine Ausweitung der Anbauflächen auf Kosten von Regenwald auslösen werden, was im Fall einer Regenwaldrodung sogar erhöhte Treibhausgasemissionen anstelle einer Reduktion bedeuten würde.

Ein Ausbau der Bioenergie- und Energiepflanzenutzung erfolgt aufgrund der bislang mangelnden Wirtschaftlichkeit nicht von selbst, sondern bedarf der politischen Gestaltung. Die angestrebte verstärkte Nutzung von landwirtschaftlichen Pflanzen als erneuerbare Energieträger ist somit eine wichtige Fragestellung und Herausforderung im Schnittpunkt von Energie-, Umwelt-, Agrar-, Forschungs- und Wirtschaftspolitik. Die Vielfalt möglicher Optionen und Strategien und der



damit verbundenen sozioökonomischen und umweltrelevanten Auswirkungen spiegelt sich u. a. in einer großen Zahl bereits vorliegender Studien wie auch laufender Forschungsprojekte wider.

Das TA-Projekt »Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen« (Kurztitel »Energiepflanzen«) ist vom Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung am 27. September 2006 beschlossen worden, basierend auf insgesamt sieben Projektvorschlägen aus den Fraktionen der CDU/CSU, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. Die Projektbearbeitung durch das TAB wurde im Dezember 2006 begonnen.

PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

1.

Ausgehend von den Themenvorschlägen der Fraktionen und Ausschüsse wurden Fragenkomplexe identifiziert, die nach der Einschätzung des TAB bislang noch vergleichsweise wenig behandelt wurden und politikrelevante Fragestellungen beinhalten:

- › Eine differenzierte Bestandsaufnahme und Potenzialanalyse bislang genutzter bzw. potenziell nutzbarer Energiepflanzen (einschließlich der pflanzenzüchterischen Herausforderungen und entsprechenden konventionellen und gentechnisch ausgerichteten Züchtungsstrategien) und der verwendeten Anbaumethoden mit Blick auf die vielfältigen und heterogenen Anforderungen und Rahmenbedingungen des konkreten landwirtschaftlichen Anbaus. Besondere Berücksichtigung verdienen regionale Standortbedingungen, die regionale Verteilung von Energiepflanzen bzw. Energiefruchtfolgen in Deutschland sowie die Frage der möglichen Nettoenergiegewinne.
- › Eine Analyse der vorhandenen und der erforderlichen bzw. wünschenswerten Struktur des Anbaus und der Weiterverarbeitung von Energiepflanzen. Sie sollte herausarbeiten, welche Konversionsverfahren besonders geeignet sind, um die energie- und umweltpolitischen Ziele zu erreichen (z. B. ob die Energieerzeugung eher zentral oder dezentral organisiert werden könnte bzw. sollte, um sowohl ökologisch und ökonomisch als auch sozial nachhaltig zu sein). Hierbei sind insbesondere Aspekte des Handels und Transports von Bioenergie zu berücksichtigen.
- › Eine systematische Betrachtung der (insbesondere agrarökonomischen und -ökologischen) Folgedimensionen bestimmter Anbau- und Nutzungsszenarien mit dem Schwerpunkt auf Deutschland. Dazu gehören beispielsweise die Folgen für landwirtschaftliche Produktionsstrukturen und Betriebe sowie Veränderungen der Wertschöpfungsketten; ferner die Auswirkungen auf die Anbaustruktur, das Fruchtartenspektrum, die Bodenfruchtbarkeit und die Humusbilanz sowie auf Wasserhaushalt und Gewässerschutz. Darüber hinaus sind

Implikationen für die Erzeugung von Futter- und Nahrungsmitteln und deren Preise zu berücksichtigen.

- › Eine Untersuchung der Anbaubedingungen für Energiepflanzen innerhalb und außerhalb Europas und eine Analyse möglicher Konkurrenzbeziehungen.
- › Eine Analyse der Ansätze und Möglichkeiten von international verankerten Nachhaltigkeitszertifizierungsmaßnahmen für den Anbau von Energiepflanzen im Besonderen und die Erzeugung von Bioenergie im Allgemeinen unter den Bedingungen globaler Produktion und Distribution.
- › Eine Einordnung der Ergebnisse der Potenzial- und Folgenanalysen in den energie-, landwirtschafts- und umweltpolitischen Rahmen. Hiermit verbunden wäre die Ausleuchtung zukünftiger Zielkonflikte und Konkurrenzen von Flächen und Nutzungszwecken sowie entsprechender Optionen zur Auflösung solcher Probleme, um die mit einem verstärkten Anbau von Energiepflanzen verbundenen Chancen nutzen zu können.
- › Eine Identifikation von Gestaltungsmöglichkeiten eines nachhaltigen Ausbaus der Bioenergieerzeugung aus Energiepflanzen sowie von spezifischem Forschungsbedarf (z. B. Pflanzenzüchtung, Konversion, Begleitforschung).

VORLIEGENDE UNTERSUCHUNGEN DES TAB

2.

Das TAB hat zum Bereich »Energiepflanzen« bislang Teilaspekte bearbeitet. Folgende Untersuchungen des TAB sind relevant:

- › »Alternative Kulturpflanzen und Anbauverfahren«, 1. Bericht zum TA-Projekt »Moderne Agrartechniken und Produktionsmethoden – ökonomische und ökologische Potenziale«, TAB-Arbeitsbericht Nr. 103 (TAB 2005a)
- › »Perspektiven eines CO₂- und emissionsarmen Verkehrs – Kraftstoffe und Antriebe im Überblick«, Vorstudie zum TA-Projekt, TAB-Arbeitsbericht Nr. 111 (TAB 2006)
- › »Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe«, Sachstandsbericht zum Monitoring »Nachwachsende Rohstoffe« (TAB-Arbeitsbericht Nr. 114 (TAB 2007)

Auf den Ergebnissen dieser Untersuchungen wird aufgebaut.

VORGEHENSWEISE

3.

Aufgrund der Bedeutung der sehr komplexen Thematik und der vielfältigen Anforderungen an das Projekt ist eine gestufte Vorgehensweise gewählt worden.



In der *ersten Projektphase* steht die Sichtung und vergleichende Auswertung vorliegender Studien im Mittelpunkt, die vom TAB selbst durchgeführt wird. Damit soll ein Überblick über den Stand des Wissens, strittige Einschätzungen und offene Fragen gegeben werden. Ergänzend wurden folgende *Gutachten* in Auftrag gegeben:

- › Kurzgutachten »Ansätze und Herausforderungen der pflanzenzüchterischen Optimierung von Energiepflanzen – Schwerpunkt schnellwachsende Baumarten« an Dr. Bernd Degen, Bargteheide (Degen 2007) sowie »Züchtung von Energiepflanzen für die Nutzung spezifischer Inhaltsstoffe und zur Nutzung als Energiequelle aus Ganzpflanzen« an Dr. Helga Klein, Bonn (Klein/Kesten 2007),
- › Gutachten »Zielvorgaben und Förderpolitik zu Bioenergie (insbesondere Energiepflanzen) im internationalen Vergleich« an das Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig (IE 2007).

Die 1. Projektphase diente außerdem dazu, Vorschläge für die Schwerpunktsetzung und vertiefende Analyse in der zweiten Projektphase zu entwickeln. Diese Untersuchungsschwerpunkte und ihre Begründung sind im Kapitel VI dokumentiert.

Die Ergebnisse der vergleichenden Studienauswertung, ergänzt um Ergebnisse aus den Gutachten, werden in diesem ersten Bericht zum TA-Projekt »Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen« vorgestellt. Allen Gutachtern sei für die gute Kooperation gedankt. Die Verantwortung für Auswahl und Interpretation der Ergebnisse aus den Gutachten liegt ausdrücklich bei den Autoren des vorliegenden Berichts. Ein besonderer Dank geht an die Kollegin Ulrike Goelsdorf für die Bearbeitung von Abbildungen und die Erstellung des Layouts.

AUFBAU DES BERICHTS

4.

Im *Kapitel II* wird eingangs erläutert, was unter Energiepflanzen verstanden wird und wie sich diese in die energetische Nutzung von Biomasse einordnet. Ergänzend werden der derzeitige Stand der Bioenergienutzung und ihre Bedeutung in der Energieversorgung in Deutschland, der EU und auf globaler Ebene dargestellt (Kap. II.1). Im folgenden Kapitel wird das komplexe Technikfeld Bioenergie vorgestellt. Dies reicht von der Erzeugung bzw. Bereitstellung von Biomasse als Primärenergieträger über die Konversion zu Sekundärenergieträgern bis zur Endenergienutzung als Wärme, Strom oder Kraftstoff und beinhaltet eine Vielzahl von Produktlinien (Kap. II.2). Vertieft wird der Stand und die Perspektiven der Züchtung von Energiepflanzen behandelt (Kap. II.3), sowohl für ein- und zweijährige Pflanzen als auch für mehrjährige Pflanzen (schnellwachsende

Baumarten). Dann werden die Nutzungskonkurrenzen, die bei der Energiepflanzennutzung bestehen, in ihren grundsätzlichen Wechselwirkungen diskutiert (Kap. II.4). Fragen der Nutzungskonkurrenz gewinnen mit der Ausweitung des Energiepflanzenanbaus zunehmende Aufmerksamkeit. Das Kapitel »Grundlagen« wird mit einem zusammenfassenden Fazit abgeschlossen (Kap. II.5).

Das *Kapitel III* ist der Bestandsaufnahme über die Zielvorgaben zur Nutzung von Bioenergie (insbesondere auf der Basis von Energiepflanzen) sowie über die derzeit angewandten Förderpolitiken und Handlungsoptionen auf europäischer und internationaler Ebene gewidmet. Den Schwerpunkt der Analysen bilden die EU und ihre Mitgliedstaaten. Zusätzlich wurden die USA, Brasilien, Mexiko, Indien, China, Malaysia, Indonesien und Australien aufgrund ihrer großen Relevanz für die Bioenergiebereitstellung und -nutzung einbezogen. Zunächst werden die förderpolitischen Rahmenbedingungen auf internationaler und europäischer Ebene dargestellt, insbesondere die Ausbauziele in Bezug auf Strom, Wärme und Kraftstoffe (Kap. III.1). Sodann werden die zu ihrer Realisierung bislang eingesetzten Förderpolitiken und -instrumente beschrieben (Kap. III.2). Eine in Bezug auf bisher einschätzbare Auswirkungen vergleichende Bewertung der Förderpolitiken schließt den Kreis (Kap. III.3).

Eine Analyse des Forschungsstandes und Auswertung von Szenarienstudien wird im *Kapitel IV* vorgenommen. Zunächst wird ein Überblick über Studien gegeben, die den derzeitigen Kenntnisstand zusammenfassen und mehr oder weniger auf Politikberatung ausgerichtet sind (Kap. IV.1). Sie umfassen Studien mit Potenzialabschätzungen und Ausbaustrategien, Monitoringstudien, Studien zu spezifischen Problemfeldern sowie zu spezifischen Produktlinien und haben erneuerbare Energien, Bioenergie, Energiepflanzen oder bestimmte Produktlinien bzw. Nutzungsbereiche zum Gegenstand. Bei der Auswertung der Szenarienstudien (Kap. IV.2) werden dann ihre Zielsetzungen und Grunddaten dargestellt, die in ihnen enthaltenen Kernaussagen zu erneuerbaren Energien, Bioenergie und Energiepflanzen herausgearbeitet, die abgeschätzten Flächenpotenziale für Energiepflanzen analysiert sowie die ermittelten Energiepotenziale und Beiträge zur erneuerbaren Energieversorgung diskutiert. Im nächsten Schritt werden wichtige Erkenntnisse zu den Umweltwirkungen der Energiepflanzen zusammengestellt (Kap. IV.3). Unter ökonomischen Wirkungen einer verstärkten Nutzung von Bioenergie und Energiepflanzen werden sowohl Fragen der Wirtschaftlichkeit als auch der volkswirtschaftlichen Effekte behandelt (Kap. IV.4). Das Kapitel schließt wiederum mit einem Fazit (Kap. IV.5).

Unter dem Titel »politische Themenfelder« werden im *Kapitel V* wesentliche gesellschaftliche und politische Konfliktfelder und Gestaltungsbereiche beschrieben, die mit dem Ausbau der Energiepflanzennutzung verbunden sind. Die Darstellung ist in die Bereiche Forschungs- und Innovationspolitik (Kap. V.1), Agrar- und Regionalpolitik (Kap. V.2), Klimaschutz- und Umweltpolitik (Kap. V.3)



I. EINLEITUNG

sowie Handels- und Entwicklungspolitik (Kap. V.4) gegliedert und baut auf den vorhergehenden Analysen auf.

Der Bericht schließt mit den Vertiefungsthemen (*Kap. VI*), die in der zweiten Projektphase bearbeitet werden. Die Untersuchungsschwerpunkte Dimensionen einer umweltverträglichen Energiepflanzenproduktion (Kap. VI.1), Ausbau der Energiepflanzennutzung und Flächenkonkurrenz national und international (Kap. VI.2) sowie Zertifizierung biogener Energieträger (Kap. VI.3) werden begründet und die in diesen Untersuchungsschwerpunkten bearbeiteten Themenbereiche skizziert.

GRUNDLAGEN

II.

Eingangs wird erläutert, was unter Energiepflanzen verstanden wird und wie sich diese in die energetische Nutzung von Biomasse einordnet. Ergänzend werden der derzeitige Stand der Bioenergienutzung und ihre Bedeutung in der Energieversorgung in Deutschland, der EU und auf globaler Ebene dargestellt (Kap. II.1). Im folgenden Kapitel wird das komplexe Technikfeld Bioenergie vorgestellt. Es reicht von der Erzeugung bzw. Bereitstellung von Biomasse als Primärenergieträger über die Konversion zu Sekundärenergieträgern bis zur Endenergienutzung als Wärme, Strom oder Kraftstoff und beinhaltet eine Vielzahl von Produktlinien (Kap. II.2).

Dann werden die Nutzungskonkurrenzen, die bei der Energiepflanzenutzung bestehen, in ihren grundsätzlichen Wechselwirkungen diskutiert (Kap. II.4). Fragen der Nutzungskonkurrenz gewinnen mit der Ausweitung des Energiepflanzenanbaus zunehmende Aufmerksamkeit. Das Kapitel »Grundlagen« wird mit einem zusammenfassenden Fazit abgeschlossen (Kap. II.5).

EINORDNUNG UND DEFINITION ENERGIEPFLANZEN

1.

Bioenergie wird international gebräuchlich mit Biomasse für eine energetische Nutzung gleich gesetzt. Bioenergie ist dabei Teil der erneuerbaren Energien. Andere wichtige erneuerbare Energien sind Wasserkraft, Wind, Solar und Geothermie.

Unter *Biomasse* werden sämtliche Stoffe organischer Herkunft verstanden (Kaltschmitt/Hartmann 2001, S.2). Biomasse beinhaltet damit

- > die in der Natur lebenden Pflanzen und Tiere (z.B. landwirtschaftliche Produkte aus einem Energiepflanzenanbau),
- > die von ihnen resultierenden Rückstände (z.B. tierische Exkreme),
- > abgestorbene (aber noch nichtfossile) Pflanzen- und Tiermasse (z.B. Stroh) und
- > alle organischen Stoffe, die beispielsweise durch eine technische Umwandlung und/oder eine stoffliche Nutzung entstanden sind bzw. anfallen (z.B. Papier und Zellstoff, Schlachthofabfälle, organische Hausmüllfraktion, Pflanzenöl, Alkohol).

Bei der energetischen Nutzung von Biomasse kann weiterhin zwischen moderner und traditioneller Biomassenutzung unterschieden werden (Schütz/Bringezu 2006, S.7). Unter *traditioneller Biomasse* wird die Nutzung im kleinen Maßstab insbesondere in Entwicklungsländern verstanden. Zu diesen traditionellen Nutzungen



II. GRUNDLAGEN

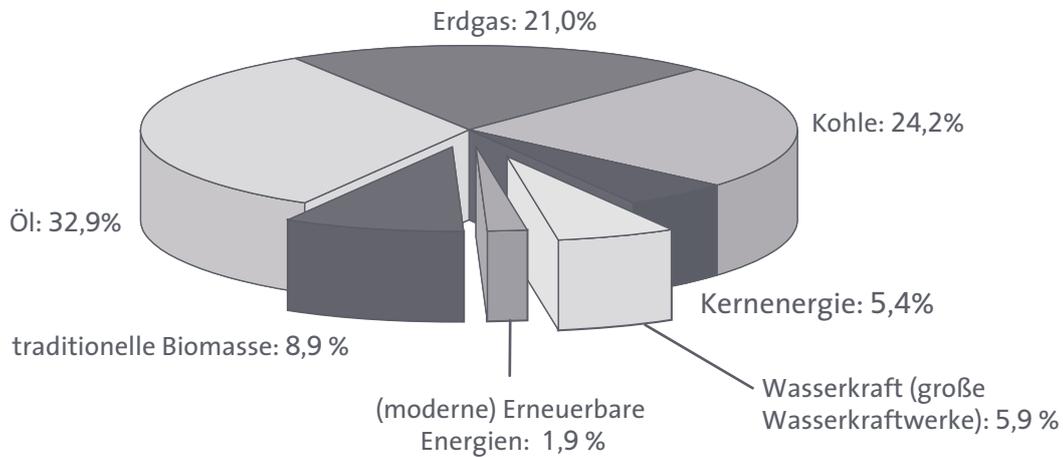
gehören Brennholz und Holzkohle, pflanzliche Rückstände und Dung sowie einfache Biogasanlagen für den Hausverbrauch. Traditionelle Biomasse ist nach wie vor in vielen Entwicklungsländern von großer Bedeutung (Tab. 1 u. Abb. 1). Nutzung und Potenziale von (traditionellen) Energieträgern in Entwicklungsländern, Möglichkeiten des Ausbaus und der effizienter Nutzung, Hemmnisse und politische Gestaltungsmöglichkeiten sind ausführlich im TAB-Projekt »Bioenergieträger und Entwicklungsländer« untersucht worden (TAB 2001). Traditionelle Biomassenutzung findet auch in Industrieländern bei der Wärmebereitstellung in Haushalten (z.B. Kamin- und Kachelöfen) statt.

TAB. 1 GLOBALE KAPAZITÄTEN ERNEUERBARER ENERGIEN

| Erzeugungskapazitäten Ende 2005 | |
|---|---------------|
| <i>Stromerzeugung</i> | |
| Biomasseanlagen | 44 GW |
| große Wasserkraftwerke | 750 GW |
| kleine Wasserkraftwerke | 66 GW |
| Windturbinen | 59 GW |
| Geothermie | 9,3 GW |
| Solarfotovoltaik, mit Netzanschluss | 3,1 GW |
| Solarfotovoltaik, ohne Netzanschluss | 2,3 GW |
| Solarthermie | 0,4 GW |
| Gezeitenkraftwerke | 0,3 GW |
| Summe Stromerzeugung | 935,4 GW |
| <i>Heißwasser/Wärme</i> | |
| Biomasse | 220 GWth |
| Solarkollektoren | 88 GWth |
| Geothermie | 28 GWth |
| Summe Heißwasser/Wärme | 336 GWth |
| <i>Biokraftstoffe</i> | |
| Bioethanol | 33 Mrd. l/a |
| Biodiesel | 3,9 Mrd. l/a |
| Summe Biokraftstoffe | 36,9 Mrd. l/a |
| <i>traditionelle Biomasse</i> | |
| Kochöfen für Biomasse (alle Typen, Anzahl) | 570 Mio. |
| Biogasanlagen für Einzelhaushalte (in Gebrauch, Anzahl) | 21 Mio. |

Quelle: REN21 2006, S. 17

ABB. 1 GLOBALER PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH INSGESAMT IM JAHR 2004



Quelle: verändert nach REN21 2005, Tab. N2 und BP 2006, S. 41

Moderne Biomasse bezieht sich dagegen auf eine Nutzung in größerem Maßstab und als Ersatz für konventionelle fossile Energieträger (Schütz/Bringezu 2006, S. 7). Zur modernen Biomasse gehören insbesondere biogene Festbrennstoffe (Holz und Ernterückstände wie Stroh), organische Nebenprodukte und Abfälle (wie Industrierestholz, Gülle, Klärschlamm), Biogas und Biokraftstoffe. Mit der Entwicklung neuer Konversionsverfahren werden sich die Nutzungsalternativen bei der modernen Biomasse zukünftig weiter erhöhen (Kap. II.2).

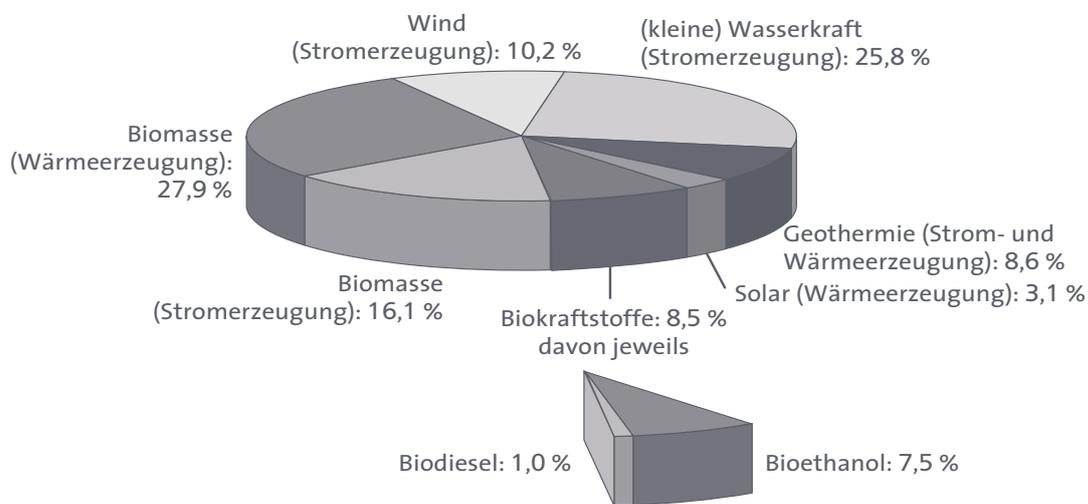
Unter *Energiepflanzen* werden schließlich landwirtschaftlicher Nutzpflanzen¹ verstanden, die mit dem Hauptziel einer Energienutzung in der Landwirtschaft angebaut werden. Energiepflanzen sind ein Teil der modernen Biomasse und ihr energetischer Einsatz kann in den Bereichen Wärme, Strom und Kraftstoffe erfolgen. Teilweise wird der Begriff Energiepflanze allerdings auch nur bei einer Ganzpflanzennutzung verwendet (Kap. II.2.1). Die Bezeichnung einer landwirtschaftlichen Nutzpflanze als Energiepflanze schließt nicht aus, dass diese Pflanze (z. B. Mais) auch für andere Zwecke wie die Nahrungs- oder Futtermittelproduktion geeignet ist (Kap. II.2.1). Wenn eine Pflanze zur Nahrungsmittelproduktion angebaut wird, aber ein Teil ihrer Biomasse energetisch verwertet wird, dann wird dies nicht als Energiepflanzenanbau bezeichnet. Andererseits können bei Energiepflanzen ggf. auch Ernterückstände (z. B. Stroh beim Rapsanbau zur Biodieselgewinnung) energetisch oder (z. B. der Rapspresskuchen) als Futtermittel verwertet werden. Schließlich werden unter dem Begriff »Bioraffinerie« in Forschung und Entwicklung Konzeptionen verfolgt, die vorrangig auf die Gewinn-

¹ Pappeln und Weiden sind eigentlich Forstpflanzen, werden in diesem Bericht aber bei den Energiepflanzen mit behandelt, wenn sie im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Nutzflächen angebaut und energetisch genutzt werden.

nung chemischer Grundstoffe und eine stoffliche Nutzung ausgerichtet sind, aber gleichzeitig die Gewinnung von Biokraftstoffen und eine energetische Nutzung einschließen (TAB 2007), sodass dann eine eindeutige Trennung zwischen stofflicher und energetischer Nutzung nicht mehr möglich sein könnte.

Auf *globaler Ebene* ist traditionelle Biomasse der wichtigste erneuerbare Energieträger, mit einem Anteil von 8,9 % am weltweiten Primärenergieverbrauch. Die Wasserkraft (große Wasserkraftanlagen) hat einen Anteil von 5,9 %, alle anderen modernen erneuerbaren Energien haben nur einen Anteil von 1,9 % (Abb. 1). Die erneuerbaren Energien insgesamt haben einen Anteil von 16,7 % (oder 1.876 Mtoe) am globalen Primärenergieverbrauch (berechnet nach der Substitutionsmethode²). Der Anteil der modernen Biomasse am gesamten weltweiten Primärenergieverbrauch beträgt 1,04 % und ihr Anteil an den erneuerbaren Energien 6,2 % (REN21 2005; Schütz/Bringezu 2006). In der Tabelle 1 sind die globalen Kapazitäten für erneuerbare Energien zusammengestellt (Abb. 2). Die Nutzung von Energiepflanzen ist nur ein Teilbereich der modernen Biomasse und hat somit bisher im globalen Maßstab eine geringe Bedeutung.

ABB. 2 GLOBALER PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH AN (MODERNEN) ERNEUERBAREN ENERGIEN IM JAHR 2004



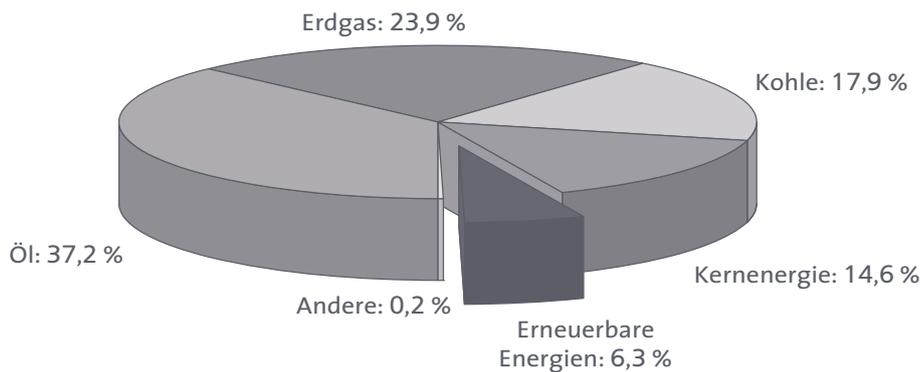
Quelle: verändert nach REN21 2005, Tab. N2, und Schütz/Bringezu 2006, Tab. 1

2 Bei der Substitutionsmethode wird als Primärenergieäquivalent für Strom aus Wasserkraft, Windenergie und Photovoltaik der Brennstoff angegeben, der durch die Stromerzeugung des jeweiligen Energieträgers in konventionellen Kraftwerken substituiert wird. Dagegen wird bei der Wirkungsgradmethode für Strom aus Energieträgern, denen kein Heizwert zugerechnet werden kann (z.B. Wasserkraft, Windenergie und Photovoltaik), aus der Endenergie mithilfe eines Wirkungsgrades von 100 % auf die Primärenergie geschlossen. Damit entspricht z.B. 1 kWh Strom aus beispielsweise Wasserkraft einem Primärenergieäquivalent von 1 kWh (siehe Primärangaben zu Deutschland).



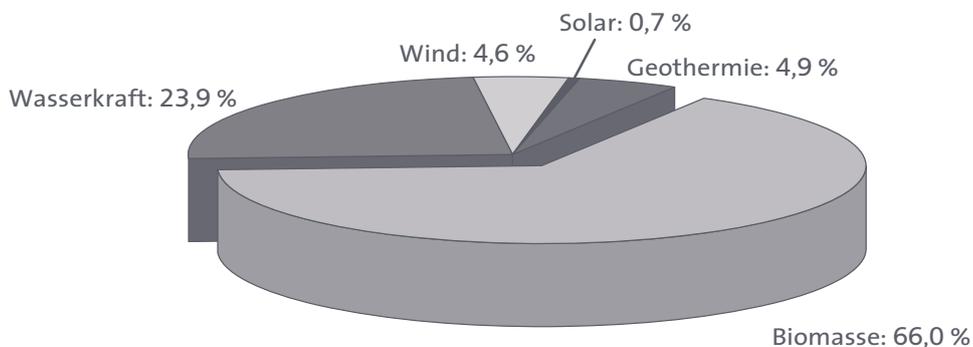
In der *europäischen Union (EU-25)* lag im Jahr 2004 der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoinlandsverbrauch bei 6,3 % (bzw. 109,5 Mtoe) (Abb. 3). Die Biomasse ist in der EU der wichtigste erneuerbare Energieträger mit einem Anteil von 66 % (bzw. rund 72 Mtoe) (Abb. 4). Der Anteil der Biomasse am gesamten Energieverbrauch der EU beträgt 4,1 % (EC 2006c). In Europa dominiert sehr stark die Biomasseverwendung zur Stromerzeugung. Die Situation in den einzelnen Mitgliedstaaten der EU stellt sich sehr unterschiedlich dar (Tab. 2). Dabei lag der Anteil der Bioenergie (ohne Abfall) am Bruttoinlandsenergieverbrauch im Jahr 2000 zwischen unter 1 % (z.B. Belgien, Luxemburg, Slowakei und Zypern) und über 25 % (Lettland). Endenergiebereitstellung aus Biomasse entfällt zu rund 90 % auf die alten Mitgliedstaaten (EU-15). Die energetische Nutzung von Biomasse zeigte bis etwa 2002 eine deutliche Zunahme im Wärmebereich und danach eine starke Zunahme in der Strom- und Kraftstoffproduktion (Thrän et al. 2005, S. 179 f.).

ABB. 3 BRUTTOINLANDSENERGIEVERBRAUCH IN DER EU-25 IM JAHR 2004



Quelle: EC 2006c

ABB. 4 BRUTTOINLANDSENERGIEVERBRAUCH AN ERNEUERBAREN ENERGIEN IN DER EU-25 IM JAHR 2004



Quelle: EC 2006c

TAB. 2 BIOMASSENUTZUNG IN DER EUROPÄISCHEN UNION 1997, 2002 UND 2004

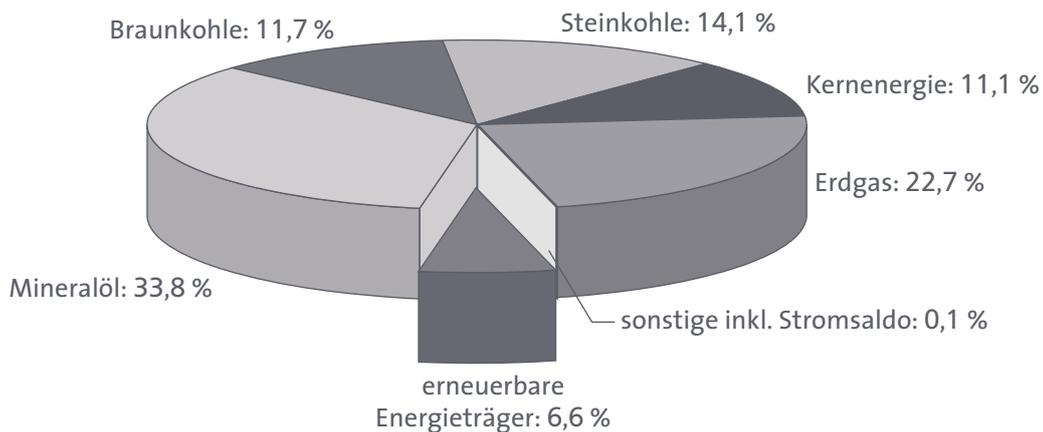
| Quelle | Wärmegewinnung (PJ) | | | | Stromerzeugung 2004 (TWh/a) | | | | Kraftstoffe 2004 (PJ/a) | | | |
|----------------|---------------------|-------|------------------|-------|-----------------------------|------|------------------|------|-------------------------|------|--------------|------|
| | EC | | IEA/EuroObserver | | EC | | IEA/EuroObserver | | EC | | EuroObserver | |
| | 1997 | 2001 | 2001 | 2004 | 1997 | 2002 | 2002 | 2004 | 1997 | 2002 | 2002 | 2004 |
| Belgien | 12 | 16,1 | 9 | 12 | 0,3 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Luxemburg | 1 | 1,0 | 1 | 1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Dänemark | 40 | 37,3 | 25 | 29 | 0,9 | 2,1 | 2,2 | 3,2 | 0,0 | 0,4 | 0,4 | 2,8 |
| Deutschland | 179 | 229,4 | 328 | 224 | 2,4 | 5,6 | 6,2 | 9,3 | 3,6 | 21,8 | 20,4 | 38,9 |
| Finnland | 180 | 201,7 | 157 | 196 | 7,0 | 9,9 | 10,5 | 10,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Frankreich | 383 | 400,6 | 343 | 368 | 3,1 | 3,5 | 3,2 | 3,9 | 12,8 | 19,5 | 15,4 | 15,6 |
| Griechenland | 38 | 40,3 | 40 | 39 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Großbritannien | 38 | 29,3 | 13 | 33 | 2,0 | 4,9 | 4,9 | 7,0 | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 0,3 |
| Irland | 5 | 6,1 | 6 | 6 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Italien | 190 | 235,0 | 26 | 41 | 0,7 | 1,8 | 4,9 | 2,6 | 1,9 | 6,8 | 8,2 | 11,9 |
| Niederlande | 14 | 13,6 | 5 | 10 | 1,2 | 2,5 | 2,8 | 3,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Österreich | 106 | 99,4 | 112 | 129 | 1,7 | 2,0 | 1,5 | 1,9 | 0,5 | 1,1 | 1,1 | 2,1 |
| Portugal | 78 | 78,9 | 67 | 100 | 1,0 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Schweden | 226 | 209,1 | 289 | 280 | 2,8 | 4,0 | 4,1 | 6,4 | 0,0 | 1,7 | 1,7 | 1,4 |
| Spanien | 137 | 141,6 | 144 | 149 | 1,1 | 4,0 | 2,5 | 3,5 | 0,0 | 5,0 | 5,0 | 5,7 |
| Estland | 22 | 16,7 | 6 | 6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Lettland | 31 | 24,8 | 54 | 54 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| Litauen | 19 | 24,0 | 29 | 29 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 |
| Malta | 0 | 0,0 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Polen | 108 | 106,3 | 166 | 158 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,7 | 2,3 | 1,1 | 1,8 | 1,0 |
| Slowakei | 2 | 4,3 | 12 | 12 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 1,3 | 0,0 | 0,6 |
| Slowenien | 7 | 16,0 | 17 | 17 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Tschechien | 15 | 18,1 | 37 | 37 | 0,5 | 0,6 | 0,0 | 0,7 | 1,9 | 2,5 | 2,2 | 2,2 |
| Ungarn | 10 | 12,6 | 27 | 27 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| Zypern | 0 | 0,1 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| EU 25 | 1.844 | 1.962 | 1.729 | 1.956 | 25 | 44 | 46 | 56 | 23 | 62 | 54 | 83 |
| EU 15 | 1.628 | 1.739 | 1.563 | 1.616 | 24 | 43 | 45 | 54 | 19 | 56 | 52 | 79 |
| EU 10 (neu) | 216 | 223 | 166 | 340 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 2 | 4 |

Quelle: Thrän et al. 2005, S. 181



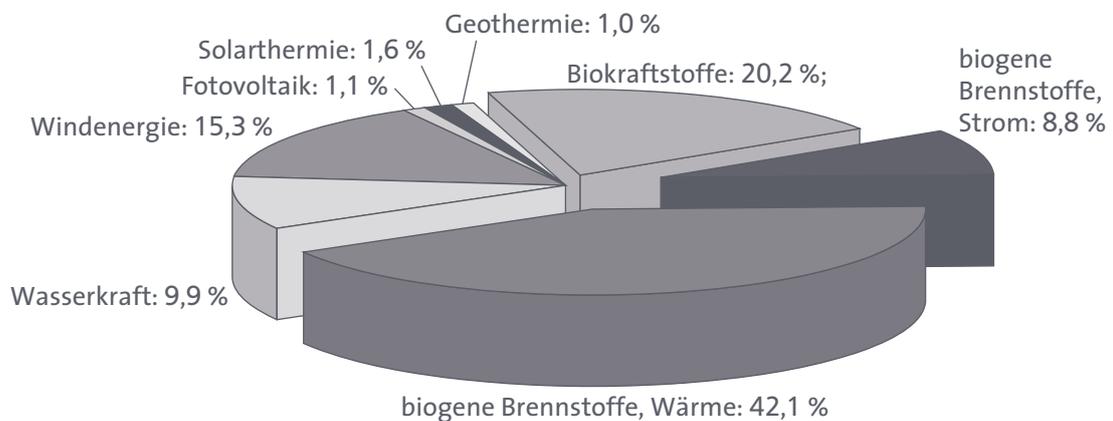
In *Deutschland* hatten im Jahr 2007 erneuerbare Energien einen Anteil von rund 6,6 % (zum Vergleich: 4 % im Jahr 2004) am Primärenergieverbrauch (berechnet nach der Wirkungsgradmethode³) (Abb. 5).

ABB. 5 PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IN DEUTSCHLAND IM JAHR 2007



Quelle: BMU 2008, S.8

ABB. 6 ENDENERGIEBEREITSTELLUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN IN DEUTSCHLAND IM JAHR 2006



Quelle: BMU 2007c, S.12

Bei einer Berechnung nach der Substitutionsmethode hatten die erneuerbaren Energien 2007 einen Anteil von 8,6 % (BMU 2008). Die Endenergiebereitstellung durch erneuerbare Energien betrug in Deutschland im Jahr 2006 813,2 PJ in Form von Strom, Wärme und Kraftstoffen (Abb. 6). Den größten Beitrag leisteten dabei mit rund 71 % die Bioenergieträger, wobei unter diesen wiederum

³ Siehe Anmerkung 2.

die biogenen Festbrennstoffe den größten Anteil hatten (BMU 2007c, S. 11 f.). Biogene Festbrennstoffe werden zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt.

STRUKTURIERUNG DES TECHNIKFELDES BIOENERGIE 2.

Das Technikfeld Bioenergie ist sehr komplex. Von der Erzeugung bzw. Bereitstellung von Biomasse als Primärenergieträger über die Umwandlung zu Sekundärenergieträgern bis zur Endenergienutzung als Wärme, Strom oder Kraftstoff existieren vielfältige Alternativen. Der »Lebensweg« von der Produktion organischer Stoffe bis zur End- bzw. Nutzenergie wird üblicherweise in der Form von Produktlinien⁴ beschrieben. Die wesentlichen Elemente der Produktlinien für die Nutzung von Energiepflanzen (bzw. Bioenergie) sind (Abb. 7):

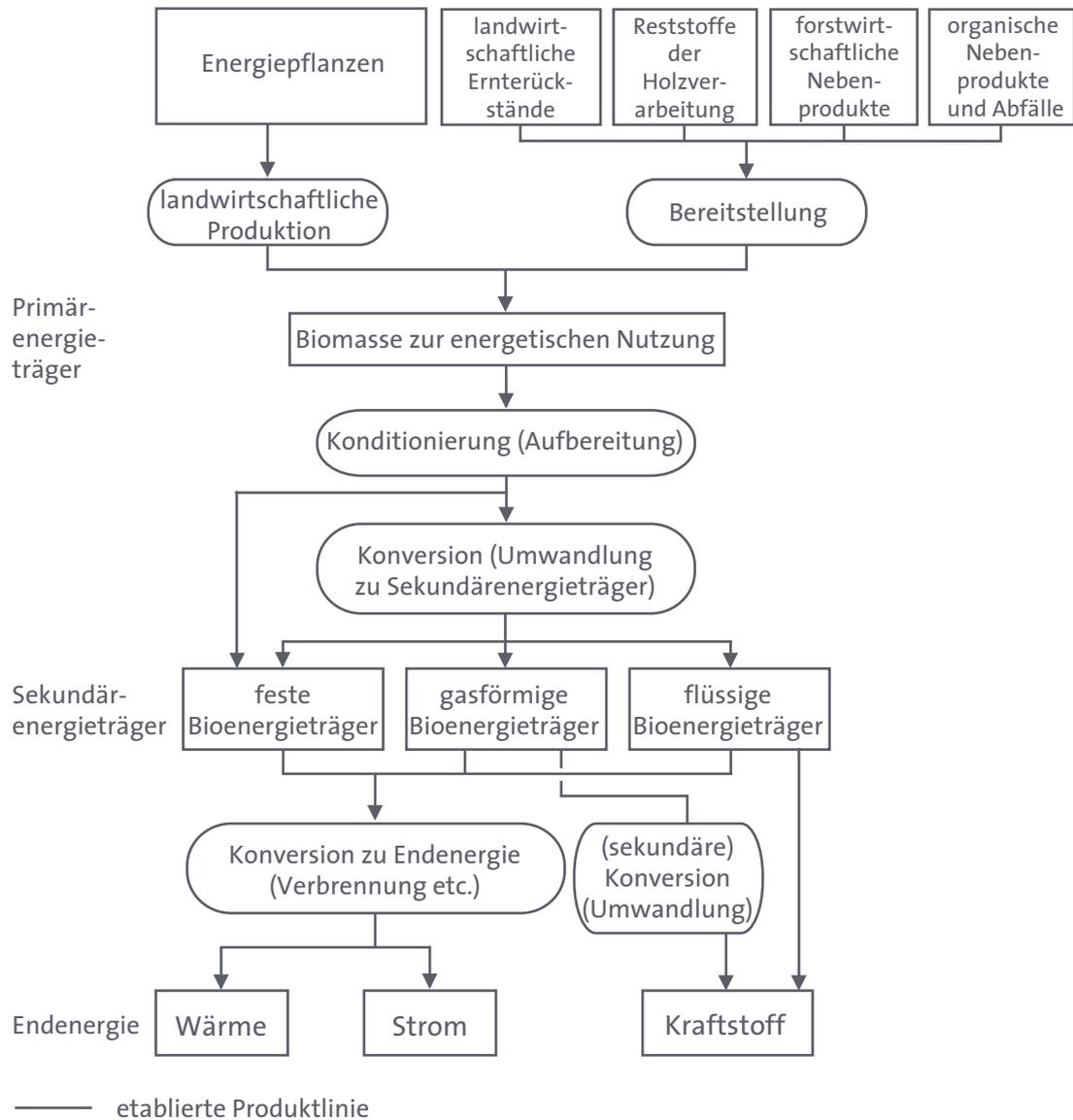
- > der landwirtschaftliche Anbau, inkl. Züchtung (bzw. Bereitstellung von Ernterückständen, organischen Nebenprodukten und organischen Abfällen),
- > die Konditionierung,
- > die Konversion zu Sekundärenergieträgern,
- > die Konversion zu Endenergieträgern sowie
- > die Nutzung der Endenergie.

Die Darstellung des Technikfeldes Bioenergie und ihrer Produktlinien konzentriert sich auf die Energiepflanzen und ihren weiteren Lebensweg. Auf die Nutzung der anderen Biomassefraktionen (also Ernterückstände, organische Nebenprodukte und organische Abfälle) wird kurz eingegangen, soweit sie eine wichtige Rolle spielen und mit Energiepflanzen konkurrieren.

Für den *landwirtschaftlichen Anbau* von Energiepflanzen kommt prinzipiell eine Vielzahl von Kulturpflanzen in Betracht (Kap. II.2.1). Es handelt sich dabei sowohl um bisher für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion genutzte Pflanzenarten als auch um eine neue bzw. »alternative« Kulturpflanzen, die nur als spezielle Energiepflanzen genutzt werden sollen. In Abhängigkeit von der Produktlinie, in der die Biomasse aus dem Energiepflanzenanbau eingesetzt werden soll, ergibt sich jeweils ein spezifisches Spektrum von Kulturpflanzenarten. Die landwirtschaftlichen Anbausysteme (Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz etc.) sind im Hinblick auf energetische Nutzung zu optimieren. Die Züchtung von Energiepflanzen ist von zentraler Bedeutung für die Steigerung der Energiepflanzenenerträge (Kap. II.3).

4 Der Begriff »Produktlinie« ist hier in Anlehnung an Produktlinienanalyse gewählt worden. Es werden auch andere Begriffe wie »Versorgungs- und Bereitstellungsketten« (Kaltschmitt/Hartmann 2001) verwendet.

ABB. 7 ÜBERBLICK PRODUKTIONSLINIEN BIOENERGIE



Quelle: eigene Darstellung

Unter *Konditionierung* bzw. Aufbereitung werden alle Arbeitsschritte nach der Ernte zusammengefasst, mit denen die Biomasse in ihren physikalischen Eigenschaften an die Anforderungen des jeweiligen Konversionsverfahrens angepasst wird. Je nach Produktlinie werden spezifische Aufbereitungsverfahren wie Zerkleinern (z.B. Hacken), Pressen (z.B. Pelletieren), Trocknen, Anfeuchten oder Vermischen eingesetzt. Da die erforderlichen Technologien zur Verfügung stehen und vielfältige Anwendungserfahrungen vorliegen, wird im Weiteren auf diesen Schritt in den Produktlinien nicht weiter eingegangen. Ebenso wird bei diesem



Überblick nicht auf Lagerung und Transport eingegangen, der in der Regel zwischen landwirtschaftlicher Produktion und Konversion notwendig ist.

Die *Konversion zu Sekundärenergieträgern* wird auch als »Veredlung von Biomasse« bezeichnet (Kap. II.2.2). Mit einer Reihe verschiedener Umwandlungstechnologien werden aus der Biomasse der Energiepflanzen vor allem flüssige oder gasförmige Sekundärenergieträger hergestellt. Dieser Zwischenschritt vor der endgültigen Umwandlung in End- bzw. Nutzenergie dient dazu, verbesserte oder neue Eigenschaften zu erzielen, wie eine erhöhte Energiedichte oder bessere Speicher- und Transporteigenschaften, oder eine Ersetzung fossiler Energieträger bei vorhandenen Nutzungstechnologien zu ermöglichen. Der Stand der Technik bei den verschiedenen Konversionstechnologien ist sehr unterschiedlich.

Zwei Konversionsschritte werden teilweise *miteinander kombiniert*, beispielsweise bei der Herstellung von synthetischen Biokraftstoffen (Abb. 7). Hier wird Biomasse im ersten Konversionsschritt direkt – oder über den Zwischenschritt der Pyrolyse – in einem Hochtemperaturvergaser zu Synthesegas (also einen gasförmigen Bioenergieträger) umgewandelt, und dann das Synthesegas in einem zweiten Konversionsschritt in einem sogenannten Fischer-Tropsch-Reaktor in Kohlenwasserstoffverbindungen umgewandelt und gezielt zu synthetischen Kraftstoffen aufbereitet.

Der letzte wichtige Schritt in den Produktlinien ist die *Konversion zu End- bzw. Nutzenergie* (Kap. II.2.3). Im einfachsten Fall wird die Biomasse (z.B. lignocellulosehaltige Biomasse wie Holz) im Anschluss an eine einfache mechanische Aufbereitung (z.B. Zerkleinern zu Hackschnitzeln, Verdichtung zu Holzpellets, siehe oben Konditionierung) direkt in einer Feuerungsanlage verbrannt. Die Verbrennung stellt dabei das »klassische« Verfahren zur energetischen Nutzung fester Bioenergieträger dar, um Wärme und/oder Strom zu erzeugen, wozu etablierte Technologien für einen weiten Leistungsbereich zur Verfügung stehen (FNR 2005, S. 18). Die Konversion zu Endenergie kann außerdem auf der Basis flüssiger oder gasförmiger Sekundärenergieträger erfolgen, wie beispielsweise die Stromerzeugung mit Biogas. Schließlich gibt es eine Reihe von technischen Optionen, bei denen die Vergasung (Konversion zu gasförmigen Sekundärenergieträger) direkt mit neuen Konzepten der Stromerzeugung bzw. Blockheizkraftwerken gekoppelt ist, die sich aber noch im Stadium der Entwicklung bzw. von Demonstrationsvorhaben befinden.

Ziel aller Produktlinien ist die *Nutzung* der Endenergie in der Form von Wärme, Strom oder Kraftstoff (Kap. II.2.4). Es wird also der üblichen Einteilung der Nutzenergiebereiche gefolgt, wobei unter Kraftstoffen Treibstoffe für den Fahrzeugantrieb verstanden werden. In diesem Kapitel werden nochmals die wichtigsten Produktlinien im Hinblick auf ihre Nutzungsbereiche zusammengefasst.

LANDWIRTSCHAFT
2.1

Die Landwirtschaft kann Energiepflanzen und Ernterückstände für eine energetische Nutzung bereitstellen. Entsprechend der Fragestellung dieses Berichts wird auf die landwirtschaftlichen Ernterückstände – d.h. in Deutschland überwiegend Stroh – nicht weiter eingegangen. Für die Energiepflanzenproduktion kommen verschiedene Kategorien von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen infrage:

- > »traditionelle« Kulturpflanzen der Nahrungs- und Futtermittelproduktion,
- > neue Energiepflanzenzüchtungen »traditioneller« Kulturpflanzen,
- > »alternative« Kulturpflanzen.

Der bisherige landwirtschaftliche Anbau von Energiepflanzen konzentriert sich auf die »traditionellen« *Hauptkulturarten*, die auch für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion genutzt werden (z.B. Raps für Biodiesel oder Mais für Biogas, siehe Kasten). Sorten und Anbausysteme bei der Energiepflanzenutzung unterscheiden sich nicht wesentlich von der Nahrungs- und Futtermittelproduktion.

Die Züchtung *neuer Energiepflanzen* »traditioneller« *Kulturpflanzen* steht noch am Anfang. Neue Energiepflanzen mit hohen Biomasseerträgen sind für eine Ganzpflanzennutzung relevant. Weiterhin sind hierfür angepasste landwirtschaftliche Anbausysteme – also Fruchtfolgengestaltung, Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz, Erntetechnik – zu entwickeln. Stand und Perspektiven der Züchtung von Energiepflanzen werden im Kapitel II.3 ausführlich behandelt.

Unter »alternativen« *Kulturpflanzen* zur energetischen Nutzung werden neue bzw. bisher nur marginal in Deutschland bzw. Europa angebaute landwirtschaftliche Nutzpflanzen verstanden. Hierzu zählen beispielsweise Sudangras, Zuckerhirse und Miscanthus sowie Kurzumtriebsplantagen mit Pappeln oder Weiden. Sie weisen bisher eine geringe züchterische Bearbeitung auf, und die wissenschaftlichen und praktischen Kenntnisse über angepasste Anbausysteme sind begrenzt. Die »alternativen« *Kulturpflanzen* wurden bereits ausführlich im TAB-Bericht »Alternative Kulturpflanzen und Anbauverfahren« behandelt (TAB 2005a).

Die Wahl von Energiepflanzen wird wesentlich bestimmt durch die Produktlinien, in denen die Biomasse genutzt werden soll (Kap. II.2.2 u. II.2.3). Grundsätzlich kann zwischen folgenden *Nutzungsalternativen* unterschieden werden:

- > direkte Nutzung als feste Bioenergieträger: Verbrennung von holzartigen, halmgutartigen oder stärkehaltigen Bioenergieträgern,
- > Umwandlung in flüssige Bioenergieträger: Gewinnung von Pflanzenöl, Ethanol und deren Derivaten, zukünftige Biokraftstoffe (Biomass-to-Liquid),



II. GRUNDLAGEN

- › Umwandlung in gasförmige Bioenergieträger: Erzeugung von Biogas (= Vergärungsprodukte) oder biogenem Synthesegas.

Die wesentlichen *allgemeinen Zielsetzungen* beim landwirtschaftlichen Anbau von Energiepflanzen und seiner Weiterentwicklung sind:

- › einen ökonomisch effizienten Anbau von Energiepflanzen zu erreichen, da die Rohstoffkosten eine entscheidende Größe für die Wirtschaftlichkeit von Bioenergie sind;
- › hohe Biomasseerträge zu erzielen, weil die Verfügbarkeit von landwirtschaftlichen Flächen für den Anbau von Energiepflanzen begrenzt ist;
- › geringe negative Umweltwirkungen des Energiepflanzenanbaus anzustreben, damit Klimaschutz- und energiepolitische Ziele nicht auf Kosten von anderen umweltpolitischen Zielen erreicht werden;
- › den Energiepflanzenanbau in eine nachhaltige Landwirtschaft insgesamt einzupassen.

Fortschritte bei der Züchtung und der Entwicklung von für die Energienutzung optimierten Anbausystemen können zur Erreichung dieser Zielsetzungen beitragen.

TEILPFLANZEN- UND GANZPFLANZENNUTZUNG

2.1.1

Bei Energiepflanzen ist die Unterscheidung in Teilpflanzen- und Ganzpflanzen-nutzung von großer Bedeutung. Bei der *Teilpflanzennutzung* wird nur ein Teil der aufwachsenden Biomasse genutzt. Dies können Saaten (z.B. bei Raps, Getreide), Rüben (z.B. bei Zuckerrüben), Stängel (z.B. bei Zuckerrohr) oder Knollen (z.B. bei Kartoffeln) sein und erfolgt analog zu einer entsprechenden Nahrungsmittelnutzung. Für eine Teilpflanzennutzung sind folgende Pflanzen-gruppen relevant:

- › Ölpflanzen: Raps, Soja, Sonnenblumen, Ölpalme, Jatropha etc.
- › Zuckerpflanzen: Zuckerrübe, Zuckerrohr etc.
- › Stärkepflanzen: Getreide, Mais, Kartoffeln etc.

Bei der Teilpflanzennutzung ist immer eine Konversion in einen Sekundärener-gieträger notwendig (Kap. II.2.2).

Bei der *Ganzpflanzennutzung* wird die gesamte aufwachsende Biomasse genutzt, wobei folgende Gruppen unterschieden werden können:

- › holzartige Biomasse: Kurzumtriebsplantagen mit schnellwachsenden Baumarten wie Pappel und Weide
- › halmgutartige, lignocellulosehaltige Biomasse: Getreide, Miscanthus
- › halmgutartige, nichtlignocellulosehaltige Biomasse: Mais, Getreide (vor der Vollreife), Sudangras, Zuckerhirse etc.
- › Gras (von Dauergrünland)

Ein Teil der Ganzpflanzen kann mittels Verbrennung direkt in Nutzenergie umgewandelt werden. Ansonsten ist ebenfalls eine Konversion in einen Sekundärenergieträger notwendig (Kap. II.2.2). Die *höhere Energieausbeute* wird grundsätzlich bei Ganzpflanzennutzung erzielt. Als Beispiel ist dies für Biokraftstoffe in Tabelle 3 dargestellt.

TAB. 3 BIOKRAFTSTOFFERTRÄGE/FLÄCHE

| Form der Pflanzennutzung | Teilpflanzennutzung | | | Ganzpflanzennutzung | |
|--|---------------------|----------|-----------|----------------------------------|-----------------|
| | Biokraftstoff | Rapsöl | Biodiesel | Bioethanol | Biogas |
| Rohstoff | Rapssaat | Rapssaat | Getreide | Silomais | Energiepflanzen |
| Ertrag (in Trockenmasse) (t/ha x a) | 3,4 | 3,4 | 6,6 | 45 (t Frischmasse/ ha x a) | 15 |
| Kraftstoffenergieertrag pro t Biomasse (l/t x a) | 435 | 455 | 387 | 79 (kg/t Frischmasse) | 269 |
| Kraftstoffenergieertrag pro Fläche (l/ha x a) | 1.479 | 1.547 | 2.554 | 3.555 (kg/ha) | 4.028 |
| Diesel-/Ottokraftstoffäquivalent (l/ha x a) | 1.420 | 1.408 | 1.660 | 4.977 | 3.907 |
| Nettoenergieertrag (GJ/ha) | 35 | 38 | 30 | 113 | 118 |

Anmerkung: bei Biogas Angaben für Biomethan aus Silomais

Quelle: FNR 2006a, S. 74 f.

LANDWIRT ALS ROHSTOFFLIEFERANT ODER ALS »ENERGIEWIRT«

2.1.2

Die Biomasseerzeugung für eine energetische Nutzung wird neben der Nahrungsmittelproduktion zunehmend ein weiteres Standbein der Landwirtschaft. Dabei ergeben sich für die landwirtschaftlichen Betriebe zwei Möglichkeiten, die über den Anteil der Landwirtschaft an der Wertschöpfungskette Bioenergie entscheiden (Gienapp 2006):

- > landwirtschaftliche Betriebe als Rohstofflieferant oder
- > Landwirte als »Energiewirte«.



II. GRUNDLAGEN

Landwirtschaftliche Betriebe als *Rohstofflieferanten* begrenzen sich auf die Primärproduktion der Biomasse und verkaufen diese an Konversionsbetriebe bzw. Endenergieproduzenten. Dies ist beispielsweise der Fall beim Anbau von Raps für die Erzeugung von Biodiesel. Der Landwirt als Rohstofflieferant ist stark abhängig von den erzielbaren Rohstoffpreisen.

Landwirte als »*Energiewirte*« bedeutet, dass in den landwirtschaftlichen Betrieben die selbst produzierte Biomasse in Sekundärenergieträger bzw. Endenergie umgewandelt wird. Die Errichtung einer Biogasanlage im landwirtschaftlichen Betrieb und der Verkauf von Strom (und ggf. Wärme) ist ein Beispiel für diesen Weg, der in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen hat. Die Errichtung von Konversionsanlagen erfordert allerdings entsprechende Investitionen. Andererseits bleibt ein größerer Teil der Wertschöpfung in der Landwirtschaft.

Welche der beiden Möglichkeiten von den landwirtschaftlichen Betrieben bevorzugt genutzt wird, ist abhängig von den Standortbedingungen der Betriebe, ökonomischen Einflussfaktoren und der politisch gesetzten Förderung von Bioenergie. Folgewirkungen sind u. a. in der Regionalentwicklung möglich.

STAND DES ANBAUS VON ENERGIEPFLANZEN IN DEUTSCHLAND

Beim deutschen Energiepflanzenanbau dominiert der Raps für die Biodieselproduktion. Im Jahr 2007 wurde *Raps* auf etwa 1.120.000 ha für Biodiesel und energetische Pflanzenölnutzungen angebaut (FNR 2007c). Im Jahr zuvor (2006) entfielen von der Rapsanbaufläche für nachwachsende Rohstoffe 610.000 ha auf Basisfläche ohne Energieprämie (geschätzt), 172.000 ha auf Basisfläche mit Energieprämie und 318.000 ha auf Stilllegungsflächen (FNR 2007a). *Zucker- und Stärkepflanzen* für die Bioethanolerzeugung wurden 2007 auf 250.000 ha angebaut (FNR 2007c).

Die Anbaufläche für Energiepflanzen für die Biogaserzeugung (Energiegetreide, Energiegräser, Energiemais) betrug 2007 400.000 ha (FNR 2007c). Hier waren im Jahr 2006 30.000 ha Basisfläche ohne Energieprämie (geschätzt), 188.000 ha Basisfläche mit Energieprämie und 77.000 ha Stilllegungsflächen (FNR 2007a). Der Anteil von *Silomais* am Anbau dieser Energiepflanzen betrug alleine rund 77 % (im Jahr 2005) (IE 2005, S. 64).

Der Anteil der energetischen Nutzung am gesamten Anbau nachwachsender Rohstoffe beträgt 87 % (2007). Der starke Anstieg der Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe in den letzten zehn Jahren (von rund 400.000 ha 1997 auf rund 2 Mio. ha 2007) geht fast ausschließlich auf den Energiepflanzenanbau zurück (FNR 2007c).

KONVERSION ZU SEKUNDÄRENERGIETRÄGERN

2.2

Die Konversion zu Sekundärenergieträgern wird auch als »Veredlung von Biomasse« bezeichnet. Darin drücken sich wesentliche *allgemeine Zielsetzungen* dieses Verfahrensschrittes vieler Produktlinien aus:

- › die *Erhöhung der Energiedichte*, da die biogenen Primärenergieträger nur eine mehr oder weniger niedrige Energiedichte haben;
- › die *Verbesserung der Transportfähigkeit*, da mit einer erhöhten Energiedichte geringere Transportvolumen verbunden sind und für den Transport gasförmiger Sekundärenergieträger vorhandene Fernleitungsnetze genutzt werden können;
- › die Umwandlung zu flüssigen bzw. gasförmigen Energieträgern bzw. eine *Annäherung an das vorhandene Energiesystem*, damit eine Nutzung mit den vorhandenen Technologien der Endenergienutzung möglich wird.

Die Umwandlung erfolgt in der Regel in *flüssige oder gasförmige Sekundärenergie*. Eine Ausnahme ist die Holzkohle als fester Sekundärenergieträger.

Bei den Konversionstechnologien gibt es eine Reihe *eingeführter Verfahren*, die breit genutzt werden und Stand der Technik sind. Dazu gehören die etablierten Konversionen zu Biokraftstoffen (Pflanzenöl, Biodiesel, Bioethanol) und die Biogaserzeugung. Andere Konversionstechnologien wie Vergasung und Pyrolyse sowie Biomass-to-Liquid-Prozesse befinden sich noch im Stadium der *Forschung, Entwicklung und Demonstration*. Diese noch in der Entwicklung befindlichen Verfahren zielen alle auf eine Ganzpflanzennutzung, wodurch der Energieertrag bezogen auf die landwirtschaftliche Flächeneinheit deutlich erhöht werden soll, und auf eine Verbreiterung der Rohstoffbasis.

THERMOCHEMISCHE UMWANDLUNG

2.2.1

Bei der thermochemischen Umwandlung von Biomasse wird diese in erster Linie unter dem Einfluss von Wärme in einen Sekundärenergieträger mit deutlich höherer Energiedichte umgewandelt, bei der Vergasung in einen gasförmigen Bioenergieträger, bei der Pyrolyse in einen flüssigen Bioenergieträger und bei der Verkohlung in einen festen Bioenergieträger.

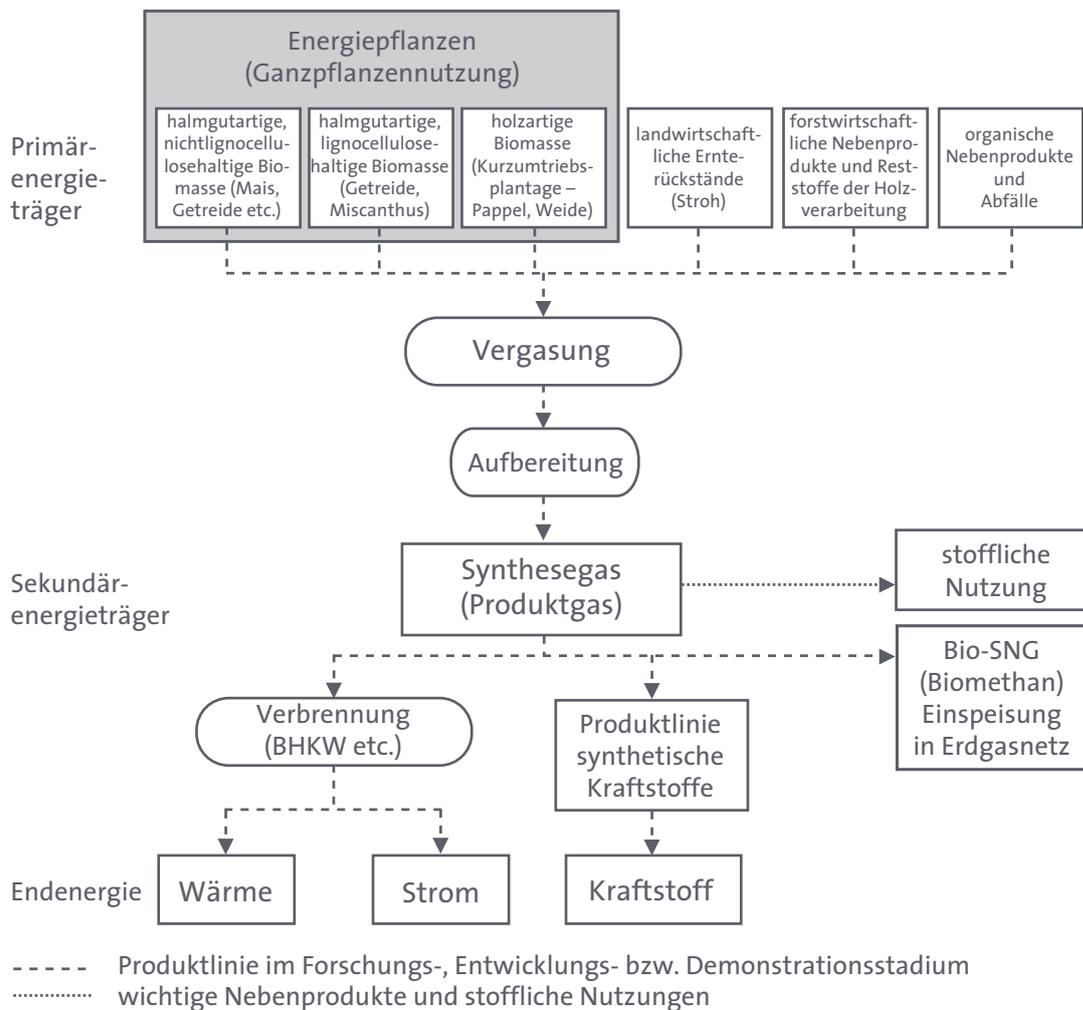
VERGASUNG

Bei der Vergasung wird Biomasse bei hohen Temperaturen möglichst vollständig in einen gasförmigen Sekundärenergieträger – d.h. Brenngas bzw. Schwachgas – umgewandelt. Unter dem Einfluss von Wärme wird dabei der Biomasse ein sauerstoffhaltiges Vergasungsmittel (z. B. Luft, Wasserdampf) zugeführt. Die organischen Stoffe werden dadurch in gasförmige Verbindungen (H_2 , CH_4) aufgespal-

ten, und der zurückbleibende Kohlenstoff wird zu Kohlenmonoxid teilverbrannt. Die dafür erforderlich Prozesswärme wird durch eine teilweise Verbrennung der eingesetzten Biomasse gewonnen (FNR 2005, S. 20). Für die Vergasung kann ein breites Spektrum von Biomasse, von Waldrestholz und Ernterückständen über organische Nebenprodukte und Abfälle bis zu Energiepflanzen (z.B. schnellwachsende Hölzer, Miscanthus, Getreide, Mais) eingesetzt werden.

Das in der Vergasung produzierte niederkalorische Brenngas kann in Brennern zur Wärmebereitstellung und in Gasmotoren oder -turbinen zur Stromerzeugung bzw. zur kombinierten Wärme- und Strombereitstellung eingesetzt werden (Abb. 8; Kap. II.2.3).

ABB. 8 PRODUKTLINIEN VERGASUNG



Quelle: eigene Darstellung



Alternativ kann das erzeugte Brenngas auch weiter in flüssige Sekundärenergieträger (z.B. Methanol, synthetische Kraftstoffe) umgewandelt werden, die in Motoren zur Stromerzeugung oder zum Fahrzeugantrieb genutzt werden (Kap. II.2.2.4). Auch eine anschließende stoffliche Nutzung ist möglich. Schließlich wird mittlerweile auch diskutiert, das Brenngas nach einer Aufbereitung in das Erdgasnetz einzuspeisen (als Bio-SNG), als zukünftige Alternative zur Biogaseinspeisung. Damit könnte zukünftig die Vergasung eine Schlüsseltechnologie für verschiedene Produktlinien darstellen.

Die Vergasung von Biomasse zur Stromerzeugung wird als eine viel versprechende Option angesehen, weil hohe Wirkungsgrade bezogen auf die erzeugte elektrische Energie realisiert werden können und weil geringere Emissionen im Vergleich zu einer Stromerzeugung über die direkte Verbrennung von Biomasse erwartet werden. In den letzten Jahren sind erhebliche Forschungsanstrengungen unternommen worden, die Vergasungstechnologie großtechnisch verfügbar zu machen. Dies ist bisher nur teilweise gelungen: Anlagen zur Stromerzeugung existieren derzeit – abgesehen von einigen Kleinanlagen – nur als Demonstrationsprojekte im Rahmen entsprechender Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Technische Probleme bereitet insbesondere die Gasreinigung. Die vergaste Biomasse weist in Abhängigkeit von der Vergasungstechnologie hohe bis sehr hohe Staubgehalte und teilweise erhebliche Anteile an kondensierbaren organischen Stoffen auf. Die nachgeschalteten Gasturbinen bzw. Gasmotoren verlangen jedoch ein weitgehend staub- und kondensatfreies Brenngas, damit ein problemloser Betrieb und eine lange Lebensdauer erreicht werden können. Dies kann derzeit nur mit einem hohen technischen Aufwand erreicht werden, was zu hohen Kosten und technischen Betriebsproblemen führt (FNR 2005, S. 20).

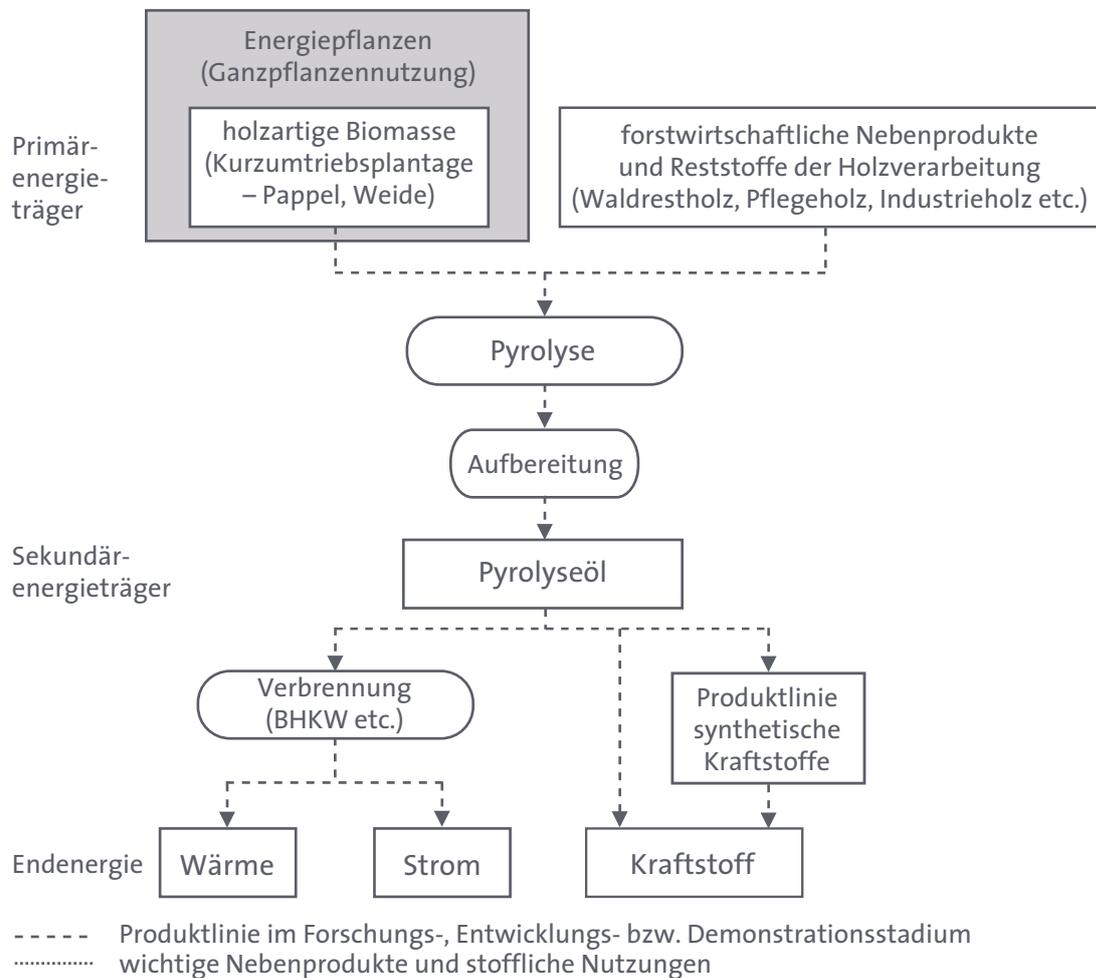
PYROLYSE (VERFLÜSSIGUNG)

Bei der Pyrolyse oder Verflüssigung ist das Ziel, unter dem Einfluss von Wärme und ggf. weiteren Stoffen eine möglichst hohe Ausbeute an flüssigen Komponenten zu erzielen. Bei der Pyrolyse entstehen auch gasförmige und feste Produkte, die teilweise zur Energiebereitstellung für den Pyrolyseprozess genutzt werden (FNR 2005, S. 20 f.).

Der produzierte flüssige Energieträger kann nach einer entsprechenden Reinigung bzw. Aufbereitung als Brennstoff in geeigneten Feuerungsanlagen, als Treibstoff in Motoren oder Gasturbinen zur Stromerzeugung bzw. Wärmebereitstellung oder zur gekoppelten Kraft-Wärme-Bereitstellung (beispielsweise in Blockheizkraftwerken) eingesetzt werden (Kap. II.2.3). Der wesentliche Vorteil der Pyrolyse ist, dass feste Biomasse (z.B. Holz) in einen flüssigen und damit gut transportierbaren Sekundärenergieträger (Pyrolyseöl) mit einer relativ hohen Energiedichte umgewandelt wird, der dann weitgehend universell – z.B. in bereits vorhandenen Verbrennungskraftmaschinen – eingesetzt werden kann. Der

Vorteil der höheren Energiedichte soll auch bei Verfahren genutzt werden, wo die Herstellung von Pyrolyseöl in kleinen Anlagen als eine Verbindung zwischen dezentral anfallenden, wenig energiedichten Primärenergieträgern (z.B. Stroh) und zentralen großtechnischen Verarbeitungsanlagen (z.B. Vergasungsanlagen) dient (Kap. II.2.2.4). Neben der energetischen Nutzung ist auch eine stoffliche Nutzung denkbar.

ABB. 9 PRODUKTLINIEN PYROLYSE



Quelle: eigene Darstellung

Die Pyrolyse ist seit Jahren Gegenstand intensiver Forschungsarbeiten, befindet sich aber noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium. Ursache sind unge löste technische Probleme eines kontrollierten Abbaus der Biomasse in klar definierte und unter Standardbedingungen flüssige Abbauprodukte sowie die hohen Kosten. Weiterhin müssen noch wirtschaftliche Aufbereitungsverfahren entwickelt werden, damit das Pyrolyseöl in vorhandenen Motoren eingesetzt werden



kann. Derzeit ist unsicher, ob die Verflüssigung fester Biomasse in den nächsten Jahren großtechnisch funktionssicher und kostengünstig verfügbar sein wird (FNR 2005, S.21).

VERKOHLUNG

Bei der Veredlung zu dem Festbrennstoff Holzkohle wird die Biomasse unter der Einwirkung von Wärme zersetzt. Die erforderliche Prozessenergie wird häufig durch eine Teilverbrennung des Rohstoffs bereitgestellt. Holzkohle könnte prinzipiell in entsprechenden Anlagen zur Wärme- und ggf. Strombereitstellung eingesetzt werden. Aufgrund des geringen Wirkungsgrades der Verkohlung von rund einem Drittel bis zwei Fünftel bezogen auf den Heizwert der eingesetzten Biomasse und der im Vergleich zu einer direkten Verbrennung geringen energetischen, ökonomischen und ökologischen Vorteile, die der Zwischenschritt der Verkohlung bietet, konnte sich die Verkohlung bisher in Deutschland als Veredlungsverfahren für eine anschließende energetische Nutzung nicht etablieren. Diese Nachteile werden auch zukünftig bestehen (FNR 2005, S.21). Dagegen hat Holzkohle als »traditionelle« Biomasse in einigen Entwicklungsländern große Bedeutung (TAB 2001, S. 51).

Die Technologie zur Holzkohlherstellung ist verfügbar und befindet sich im großtechnischen Einsatz. Der Großteil der in Industriestaaten wie Deutschland produzierten Holzkohle wird stofflich genutzt (z.B. als Aktivkohle), u.a. in der chemischen Industrie. Weitere Einsatzbereiche bestehen in schon erschlossenen Nischenmärkten (z.B. Grillholzkohle) (FNR 2005, S.21).

BIOCHEMISCHE UMWANDLUNG

2.2.2

Bei den biochemischen Umwandlungsverfahren werden mit der Hilfe von Mikroorganismen gasförmige bzw. flüssige Sekundärenergieträger erzeugt.

ANAEROBER ABBAU – BIOGASERZEUGUNG

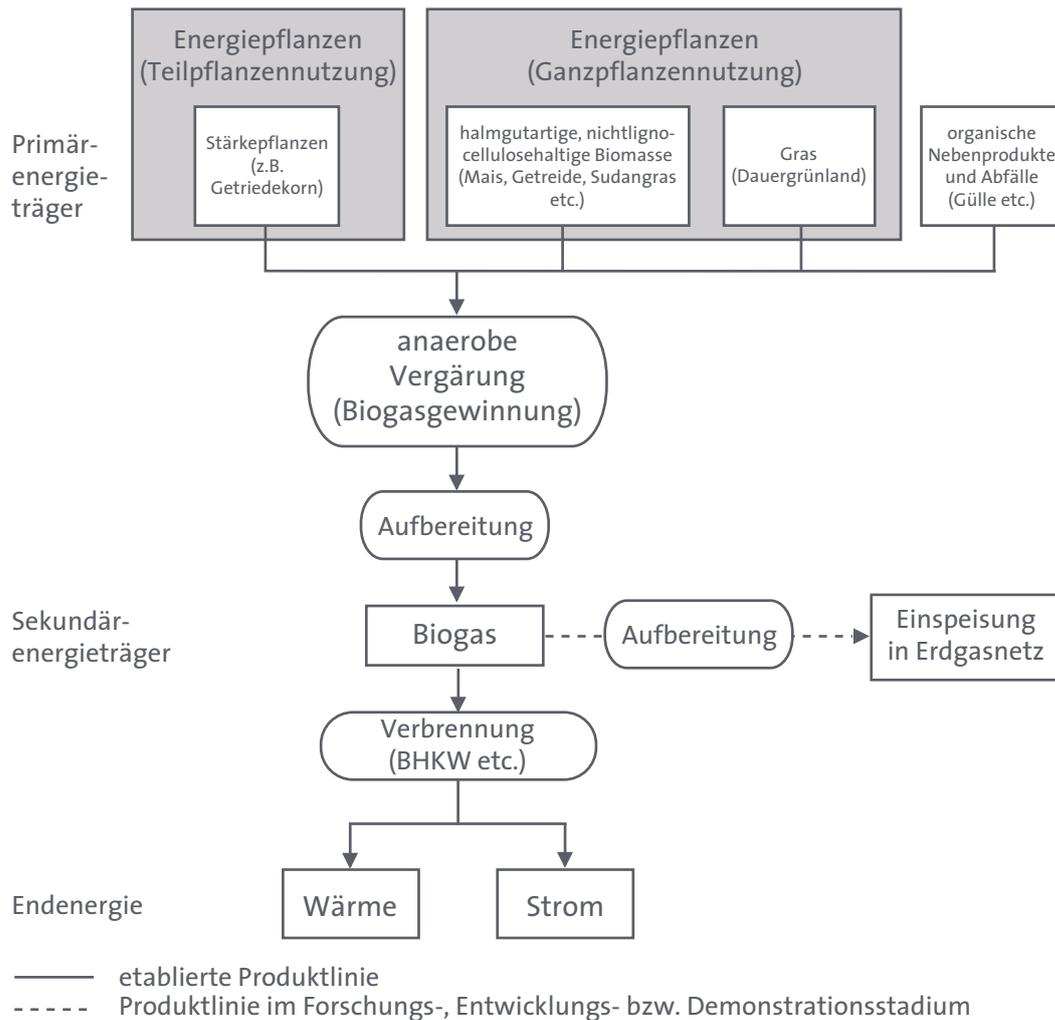
Beim anaeroben Abbau organischer Stoffe (auch anaerobe Vergärung oder Fermentation genannt), d.h. der Umwandlung unter Sauerstoffabschluss, wird durch die Aktivität bestimmter Bakterien Biogas gebildet, d.h. ein wasserdampfgesättigtes Mischgas mit einem Methangehalt von 40 bis 75 %. Der grundsätzliche Verfahrensablauf einer Biogasanlage umfasst vier Prozessstufen:

- > Anlieferung, Lagerung, Aufbereitung und Einbringung der Substrate;
- > Vergärung (Biogasgewinnung);
- > Gärrestlagerung und ggf. -aufbereitung, Ausbringung;
- > Biogasaufbereitung (Entschwefelung, Gastrocknung), Biogasspeicherung und -verwertung.

Die notwendige Verfahrenstechnik ist vorhanden, wird kontinuierlich weiterentwickelt und ist zum Teil im großtechnischen Einsatz (z.B. Kläranlagen). Biogas wird am Standort der Biogasanlage in Gasbrennern oder Motoren zur Wärme- und Stromerzeugung eingesetzt (Abb. 10).

ABB. 10

PRODUKTLINIE BIOGAS



Quelle: eigene Darstellung

Grundsätzlich möglich ist nach einer Reinigung auch die Einspeisung in das allgemeine Erdgasnetz. In landwirtschaftlichen Biogasanlagen werden Gülle, kostengünstige organische Abfälle als Kofermente und zunehmend Energiepflanzen (bisher vor allem Mais) eingesetzt. Die Anzahl der Biogasanlagen ist in den letzten Jahren in Deutschland kontinuierlich gestiegen (Kap. II.2.4).



STAND DER BIOGASERZEUGUNG IN DEUTSCHLAND

Ende 2005 gab es rund 2.700 Biogasanlagen, im Jahr 2006 waren es dann 3.300. Ausgehend von etwa 850 in Betrieb befindlichen Anlagen Ende 1999 hat sich die Anzahl damit fast vervierfacht. Noch stärker ist die Anlagenleistung angestiegen. Ende 2005 betrug die gesamte installierte Anlagenleistung rund 665 MW_{el}. Der starke Anstieg der installierten elektrischen Leistung der Biogasanlagen ist darauf zurückzuführen, dass insbesondere Anlagen im Leistungsbereich oberhalb von 500 kW_{el} zugebaut wurden. Zwischen den Bundesländern bestehen erhebliche Unterschiede hinsichtlich der Anlagengröße und der Anzahl der Anlagen (IE 2006, S. 22 ff.; FNR 2007c, S. 30).

ALKOHOLGÄRUNG – BIOETHANOLERZEUGUNG

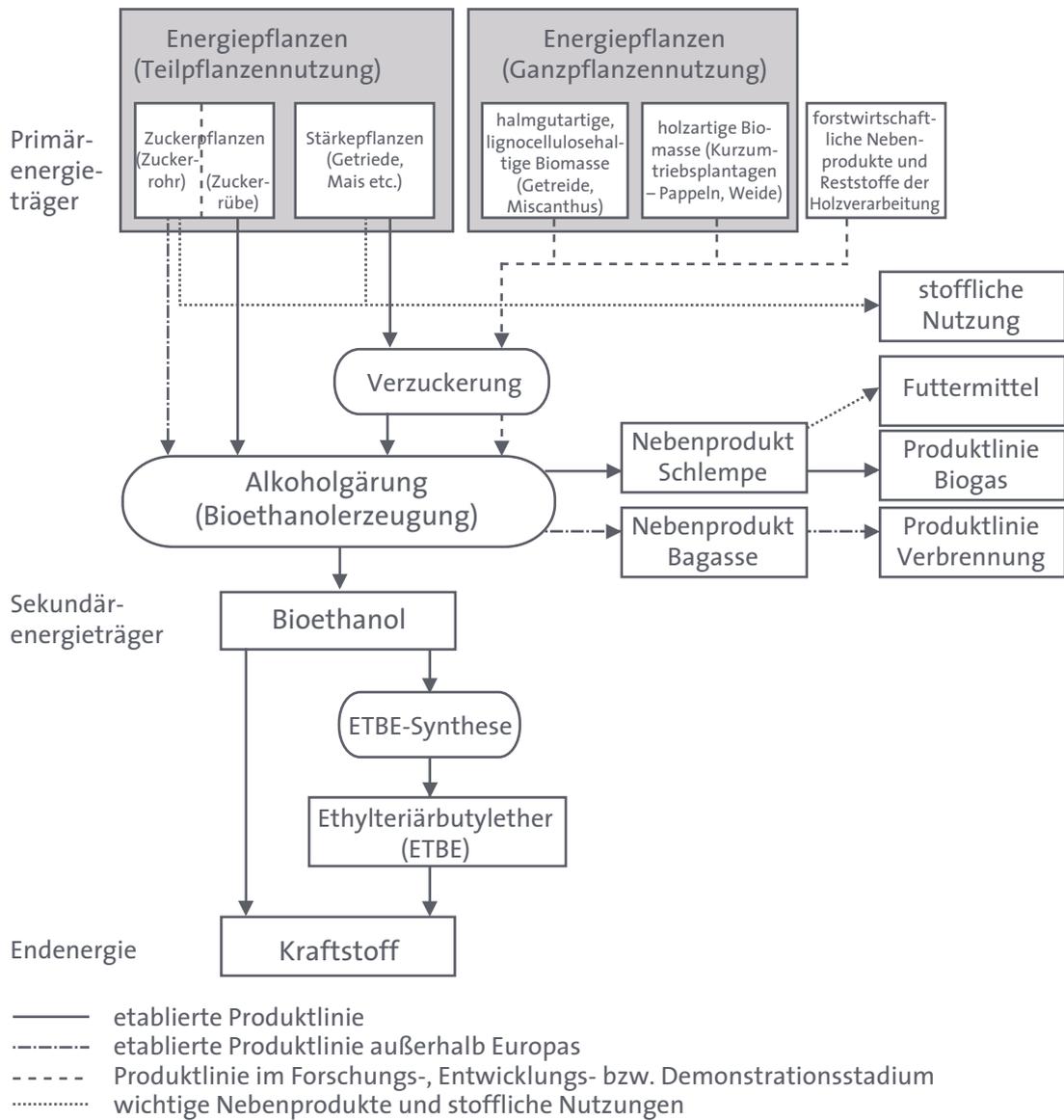
Mithilfe von Hefen und Bakterien kann aus zucker-, stärke- oder cellulosehaltiger Biomasse Alkohol gewonnen werden. Durch eine anschließende Destillation bzw. Rektifikation wird der Alkohol (Bioethanol) nahezu in Reinform produziert. Die notwendige Verfahrenstechnik ist in fast allen Leistungsgrößen verfügbar, da die Trinkalkoholherstellung auch großtechnisch schon sehr lange Zeit praktiziert wird (FNR 2005, S. 22). Bei der Vergärung von zucker- und stärkehaltigen Pflanzen entsteht als Nebenprodukt in großer Menge die sogenannte Schlempe, die als Futtermittel oder Substrat für Biogasanlagen dienen kann. Bei der Bioethanolerzeugung aus Zuckerrohr fällt als Nebenprodukt Bagasse an, das mittels Verbrennung energetisch genutzt werden kann.

Beim Einsatz stärke- oder cellulosehaltiger Biomasse ist zunächst eine Verzuckerung notwendig. Dies ist bei Stärke ein gängiger Prozess. Die Verzuckerung von Cellulose ist zwar gelegentlich realisiert worden, aber aufgrund des hohen technischen Aufwandes (z.B. Säureinsatz) nicht großtechnisch verfügbar (FNR 2005, S. 22). Ein neuerer Ansatz baut auf eine Verzuckerung mit Cellulaseenzymen, die kanadische Firma IOGEN hat ein entsprechendes Technologiesystem für Stroh entwickelt.

Bioethanol wird bei der energetischen Nutzung als Kraftstoff eingesetzt (Abb. 11). Bioethanol kann in Reinalkoholmotoren oder sogenannten »Flexibel Fuel Ethanol (E85)« – Motoren (d.h. Motoren für Ottokraftstoffmischungen mit bis zu 85 % Ethanolanteilen) verwendet werden. Diese Fahrzeugmotoren haben bisher in Europa keine nennenswerte Bedeutung, aber beispielsweise in Brasilien. Eine Zumischung von 5 % Bioethanol zu Ottokraftstoffen ist bei allen Ottomotoren einsetzbar. Produktion und Markteinsatz von Bioethanol erfolgt in Deutschland seit 2005 (Kap. II.2.4). Bioethanol kann außerdem weiter zu ETBE (Ethyltertiärbutylether) umgewandelt werden. Bei ETBE handelt es sich um einen Oktanzahlverbesserer, der aus Bioethanol und Isobuten hergestellt wird.

ABB. 11

PRODUKTLINIE ETHANOL



Quelle: eigene Darstellung

STAND DER BIOETHANOLERZEUGUNG IN DEUTSCHLAND

Aktuell existieren vier Bioethanolanlagen mit einer Produktionskapazität von insgesamt 594.000 m³/a. Als Rohstoffe werden vor allem Getreide und Mais eingesetzt, für den Anlagenbetrieb im Jahr 2006 rund 1,5 Mio. t. Drei neue Anlagen sind in Planung.

PHYSIKALISCH-CHEMISCHE UMWANDLUNG**2.2.3**

Die physikalisch-chemischen Umwandlungsverfahren werden bei der Gewinnung von Pflanzenölen als flüssige Bioenergieträger bzw. Kraftstoff (Biodiesel) genutzt. Die Saaten bzw. Früchte von Ölpflanzen (z.B. Raps, Sonnenblume, Ölpalme, Jatropha) enthalten in mehr oder weniger hohen Konzentrationen Öle und Fette, die energetisch genutzt werden können. Mit Pressen und/oder durch Extraktion wird das Pflanzenöl gewonnen. Eine erweiterte und optimierte Nutzung im Biokraftstoffbereich wird durch die Umesterung zu Biodiesel erreicht (Abb. 12).

PRESSEN

Durch mechanisches Pressen der ölhaltigen Pflanzenkomponente (z.B. Saat) kann die flüssige Ölphase von der festen Phase, dem sogenannten Presskuchen, getrennt werden. Der Presskuchen besteht im Wesentlichen aus allen Komponenten der Saat (u.a. Samenschale, Eiweiß), außerdem einem geringen Ölanteil, und wird meist als Tierfutter verwertet. Die für das Pressen notwendige Verfahrenstechnik ist sowohl kleintechnisch (z.B. für die Anwendung im landwirtschaftlichen Betrieb) als auch großtechnisch (z.B. in der Ölmühle) verfügbar. Die Speiseölgewinnung, die sich von der Gewinnung von Ölen zur energetischen Nutzung praktisch nicht unterscheidet, ist in Ölmühlen seit Jahrzehnten Stand der Technik (FNL 2005, S. 22).

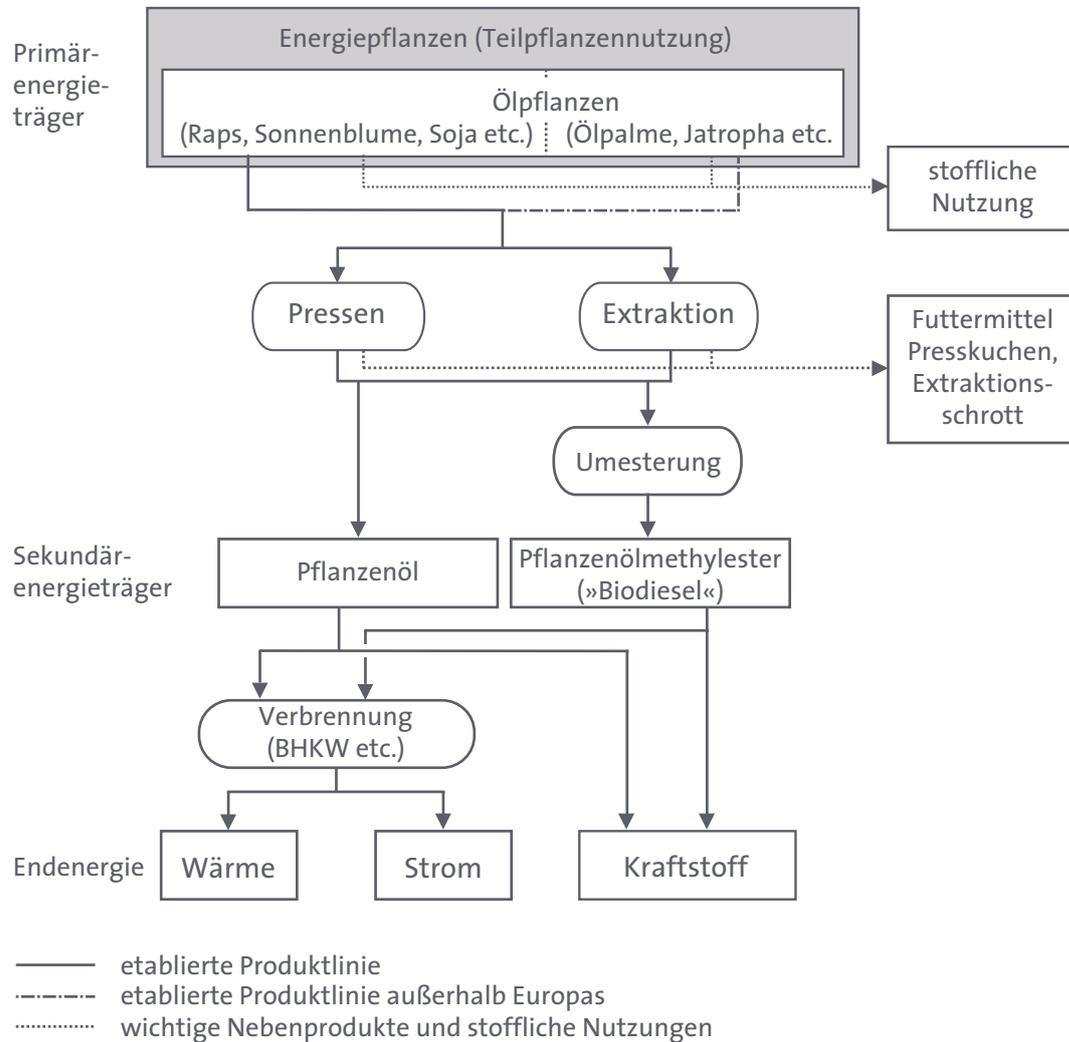
Das durch das Pressen gewonnene Öl kann nach entsprechender Reinigung als Kraftstoff in pflanzenöлтаuglichen Motoren mobil (z.B. in entsprechenden Traktoren) oder stationär (z.B. in Blockheizkraftwerken) genutzt werden. Allerdings gibt es bisher nur wenige Hersteller bzw. Umrüster für pflanzenöлтаugliche Motoren, sodass die *direkte Pflanzenölnutzung* nur eine geringe Bedeutung hat (Kap. II.2.4).

EXTRAKTION

Bei der alternativ oder additiv zur Pressung möglichen Extraktion wird das Öl mithilfe eines Lösemittels (z.B. Hexan) der ölhaltigen Saat entzogen. Öl und Lösemittel bzw. Extraktionsrückstände und Lösemittel werden anschließend durch eine Destillation getrennt, sodass danach die drei Komponenten in Reinform vorliegen. Das Öl kann energetisch genutzt werden, das Schrot (d.h. die Extraktionsrückstände) sind als Futtermittel einsetzbar, und das Lösemittel kann erneut genutzt werden. Diese Technik ist ebenfalls großtechnisch vorhanden und im Einsatz (FNL 2005, S. 22).

ABB. 12

PRODUKTLINIE PFLANZENÖL



Quelle: eigene Darstellung

UMESTERUNG

Die Umwandlung von Pflanzenöl in Pflanzenölmethylester (PME oder Biodiesel) ermöglicht einen breiteren und problemloseren Einsatz im Kraftstoffbereich. *Biodiesel* ist in reiner Form in angepassten Dieselmotoren wie fossiler Dieselmotoren einsetzbar oder in bis zu 5%iger Beimischung in allen Dieselmotoren einsetzbar.

Für die Umesterung ist Methanol notwendig, das mit Pflanzenöl im Verhältnis 1:9 gemischt wird. Bei Temperaturen von 50 bis 80 °C wird das Pflanzenölmolekül, das aus Glycerin und drei Fettsäureketten besteht, aufgespaltet. Die Fettsäuren verbinden sich mit Methanol zu Biodiesel. Zusätzlich entsteht Glycerin, das in der Oleochemie, Pharma- und Lebensmittelindustrie verwendet wird. Die

Verfahrenstechnik zur Umesterung ist großtechnisch verfügbar und im Einsatz. Die Produktionskapazität für Biodiesel ist in Deutschland in den letzten Jahren stark ausgebaut worden, da durch die Steuerbefreiung für Biokraftstoffe Biodiesel günstiger als »konventioneller« fossiler Diesel angeboten werden konnte und die Nachfrage stark stieg (Kap. II.2.4).

STAND DER PFLANZENÖL- UND BODIESELERZEUGUNG IN DEUTSCHLAND

Die *Biodieselproduktionskapazität* betrug Ende 2005 rund 2,3 Mio. t und hat sich damit gegenüber dem Jahr 2000 mehr als verzehnfacht. Unter Berücksichtigung der in Planung befindlichen Anlagen wird eine Erhöhung auf 3 bis 4 Mio. t erwartet. Die Investitionen in den Aufbau der Biodieselproduktion beliefen sich in den vergangenen Jahren auf 400 bis 500 Mio. Euro. Parallel dazu wird die Ölmühlenkapazität von zurzeit ca. 5,5 Mio. t auf 7,5 Mio. t bis Ende 2007 ausgebaut. An etwa 1.900 öffentlichen Tankstellen wird Biodiesel praktisch flächendeckend angeboten (Bockey 2006).

Die Anzahl der dezentralen Kleinpressanlagen zur Gewinnung von Rapsöl ist innerhalb von drei Jahren von 98 auf ca. 300 im Jahr 2006 gestiegen. Sie haben insgesamt eine jährliche Vermahlungskapazität von 0,4 bis 0,5 Mio. t Rapssaat. Die Investitionen betrugen schätzungsweise 60 bis 70 Mio. Euro. Hergestellt wird vorrangig Rapsöl zur Kraftstoffnutzung oder als Rohstoff für die Biodieselproduktion (Bockey 2006).

UMWANDLUNG ZU SYNTHETISCHEN KRAFTSTOFFEN

2.2.4

Synthetische Biokraftstoffe oder Biomass-to-Liquid-Kraftstoffe (BtL-Kraftstoffe) werden derzeit entwickelt (häufig als Biokraftstoffe der zweiten Generation bezeichnet; Kap. II.2.4). Die Herstellung von BtL kombiniert zwei prinzipiell seit Jahrzehnten bekannte Techniken, die Holzvergasung und die Fischer-Tropsch-Synthese (FT-Synthese). Die FT-Synthese wurde in den 1930er Jahren in Deutschland mit dem Ziel der Kohleverflüssigung entwickelt (Bohlmann 2006). Aus dem Biomasseaufwuchs wird bei den BtL-Verfahren über die thermochemische Vergasung (s.o.) ein Synthesegas gewonnen, aus dem in einem zweiten Schritt ein aus langkettigen Kohlenwasserstoffen zusammengesetzter synthetischer Kraftstoff erzeugt wird (Abb. 13).

Verschiedene BtL-Verfahren befinden sich derzeit in Deutschland und Österreich in der Entwicklung (Schütte/Gottschau 2006):

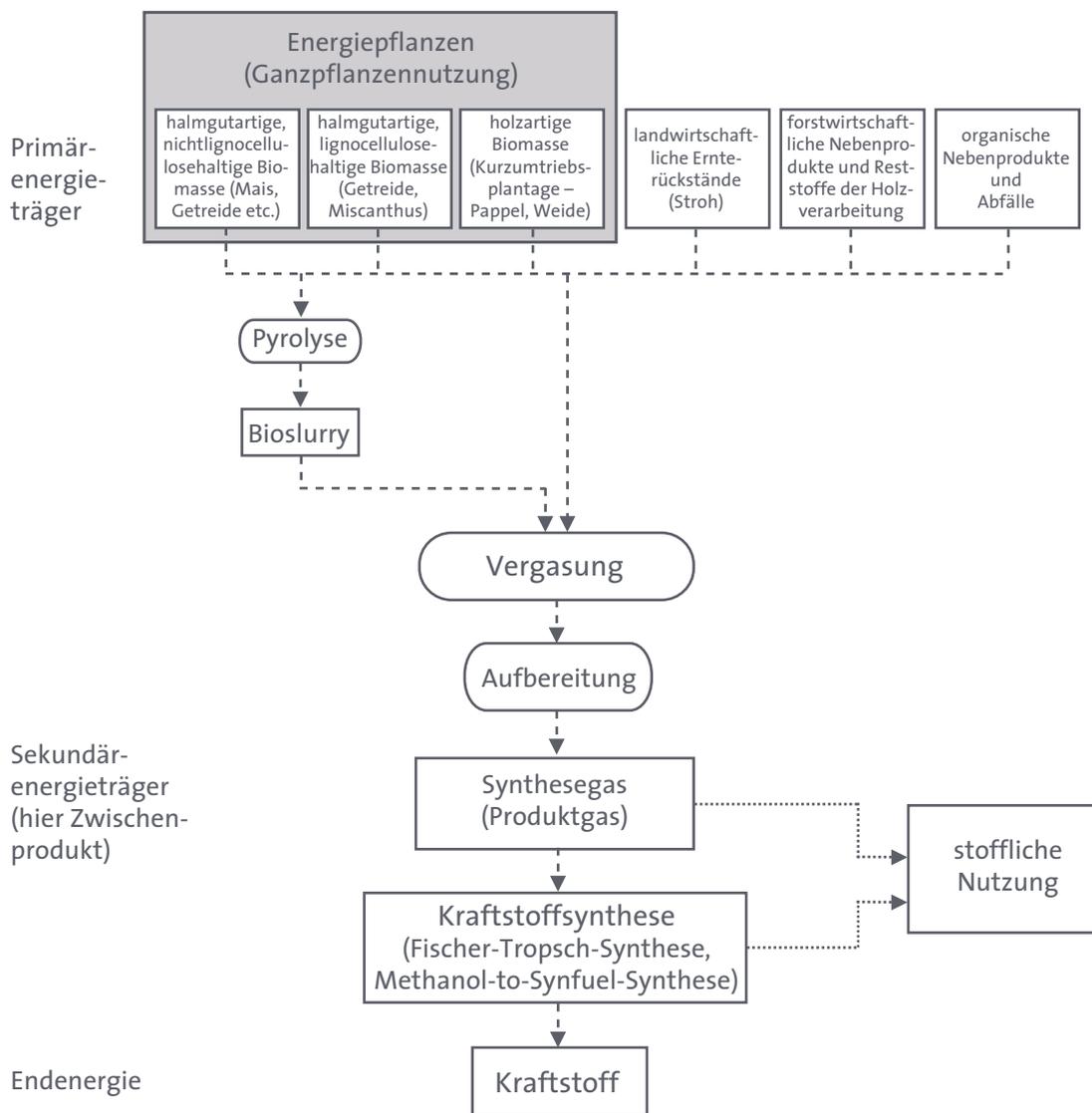
- > Choren Industries GmbH/Shell (Freiberg/Sachsen): Vergasung nach dem CarboV-Prozess mit anschließender Fischer-Tropsch-Synthese
- > CUTEC-Institut GmbH (Clausthal-Zellerfeld): ArtFuel-Prozess mit Wirbelschichtvergasung und Fischer-Tropsch-Synthese

II. GRUNDLAGEN

- > Forschungszentrum Karlsruhe: BioLiq-Verfahren mit Bioslurry und Flugstromvergasung, entweder Fischer-Tropsch- oder Methanol-to-Synfuel-Synthese
- > Technische Universität Bergakademie Freiberg: PHTW-Prozess mit Methanol-to-Synfuel-Synthese
- > Biomasse Güssing GmbH, Österreich: Wirbelschichtvergasung mit Wasserdampf, Hauptnutzung des Gases in einem Motor, ausgekoppelter Teilstrom für BtL-Synthese

ABB. 13

PRODUKTLINIEN SYNTHETISCHE KRAFTSTOFFE



----- Produktlinie im Forschungs-, Entwicklungs- bzw. Demonstrationsstadium
 wichtige Nebenprodukte und stoffliche Nutzungen

Quelle: eigene Darstellung



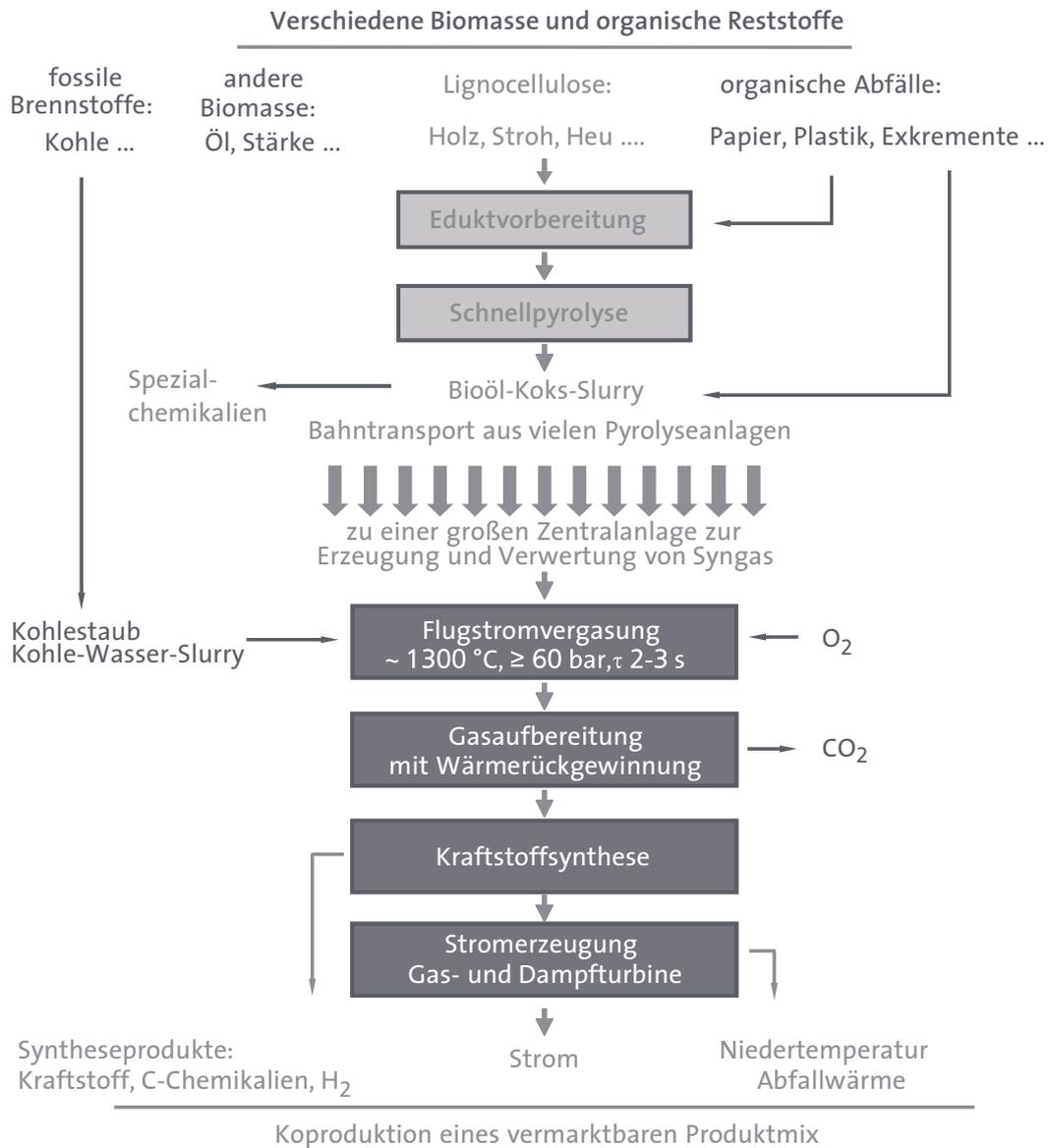
Diese Verfahren befinden sich in *unterschiedlichen Entwicklungsstadien*. Das Verfahren von Choren/Shell wurde bereits im Pilotmaßstab erprobt, eine halbtechnische Demonstration ist in Vorbereitung. Der ArtFuel-Prozess und das Bio-Liq-Verfahren wurden im Labormaßstab erprobt, eine Umsetzung in den Technikumsmaßstab steht an. Der PHTW-Prozess befindet sich in der Vorbereitung zur Umsetzung (Schütte/Gottschau 2006). Im Allgemeinen wird geschätzt, dass noch zehn bis 15 Jahre bis zur Praxisreife benötigt werden.

Das *BtL-Konzept des Forschungszentrums Karlsruhe* umfasst dabei ein zweistufiges Verfahren (Abb. 14). Lignocellulosehaltige Biomasse (Waldrestholz, Stroh, Heu), ggf. aber auch Energiepflanzen und organische Abfälle, wird zunächst einer Schnellpyrolyse unterzogen. Zweck der Schnellpyrolyse ist es, aus den Pyrolysekoken und den Pyrolysekondensaten lagerfähige Pasten bzw. einen pumpfähigen, dünnflüssigen Schlamm (sog. Bioslurry) herzustellen. Diese sind deutlich kompakter als die ursprüngliche Biomasse und lassen sich daher einfacher lagern und transportieren. Der Bioslurry ermöglicht außerdem, in der zweiten Stufe diesen in einem Flugstromdruckvergaser einfach zu zerstäuben und mit reinem Sauerstoff vollständig zu einem praktisch teerfreien und methanarmen Rohsynthesegas umzusetzen. Das Synthesegas kann schließlich nach einer Gasaufbereitung zu verschiedenen Endprodukten wie BtL-Kraftstoff, chemischen Grundstoffen und elektrischer Energie umgewandelt werden (Malcher et al. 2006). Besonderes Kennzeichen dieses Konzeptes ist, dass nicht nur die Herstellung synthetischer Kraftstoffe, sondern auch die Herstellung chemischer Grundstoffe zur stofflichen Nutzung möglich ist.

Unterschiedliche Erwartungen bestehen hinsichtlich der *Rohstoffbasis für den BtL-Prozess*. Teilweise werden die Verfahren zur synthetischen Kraftstoffherstellung – wie das BtL-Konzept des Forschungszentrums Karlsruhe – insbesondere für die Nutzung biogener Reststoffe entwickelt. Außerdem sind biogene Rest- und Abfallstoffe (z.B. Waldrestholz, Stroh) als Primärenergieträger deutlich kostengünstiger als Energiepflanzen und darüber hinaus aufgrund der eingeschränkten Verwendungsalternativen keinem Konkurrenzdruck ausgesetzt (Leible 2006). Erste Abschätzungen der Bereitstellungskosten zeigen, dass sich die Biomasseversorgung mit Waldrestholz am kostengünstigsten realisieren lässt, gefolgt von Getreidestroh, während Heu von überschüssigem Grünland und Silomais deutlich ungünstiger abschneiden (Leible et al. 2006). Dagegen geht die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) davon aus, dass Energiepflanzen wie Energiegetreide oder Mais, möglicherweise auch Großgräser wie Miscanthus, als Rohstoffe durch die Landwirtschaft für die BtL-Prozesse bereitgestellt werden. Für Holz besteht die Einschätzung, dass dieses in Deutschland nicht im ausreichenden Umfang zur Verfügung steht (Schütte/Gottschau 2006).

ABB. 14

KONZEPT DES ZWEISTUFIGEN BTL-VERFAHRENS DES FORSCHUNGSZENTRUMS KARLSRUHE ZUR HERSTELLUNG VON KRAFTSTOFFEN, CHEMIKALIEN UND STROM AUS BIOMASSE



Quelle: Malcher et al. 2006, S. 1

KONVERSION ZU NUTZENERGIE

2.3

Der letzte Schritt in vielen Produktlinien ist die Umwandlung zu den End- bzw. Nutzenergien Wärme und/oder Strom. Zum einen findet bei der Verbrennung von fester Biomasse eine unmittelbare Erzeugung von Nutzenergie statt, ohne die

Zwischenstufe eines Sekundärenergieträgers. Zum anderen werden Wärme und/oder Strom auf der Basis flüssiger und gasförmiger Sekundärenergieträger erzeugt. Für die Umwandlung zu Nutzenergie steht eine Vielzahl von Technologieoptionen zur Verfügung bzw. befindet sich in der Entwicklung. Häufig werden mittels Kraft-Wärme-Kopplung die Nutzungsbereiche Wärme und Strom kombiniert, z.B. in Blockheizkraftwerken.

Die Biokraftstoffe werden hier als Nutzenergie(träger) betrachtet und nicht weiter behandelt, wobei eigentlich die Umwandlung zu Endenergie erst bei ihrer Nutzung im Fahrzeugbereich stattfindet. Kraftstoffe und Antriebstechnologien stehen dabei in einer engen Wechselwirkung (s. TAB-Vorstudie »Perspektiven eines CO₂- und emissionsarmen Verkehrs – Kraftstoffe und Antriebe im Überblick«; TAB 2006).

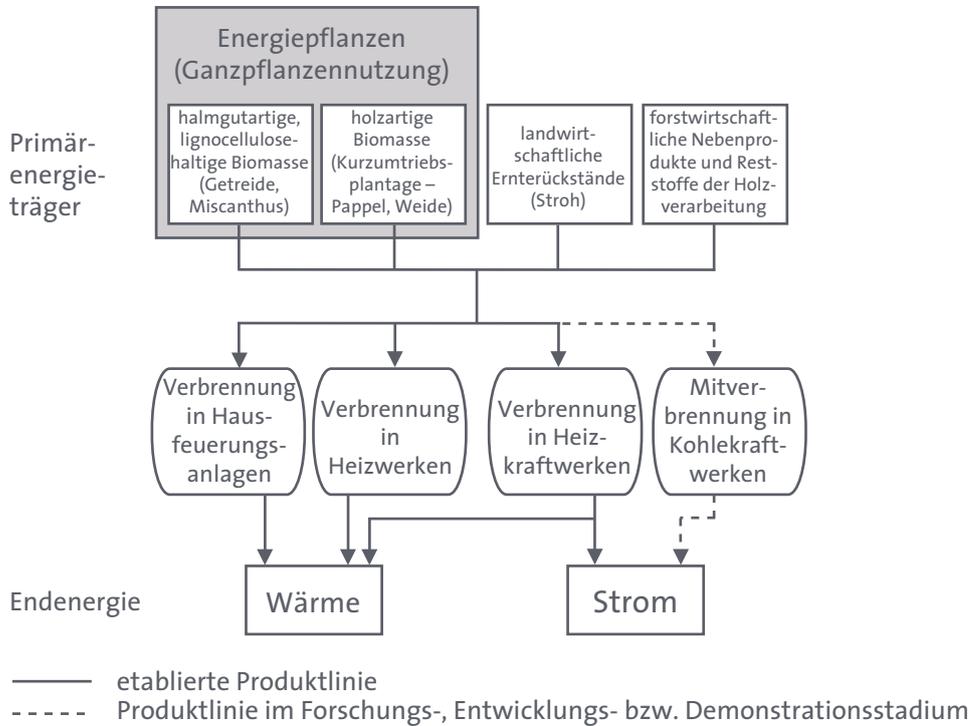
VERBRENNUNG VON BIOGENEN FESTBRENNSTOFFEN (FESTE BIOENERGIETRÄGER)

2.3.1

Die Verbrennung von fester Biomasse stellt die einzige *direkte Umwandlung* von biogenen Primärenergieträgern in End- bzw. Nutzenergie dar. Der Energiegehalt biogener Festbrennstoffe nimmt von Holzpellets über Holzhackschnitzel bis zu Stroh deutlich ab. Aus dem relativ geringen Energiegehalt der biogenen Festbrennstoffe ergibt sich vorzugsweise eine Nutzung in dezentralen Anlagen kleiner und mittlerer Leistung, möglichst in enger räumlicher Nähe zum Anbau-gebiet bzw. zum Ort des Anfalls der Biomasse. Der alleinige Einsatz von naturbelassenen, festen Biomassen wird in der Regel nur in Anlagen bis zu einer thermischen Leistung von ca. 60 MW eingesetzt, was sich überwiegend aus der Fördergrenze des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG). Es kann nicht eindeutig gesagt werden, bis zu welcher höheren Leistung ohne diese Fördergrenze Anlagen technisch und wirtschaftlich betrieben werden könnten (FNR 2005, S. 92).

Für die Verbrennung können als *Primärenergieträger* genutzt werden: forstwirtschaftliche Nebenprodukte (Waldrestholz, Schwachholz), Reststoffe aus der Holzverarbeitung (Industrierestholz, Altholz), landwirtschaftliche Ernterückstände (Stroh) sowie Energiepflanzen. Als Energiepflanzen kommen holzartige Biomasse (Kurzumtriebsplantagen mit Pappeln oder Weiden) und halmgutartige, lignocellulosehaltige Biomasse (Getreide, Miscanthus) infrage (Abb. 15). Die Nutzung von forstwirtschaftlichen Nebenprodukten und von Reststoffen aus der Holzverarbeitung ist aufgrund der günstigen Rohstoffpreise vorherrschend. Die Verbrennung von Getreidekorn ist mittlerweile ebenfalls wirtschaftlich, aber derzeit nur mit Sondergenehmigungen möglich. Die *Anwendungsbereiche* der Verbrennung umfassen ein breites Leistungsspektrum (Abb. 15).

ABB. 15 PRODUKTLINEIE VERBRENNUNG BIOGENER FESTBRENNSTOFFE



Quelle: eigene Darstellung

VERBRENNUNG ZUR WÄRMEERZEUGUNG

Zu den *Hausfeuerungsanlagen* gehören Kaminöfen, Kachelöfen sowie Anlagen zur Wärmeversorgung von Ein- und Mehrfamilienhäusern.

Im Leistungsbereich von 100 kW bis 60 MW thermische Leistung kommen *Heizwerke zur Wärmeversorgung (Nah- und Fernwärme)* im kommunalen Bereich, im Gewerbe-, Handels- und Dienstleistungsbereich sowie zur Prozess- und Heizwärmeversorgung von kleinen und mittelständischen Industriebetrieben zum Einsatz. Hier wird eine deutlich bessere Ausnutzung der Anlagen durch eine gegenüber Hausheizungen gleichmäßigere Wärmenachfrage im Jahresverlauf erreicht (FNR 2005, S. 93).

VERBRENNUNG ZUR ERZEUGUNG VON STROM UND WÄRME

Anstelle von Heizwerken kann im gleichen Leistungsbereich die Verbrennung auch in *Heizkraftwerken* erfolgen. Mit den *Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen* in Heizkraftwerken werden Wärme und Strom erzeugt. Durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und die Biomasseverordnung ist seit dem Jahr 2000 auch der Bau von Anlagen bis 20 MW_{el} (ca. 60 MW_{th}) initiiert worden, die stromgeführt betrieben werden, daher eine hohe Anlagenausnutzung aufweisen und



Wärme an Fernwärmenetze, Industriekunden und andere Abnehmer liefern. Da oft Althölzer als Brennstoff eingesetzt werden, kooperieren die Betreiber mit Entsorgern (FNR 2005, S. 93). Daneben gibt es auch viele wärmegeführte Heizkraftwerke mit Leistungen zwischen 1 und 10 MW_{el}.

MITVERBRENNUNG IN KOHLEKRAFTWERKEN

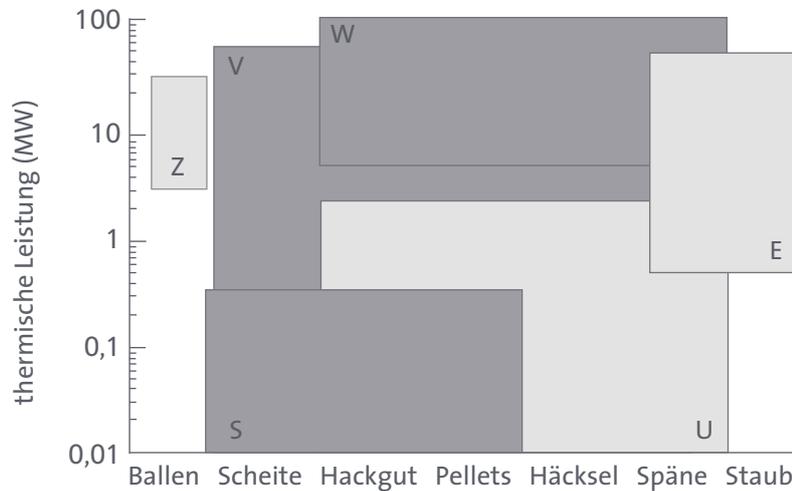
Schließlich ist prinzipiell eine Mitverbrennung von Biomasse in Anlagen großer Leistung, vorzugsweise in *Kohlekraftwerken*, möglich. Untersuchungen haben in den letzten Jahren gezeigt, dass eine Zufeuerung von 10 % Biomasse problemlos möglich ist. Bei der Mitverbrennung von Biomasse werden deutlich höhere Wirkungsgrade erzielt als bei der reinen Stromerzeugung aus Biomasse, aber sie ist nicht wirtschaftlich, da der produzierte Strom nicht nach EEG vergütet wird (FNR 2005, S. 94).

TECHNOLOGIEN DER VERBRENNUNG UND ENDENERGIEERZEUGUNG

Bei der Verbrennung von fester Biomasse hängt die Wahl des *Feuerungssystems* neben der Anlagengröße von der Form der zu verbrennenden Biomasse ab (Abb. 16). In Abhängigkeit vom Brennstoff und seiner Lieferform bestehen folgende Möglichkeiten (FNR 2005, S. 115 ff.):

- › *Ballen* lassen sich in Zigarrenfeuerungen verbrennen, die in einem Leistungsbereich ab etwa 3 MW eingesetzt werden können.
- › *Holzzscheite* können in Schacht- und Vorschubrostfeuerungen je nach thermischer Leistung zum Einsatz kommen.
- › *Holzackschnitzel* können in nahezu allen verfügbaren Feuerungssystemen (d.h. Schachtfeuerungen, Unterschub-, Rost- und Wirbelschichtfeuerungen) eingesetzt werden.
- › *Pellets* können ebenso in den verschiedenen Feuerungssystemen genutzt werden, und es bestehen praktisch keine technischen Begrenzungen bezüglich der installierbaren thermischen Leistung oberhalb einer bestimmten Mindestgrenze.
- › *Häcksel aus Halmgut* können in Unterschub-, Vorschubrost- und bedingt in Wirbelschichtfeuerungen innerhalb eines sehr breiten Leistungsbereichs eingesetzt werden.
- › *Späne aus Holz* können bis zu einem bestimmten Anteil im Brennstoff in Unterschubfeuerungen verbrannt werden. In Vorschubrost-, Einblas- und Wirbelschichtfeuerungen bestehen keine Einschränkungen. Technisch bedingte Begrenzungen bei den installierten thermischen Leistungen oberhalb einer bestimmten Mindestgrenze gibt es nicht.
- › *Staubförmige Biomasse* kann nur in Einblasfeuerungen eingesetzt werden, die aus ökonomischen Gründen nur oberhalb einer Mindestleistung von ca. 500 kW gebaut werden.

ABB. 16 EINORDNUNG DER FEUERUNGSSYSTEME IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANLAGENGRÖÖE UND FORM DER BIOMASSE



E = Einblasfeuerung, S = Schachtf Feuerung, U = Unterschubfeuerung, V = Vorschubrostfeuerung, W = Wirbelschichtfeuerung, Z = Zigarrenfeuerung

Quelle: FNR 2005, S. 117

In dem der Feuerung nachgeschalteten *Kessel* findet der Wärmeaustausch zwischen dem Rauchgas und einem Wärmeträger statt. Als Wärmeträgermedium wird meist Wasser verwendet, das gegebenenfalls verdampft wird. Bei Heizwerken wird die Wassererwärmung zur Nah- bzw. Fernwärmeversorgung genutzt. Wasserdampf kann entweder zur Dampfversorgung von Industriebetrieben oder über den Dampfkraftprozess zur Verstromung eingesetzt werden.

Beim *Dampfkraftprozess* wird die Abgaswärme zur Erzeugung von überhitztem Dampf genutzt, der in einer Dampfturbine zur Stromerzeugung entspannt wird. Danach wird der Dampf in einem Heizkondensator zur Wärmeauskopplung kondensiert. Der Dampfkraftprozess gilt als ausgereift und ausreichend mit fester Biomasse als Brennstoff erprobt (FNR 2005, S. 94 f.). Bei der *Kraft-Wärme-Kopplung* wird in einer gemeinsamen Anlage – einem Heizkraftwerk – gekoppelt Wärme und Strom erzeugt. Häufig werden Heizkraftwerke wärmegeführt betrieben. Dies bedeutet, dass die Anlagen entsprechend der Wärmenachfrage der Abnehmer gefahren werden. Der parallel erzeugte Strom wird in der Regel unter Ausnutzung der EEG-Vergütung in das Netz der öffentlichen Versorgung eingespeist. In den letzten Jahren sind, durch EEG und Biomasseverordnung initiiert, auch Anlagen zur reinen Stromerzeugung errichtet worden (FNR 2005, S. 131 ff.). Biomasse(heiz)kraftwerke werden in Deutschland von Energieversorgungsunternehmen, Unternehmen der Holz- und Papierindustrie, sonstigen Gewerbe- und Industrieunternehmen sowie Finanzinvestoren betrieben. Die Anlagenleistung liegt von unter 1 MW_{el} bis 20 MW_{el}. Die meisten Anlagen sind derzeit in



den walddreichen Flächenstaaten Bayern und Baden-Württemberg in Betrieb. In den letzten Jahren haben beim Dampfturbinenprozess umfangreiche Weiterentwicklungen der bestehenden Techniken stattgefunden, u. a. zur Effizienzsteigerung und Emissionsminderung (IE 2006, S. 9 ff.).

Beim *Stirlingprozess* wird die Wärme aus der Verbrennung (Rauchgas) durch Übertragung an ein Arbeitsgas, welches einen Kreisprozess durchläuft, in mechanische Energie zur Stromerzeugung umgesetzt. Biomassebefeuerte Stirlingmotoranlagen werden derzeit im Rahmen von Pilotprojekten entwickelt, stehen bislang aufgrund der problematischen Wärmeübertragung zwischen Rauchgas und Arbeitsgas allerdings nicht kommerziell zur Verfügung (FNR 2005, S. 94 f.).

Bei der Stromerzeugung mit *Organic-Rankine-Cycle-Anlagen (ORC-Anlagen)* wird die Wärme des Rauchgases an einen Thermoölzwischenkreislauf abgegeben. Über diesen wird die Wärme einem organischen Arbeitsmittel zugeführt, das dadurch verdampft. Dieser Dampf wird in einer Turbine entspannt und die so erhaltene mechanische Arbeit an einen Generator zur Stromproduktion abgegeben. ORC-Anlagen sind kommerziell verfügbar, und es liegen erste Erfahrungen für die Koppelung mit Biomassefeuerungen vor. ORC-Anlagen wurden bereits in den 1980er Jahren zur industriellen Abwärmenutzung erforscht, wobei das damals eingesetzte FCKW-haltige Arbeitsmedium heute nicht mehr genutzt werden kann. ORC-Anlagen erfordern durch den Thermoölzwischenkreislauf einen höheren technischen Aufwand und haben einen geringeren praktischen Wirkungsgrad, aufgrund ihrer Robustheit und guten Teillastfähigkeit sowie ihrer automatischen und unbemannten Betriebsweise werden aber gute Marktchancen im kleineren bis mittleren Leistungsbereich gesehen (FNR 2005, S. 95 f.).

STAND DER VERBRENNUNG BIOGENER FESTBRENNSTOFFE IN DEUTSCHLAND

Im Bereich der *Kleinstfeuerungsanlagen* gibt es in Deutschland derzeit etwa 2,6 Mio. Kaminöfen, 2,5 Mio. Heizkamine und offene Kamine sowie rund 1,8 Mio. Kachelöfen, also insgesamt etwa 7 Mio. Einheiten zur Nutzung von Biomasse. Der Einsatzbereich liegt vornehmlich in Ein- und Zweifamilienhäusern (BMU 2006, S. 11).

Bei den in Deutschland in Betrieb befindlichen Biomasseanlagen zur Stromerzeugung handelt es sich überwiegend um *Heizkraftwerke*, die durch Gewerbe- und Industrieunternehmen betrieben werden und bei denen Wärme zu Prozessdampfzwecken ausgekoppelt wird, sowie um »EEG-Anlagen« zur ausschließlichen Stromerzeugung. Biomassebefeuerte dezentrale KWK-Anlagen kleiner Leistung mit Wärmeauskopplung für kommunale Nahwärmesysteme sind bisher in eher geringen Umfang im Einsatz (IE 2006, S. 9).



Ende 2005 waren in Deutschland zur Verstromung von biogenen Festbrennstoffen etwa 140 Biomasse(heiz)kraftwerke im Leistungsbereich bis 20 MW in Betrieb, die ausschließlich mit festen Biomassen gemäß Biomasseverordnung befeuert werden. Die gesamte elektrische Leistung dieser Anlagen beträgt etwa 1.000 MW_{el}. Die Stromerzeugung betrug rd. 6,6 TWh. Die Anzahl der Biomasse(heiz)kraftwerke und die Menge des erzeugten Stroms sind in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen (BMU 2006, S. 10; BMU 2007a, S. 12; vgl. IE 2006, S. 4 ff.).

VERBRENNUNG VON PFLANZENÖL

2.3.2

Pflanzenöl wird in *Pflanzenölblochheizkraftwerken (Pflanzenöl-BHKW)* zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt. Bisher sind kleine und mittlere Anlagen (5 bis 100 kW_{el}) vorherrschend mit einem Marktanteil von über 90 %. Private Hausbesitzer nutzen vorrangig wärmegeführte Pflanzenöl-BHKW. In diesem Leistungsbereich werden vornehmlich Industriedieselmotoren namhafter Hersteller an den Betrieb mit Pflanzenöl angepasst. Pflanzenölbetriebene BHKW im Leistungsbereich über 1.000 kW_{el} werden vornehmlich von Stromversorgern und Industrieunternehmen betrieben. In allen Leistungsbereichen ist eine ansteigende Nachfrage zu verzeichnen. Als Rohstoff wird in Deutschland vornehmlich Rapsöl eingesetzt, wobei im großen Leistungsbereich zunehmend auch Soja- und Palmöl Verwendung findet (IE 2006, S. 47 ff.).

Im Hinblick auf einen sicheren Betrieb treten Probleme durch Wechselwirkungen zwischen dem Treibstoff Pflanzenöl und dem Schmieröl des Motors auf. Forschungsaktivitäten finden zu direkteinspritzenden Motoren im kleinen Leistungsbereich, zu modernen Hochdruckeinspritzsystemen, zum kombinierten Betrieb mit anderen Brennstoffen (Dual-Fuel-Betrieb) und zum Einsatz von Soja- und Palmöl statt (IE 2006, S. 49 f.).

STAND DER WÄRME- UND STROMERZEUGUNG AUS PFLANZENÖL IN DEUTSCHLAND

Für die Strom- und Wärmeerzeugung aus flüssigen Bioenergieträgern waren Ende 2005 etwa 700 Pflanzenöl-BHKW mit einer elektrischen Leistung von ca. 60 MW_{el} installiert. Die jährliche Stromerzeugung wird auf etwa 1,1 TWh und die Wärmeerzeugung auf 1,0 TWh geschätzt (BMU 2006, S. 10; BMU 2007a, S. 9; IE 2006, S. 48).

KONVERSION VON PYROLYSEÖL**2.3.3**

Das Pyrolyseöl soll als Treibstoff in geeigneten Motoren oder Gasturbinen zur Stromerzeugung oder mittels Kraft-Wärme-Koppelung in Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt werden. In ersten Versuchen wurde rohes Pyrolyseöl – unter Beimischung von 4 Vol.-% Dieseldieselkraftstoff – in einem adaptierten Dieselmotor eines BHKW eingesetzt und der produzierte Strom ins Netz eingespeist (Meier et al. 2006).

KONVERSION VON BIOGAS**2.3.4**

Von den verschiedenen Möglichkeiten zur Verstromung von Biogas werden derzeit in der Praxis vorwiegend *Zündstrahl-* und *Gasmotor-BHKW* genutzt. In kleineren Anlagen werden vor allem Zündstrahl-BHKW eingesetzt. Weiterhin ist der Einsatz von Mikrogasturbinen und Stirlingmotoren möglich, die aber bisher nur in Forschungs- und Demonstrationsprojekten eingesetzt werden (IE 2006, S. 34). Die Biomassevergasung und die weitere Umwandlung in die Endenergien Strom und Wärme sind normalerweise in einer Anlage integriert, werden in diesem Bericht aus systematischen Gründen aber getrennt beschrieben. In Ausnahmefällen wird das Biogas zu einem BHKW in der Nähe transportiert, um eine bessere Wärmenutzung zu erzielen, da das Gas besser transportiert werden kann als warmes Wasser.

KONVERSION VON PRODUKTGAS AUS DER BIOMASSEVERGASUNG**2.3.5**

Zur Erzeugung von Strom (und Wärme) aus dem Produktgas aus der Biomassevergasung kommen verschiedene Technologien infrage. Die Biomassevergasung und die weitere Umwandlung in die Endenergien Strom und Wärme sind in aller Regel in einer Anlage integriert, werden in diesem Bericht aus systematischen Gründen aber getrennt beschrieben.

Beim Einsatz einer *Gasturbine* wird das Produktgas gereinigt, vorverdichtet und unter Zugabe von verdichteter Luft in einer Brennkammer verbrannt. Die dabei entstehenden Abgase werden über die nachgeschaltete Turbine entspannt und auf dieser Weise zur Stromerzeugung genutzt. In der *GuD-Anlage* wird der Gasturbine ein Dampfturbinenprozess nachgeschaltet, um einen höheren Wirkungsgrad zu erzielen (FNR 2005, S. 95).

Bei der Nutzung in einem *Gasmotor* wird das Produktgas mit Luft gemischt, dem Motor zugeleitet und in dessen Zylinder nach dem Otto- oder Dieselpinzip verbrannt. Die mechanische Arbeit des Motors wird mithilfe eines angekoppelten Generators in elektrische Energie (d.h. Strom) umgewandelt. Zur Nutzung



der beim Verbrennungsprozess entstehenden Abwärme wird diese über Wärmeübertrager ausgekoppelt (FNR 2005, S. 95).

Gasturbinen und -motoren stehen zwar aus anderen Anwendungsbereichen zur Verfügung, aber die Einsatzfähigkeit ist von den Fortschritten bei der Biomassevergasung abhängig. Insbesondere die Reinigung des Synthesegases stellt ein erhebliches Problem dar (siehe Kap. II.2.2).

In *Brennstoffzellen* wird die chemische gebundene Energie des Produktgases direkt in elektrische Energie umgewandelt, in einer sogenannten »kalten Verbrennung«. Dadurch sind höhere Wirkungsgrade als bei konventionellen Techniken erreichbar. Allerdings befindet sich die Brennstoffzellentechnik noch in verschiedenen Stadien der Entwicklung. Da generell höhere Anforderungen an die Reinheit des einzusetzenden Gases bei Brennstoffzellen bestehen, ist die Nutzung des Produktgases aus der Biomassevergasung mit besonderen technischen Problemen verbunden (FNR 2005, S. 95).

NUTZUNG

2.4

Die Endenergienutzung der verschiedenen Produktlinien erfolgt in den Bereichen Wärme, Strom und/oder Kraftstoff. Diese Bereiche werden im Folgenden kurz erläutert. Grundsätzlich kann bei der Versorgungsstruktur unterschieden werden zwischen:

- › lokale bzw. regionale Bereitstellung von Bioenergieträgern: Dies ist der Fall bei der direkten Umwandlung biogener Festbrennstoffe (z.B. Energieholz, Holzhackschnitzel) in Endenergie und bei der unmittelbaren weiteren Umwandlung eines Sekundärenergieträgers in Endenergie (z.B. Biogas).
- › nationale bzw. internationale Bereitstellung von Sekundärenergieträgern: Insbesondere bei der Bereitstellung flüssiger Sekundärenergieträger als Biokraftstoffe (z.B. Biodiesel, Bioethanol) sind regionale Begrenzungen aufgrund der Transportwürdigkeit aufgehoben. Gleiches gilt bei der Aufbereitung und Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz.

Die technische Entwicklung geht in Richtung der Aufhebung regionaler Begrenzungen, indem zwar weiterhin eine regionale Bereitstellung der biogenen Rohstoffe erfolgt, dann aber überregionale Verteilungsnetze vor der energetischen (End-)Nutzung eingeschaltet werden.

WÄRME

2.4.1

Die Wärmeerzeugung aus Biomasse ist auch in Deutschland und Europa die »klassische« Nutzung von Bioenergie. Die Wärmenutzung beruht vor allem auf der *Verbrennung von biogenen Festbrennstoffen*. Diese erfolgt in einem weiten

Leistungsbereich, von Hausfeuerungsanlagen (auch Kleinstfeuerungsanlagen genannt) bis zu Heizwerken im Bereich von 60 MW_{th}, und ist Stand der Technik (siehe Kasten). Zur Wärmebereitstellung werden vor allem *forstwirtschaftliche Nebenprodukte und Reststoffe der Holzverarbeitung* genutzt.

STAND DER BIOGENEN WÄRMEERZEUGUNG IN DEUTSCHLAND

Die Nachfrage nach erneuerbaren Energien wird im Wärmemarkt fast ausschließlich durch Biomasse (rund 94 %) gedeckt. Dabei ist der Einsatz biogener Festbrennstoffe in Hausfeuerungsanlagen (d.h. traditionelle Biomasse) mit 61,6 TWh (im Jahr 2006) dominierend (Tab. 4). Die Wärmebereitstellung mit biogenen Festbrennstoffen in der Industrie beträgt 9,3 TWh und mittels Heizkraft- und Heizwerken 2,2 TWh. Einen nennenswerten Beitrag zur Wärmeerzeugung liefert außerdem Biogas mit 5,4 TWh. Die Wärmebereitstellung mittels Pflanzenölen ist dagegen sehr gering (1 TWh) (BMU 2007a).

TAB. 4 BIOGENE WÄRMEBEREITSTELLUNG IN DEUTSCHLAND 2006

| | Endenergie (in TWh) | Anteil an erneuerbaren Energien |
|--|------------------------|---------------------------------------|
| biogene Festbrennstoffe Haushalte (»traditionelle Biomasse«) | 61,6 | 68,9 |
| biogene Festbrennstoffe Industrie | 9,3 | 10,4 |
| biogene Festbrennstoffe Heizkraft- und Heizwerke | 2,2 | 2,5 |
| gasförmige biogene Brennstoffe (Biogas) | 5,4 | 6,0 |
| flüssige biogene Brennstoffe (Pflanzenöl) | 1,0 | 1,1 |

Quelle: verändert nach BMU 2007a, S.9 u. 12

Die Wärmenutzung ist der Bereich, in dem heute schon vielfach eine *Wirtschaftlichkeit* auch ohne staatliche Förderung gegeben ist. Ursache hierfür ist, dass der relativ günstige biogene Brennstoff direkt mit hohem Wirkungsgrad verwertet wird. Die Situation bei den biogenen Festbrennstoffen ist durch »negative« Kosten (d.h. Gutschrift für vermiedene Entsorgungskosten) bei Althölzern und preiswerten Nebenprodukten bzw. Reststoffen aus der Forstwirtschaft bzw. Holzverarbeitung gekennzeichnet. Die Wärmenutzung ist nicht so gut statistisch erfasst wie die Bioenergienutzung bei Strom und Kraftstoffen.

Das Potenzial der Wärmenutzung in der Kombination mit einer Stromerzeugung – d.h. durch Kraft-Wärme-Kopplung von Blockheizkraftwerken bis zu großen



Heizkraftwerken – ist bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. Eine wichtige Voraussetzung für den erweiterten Einsatz von Biomasse in Heiz- und Heizkraftwerken ist der *Aufbau von Nah- und Fernwärmenetzen*. Verbesserungsmöglichkeiten der heutigen Feuerungstechniken gibt es sowohl bei Wirkungsgraden wie auch bei den Emissionen (Nitsch et al. 2004, S. 36).

STROM

2.4.2

Die Bioenergienutzung zur Stromerzeugung kann mit *festen Primärenergieträgern sowie flüssigen und gasförmigen Sekundärenergieträgern* erfolgen. Die Stromerzeugung, insbesondere wenn sie auf der Nutzung von Energiepflanzen beruht, ist derzeit nur durch die staatliche Förderung wirtschaftlich. Durch die Förderung ist die Stromnutzung in den letzten Jahren stark ausgebaut worden (s. Kasten). Die Stromerzeugung kann sowohl in ausschließlichen Stromerzeugungsanlagen als auch kombiniert mit einer Wärmeauskopplung erfolgen.

STAND DER BIOGENEN STROMERZEUGUNG IN DEUTSCHLAND

Die Verstromung von Biomasse nimmt nach Windenergie und Wasserkraft den 3. Platz bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ein. Im Jahr 2006 betrug die Stromerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen 6,6 TWh (Anteil von 9,1 % an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien), aus Biogas 5,4 TWh (7,4 %) und flüssigen biogenen Brennstoffen (Pflanzenöl) 1,0 TWh (1,4 %). Stark zugenommen hat vor allem die Verstromung von Biogas, die sich aufgrund der Regelungen des EEG gegenüber dem Vorjahr fast verdoppelt hat (BMU 2007a, S. 4, 9, 12).

Grundsätzlich sollte eine *gekoppelte Erzeugung von Wärme und Strom* angestrebt werden, weil damit deutlich höhere Nutzungsgrade der Biomasse erzielt werden können. Die Feuerungsanlagen für biogene Festbrennstoffe beruhen auf schon seit längerem entwickelten Techniken, weshalb hier die Kostensenkungspotenziale begrenzt sind. Vielfältiger noch als feste Brennstoffe lassen sich gasförmige biogene Brennstoffe – d.h. heute Biogas – nutzen. Hier sind mithilfe des Gasmotorenprinzips auch kleinere Anlagenleistungen mit Kraft-Wärme-Kopplung realisierbar (Nitsch et al. 2004, S. 40).

Eine *nächste Generation* der Biomassenutzung wird in der Vergasung von fester Biomasse gesehen, die sich noch im Stadium der Entwicklung und Demonstration befindet. Bei erfolgreicher Vergasungstechnik könnte eine breite Rohstoffbasis von Energiepflanzen in Ganzpflanzennutzung (wie halmgutartige, lignocellulosehaltige Biomasse, holzartige Biomasse und Gras) über landwirtschaftliche Ernterückstände (Stroh) bis zu forstwirtschaftlichen Nebenprodukten und Rest-

stoffen der Holzverarbeitung (wie Waldrestholz, Industrieholz und Altholz) in einem Anlagenkonzept eingesetzt werden.

Neben der direkten Strom- (und Wärme-) Erzeugung könnte auch eine Aufbereitung von Biogas zu Biomethan oder eine Aufbereitung des Produktgases aus der Vergasung zu *Biomethan bzw. Bio-SNG* (Synthetic Natural Gas) eine zukünftige Option sein. Biomethan dient der *Einspeisung in das allgemeine Erdgasnetz*, wo es dann wie Erdgas zur Bereitstellung von Wärme und Strom genutzt würde.

KRAFTSTOFFE

2.4.3

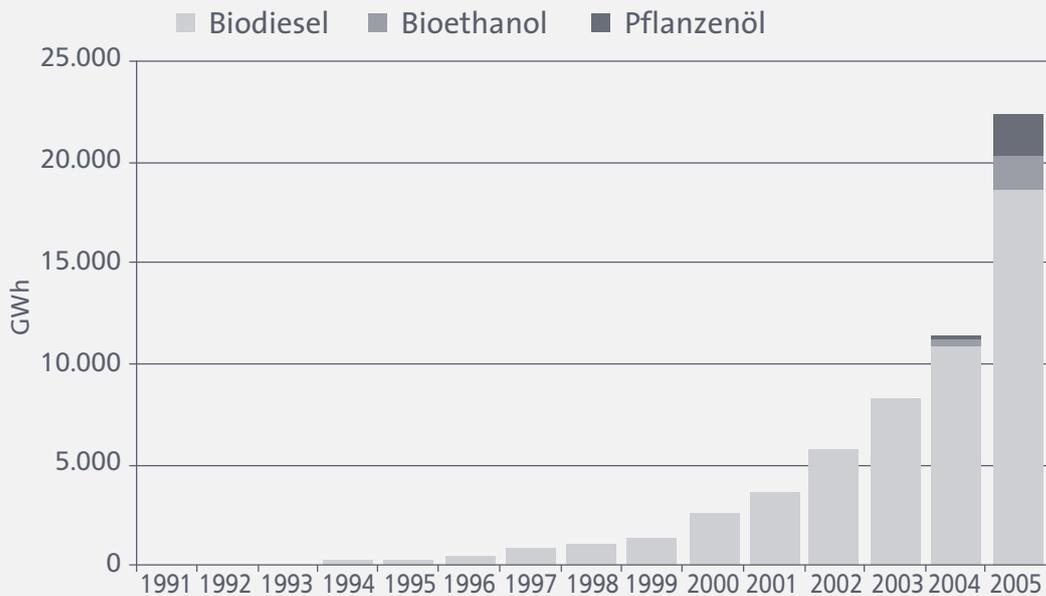
»Konventionelle« *Biokraftstoffe* (häufig als *Biokraftstoffe der ersten Generation* bezeichnet) sind Fette und Öle, deren Methylester (Biodiesel) und Bioethanol. Sie werden mithilfe biochemischer oder physikalisch-chemischer Umwandlungsverfahren (d.h. Konversion zu sekundären, flüssigen Bioenergieträgern; Kap. II.2.2) gewonnen. Bei diesen *Biokraftstoffen* wird nur ein Teil der aufwachsenden Biomasse für die Energieerzeugung genutzt, d.h. es handelt sich um *Energiepflanzen mit Teilpflanzennutzung*. Die Erzeugung dieser »konventionellen« *Biokraftstoffe* ist Stand der Technik und wird zunehmend in Deutschland (siehe Kasten) und anderen Ländern genutzt. Ihr Potenzial zur Ersetzung fossiler Kraftstoffe ist aufgrund der relativ hohen Flächeninanspruchnahme begrenzt. Der starke Anstieg der *Biokraftstoffnutzung* in den letzten Jahren wurde durch eine entsprechende staatliche Förderung verursacht.

Für eine energetische *Ganzpflanzennutzung* werden derzeit synthetische *Biokraftstoffe* oder Biomass-to-Liquid-Kraftstoffe (BtL-Kraftstoffe) entwickelt (auch als *Biokraftstoffe der zweiten Generation* bezeichnet). Hier soll der gesamte Biomasseaufwuchs zur Kraftstoffherstellung genutzt werden. Als Rohstoffe kommen prinzipiell herkömmliche Energiepflanzen wie Energiegetreide und Mais, alle sonstigen biomasseträchtigen Anbaupflanzen wie auch die nichtlandwirtschaftlichen Biomassefraktionen infrage. Aus der Biomasse wird in der Regel über die thermochemische Vergasung ein Synthesegas gewonnen, aus dem in einem zweiten Schritt ein aus Kohlenwasserstoffen zusammengesetzter, synthetischer Kraftstoff erzeugt wird (Kap. II.2.2). BtL-Kraftstoffe können direkt in modernen Motoren eingesetzt werden und vergleichsweise einfach durch Änderungen bei der Synthese und Aufbereitung sich ändernden Anforderungen an die Kraftstoffe angepasst werden. Verschieden BtL-Verfahren befinden sich derzeit in Deutschland in der Entwicklung (Schütte/Gottschau 2006).

STAND DER BOKRAFTSTOFFNUTZUNG IN DEUTSCHLAND

Im Jahr 2006 wurden rund 4 Mio. t Biokraftstoffe in Deutschland abgesetzt, was fast eine Verdoppelung gegenüber dem Vorjahr darstellte, genauso wie im Jahr zuvor (Abb. 17). Neben dem dominierenden Absatz von Biodiesel (2,84 Mio. t) war auch ein nennenswerter Absatz an Bioethanol (0,48 Mio. t) und Pflanzenöl (0,71 Mio. t) zu verzeichnen. In Deutschland gibt es über 1.900 Tankstellen mit Biodiesel. Der Anteil der Biokraftstoffe am Endenergieverbrauch – bezogen auf den gesamten Straßenverkehr – betrug 2006 4,7%. Der starke Anstieg wurde maßgeblich verursacht durch die Inbetriebnahme neuer Kapazitäten, das weiter gestiegene Preisniveau für Diesel- und Ottokraftstoffe sowie die Steuerbefreiung für die Beimischung von Biokraftstoffen zu Diesel- und Ottokraftstoffen infolge des novellierten Mineralölsteuergesetzes (BMU 2006, S. 11; BMU 2007c, S. 17).

ABB. 17 ENTWICKLUNG DER ENERGIEBEREITSTELLUNG DURCH BOKRAFTSTOFFE IN DEUTSCHLAND



Quelle: BMU 2006, S. 11

ZÜCHTUNG VON ENERGIEPFLANZEN

3.

Im Folgenden werden der Status Quo der pflanzenzüchterischen Bearbeitung, von Züchtungszielen und Züchtungsstrategien getrennt nach ein- und zweijährigen Pflanzen, also den üblichen landwirtschaftlichen Anbauarten (Kap. II.3.1),

sowie schnellwachsenden Baumarten für Kurzumtriebsplantagen bzw. Agroforstsysteme (Kap. II.3.2) dargestellt.

EIN- UND ZWEIJÄHRIGE PFLANZEN

3.1

Das folgende Kapitel basiert zum großen Teil auf dem Gutachten »Züchtung von Energiepflanzen für die Nutzung spezifischer Inhaltsstoffe und zur Nutzung als Energiequelle aus Ganzpflanzen« (Klein/Kesten 2007). Darin wurden sowohl die Potenziale der klassischen Kreuzungs-Kombinations-Züchtung und der Hybridzüchtung betrachtet als auch die Möglichkeiten des Einsatzes molekularer Marker sowie der gentechnischen Transformation für die Erreichung dieser neuartigen Zuchtziele diskutiert.

Bei Energiepflanzen ergeben sich je nach Pflanzenart und Nutzungspfad bzw. Produktlinie (Kap. II.2) unterschiedliche Zuchtziele, die sich voraussichtlich in unterschiedlicher Ausprägung und Geschwindigkeit realisieren lassen. Ein wesentliches Bewertungskriterium für die Nutzungspfade ist der maximal mögliche Energieertrag pro Anbaufläche (also die *Flächeneffektivität*), weil die Fläche einen begrenzenden Faktor darstellt, von der ein möglichst hoher Beitrag für die Versorgungssicherheit mit möglichst hohem Potenzial zur Abdeckung des Primärenergieverbrauchs erwartet wird. Ganz generell wird man dabei durch die Verwertung der Ganzpflanze zu einem höheren Flächenpotenzial kommen können, als wenn nur einzelne Inhaltsstoffe oder Pflanzenteile verwertet werden. Ganz wesentlich ist außerdem, ob das Substrat für den Umwandlungsprozess in trockener oder feuchter Form bereitgestellt werden kann. Unter mitteleuropäischen Klimabedingungen lässt sich als trockene Ganzpflanze im Wesentlichen nur Getreide ernten, während spezielle Energiepflanzen der zweiten und dritten Generation, die mit einer Sommerbegrünung die intensive Einstrahlung der Sommermonate nutzen und zu deutlich höheren Trockenmasseerträgen führen, immer als feuchtes Grüngut geerntet werden. Eine Trocknung dieses mit ca. 70 bis 80 % Feuchtigkeit geernteten Grüngutes ist aus energetischer Sicht nicht sinnvoll.

Über die im Folgenden dargestellten konkreten Zuchtanstrengungen bei einzelnen Pflanzenarten hinaus besteht in der Fachdiskussion ein sehr weit reichender Konsens, dass bei der angestrebten großflächigen Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus eine zentrale *Herausforderung für die Pflanzenzüchtung darin besteht*, mit einem *breiten geeigneten Artenspektrum* die Grundlage für *abwechslungsreiche Fruchtfolgen* und eine *ausreichende Biodiversität* zu schaffen (Kap. II.3.1.6).



ZUCHTZIELE UND ZUCHTMETHODIK**3.1.1**

Die drei Hauptziele der (klassischen) Pflanzenzüchtung sind die *Ertragssteigerung* (im eigentlichen Sinn), die *Ertragssicherung* (d.h. die Resistenz bzw. Toleranz gegenüber ertragsgefährdenden Einflüssen wie Schädlingen, Krankheiten oder abiotischen Stressfaktoren wie Trockenheit, Versalzung und Hitze) und die jeweiligen *Qualitätseigenschaften/Inhaltsstoffe* (TAB 1998, S.97).

KLASSISCHE METHODEN DER PFLANZENZÜCHTUNG

Für gezielte Zuchtprogramme mit Einsatz klassischer Zuchtmethodik ist es zunächst wichtig, das vorhandene Ausgangsmaterial zu »screenen«. Üblicherweise werden vorhandene Sortimente, bestehend aus unterschiedlichen Herkünften und in unterschiedlichem Entwicklungsstand (Wildarten, Linien, Populationen, Hybriden etc.), in verschiedenen Umwelten (Orte/Wiederholungen/Jahre) geprüft, um den genetischen Anteil an der gemessenen Gesamtvarianz relevanter Merkmale feststellen zu können. Hier wird die sogenannte Genotyp-Umwelt-Interaktion und die Heritabilität (Erblichkeit) relevanter Merkmale bestimmt. Gerade bei komplexen Merkmalen, wie es auch für den (Masse-)Ertrag zutrifft, ist es besonders sinnvoll zu prüfen, ob sich eine Selektion lohnt oder ob die erzielten Effekte überwiegend umweltbedingt sind. Die Wahl der Zuchtmethode hängt in erster Linie von der Befruchtungsbiologie der zu bearbeitenden Art ab. Das Züchten einer neuen Pflanzensorte umfasst die folgenden Schritte, dauert – je nach Befruchtungsbiologie – zehn bis 15 Jahre und kostet etwa 1 bis 2 Mio. Euro:

1. *Evaluierung von Pflanzenmaterial*: Zunächst wird in einem ersten Schritt das Ausgangsmaterial auf die *vorhandene Variabilität (Sorten, Zuchtstämme, Genbankmaterial)* bzgl. des interessierenden Merkmals hin untersucht.
2. Das *Schaffen neuer Variation* wird überwiegend über *sexuelle Kreuzungen* erreicht, teilweise wird auch *mit chemischen Mutagenzien* versucht, Variation zu schaffen.
3. In den Nachkommenschaften von Kreuzungen bzw. Mutanten wird dann auf das betreffende Merkmal, welches dem Zuchtziel entspricht, *selektiert und auf weitere agronomische Merkmale geprüft*.
4. Erfolgreich gefundene Kandidaten werden *vermehrt* und in möglichst *vielen Umwelten* (mehrere Jahre an mehreren Orten) auf die interessierenden Eigenschaften (z.B. Resistenzen, Ertrag, Qualität) *geprüft*.
5. Nach mehrjähriger Selektion erfolgt bei den aussichtsreichsten Kandidaten, die das *interessierende Merkmal in optimaler Weise in einen leistungsfähigen genetischen Hintergrund* integriert haben, die offizielle Anmeldung zur dreijährigen Wertprüfung und Registerprüfung beim Bundessortenamt (BSA).



BIOTECHNOLOGISCHE UND MOLEKULARGENETISCHE METHODEN

Einige Ziele der Pflanzenzüchtung können mit den Methoden der Biotechnologie besonders effektiv erreicht oder sogar erst ermöglicht werden. Hierzu werden unterschiedliche Techniken eingesetzt, darunter:

- › *Zell- und Gewebekulturtechniken* gestatten die Regeneration vollständiger Pflanzen aus Zellen oder Gewebeteilen, die auf Nährmedien unter genau definierten Bedingungen im Labor gehalten und vermehrt werden können. Die verschiedenen Verfahren – die fachsprachlich u.a. *Haploiden- und Embryokultur*, *somatische* oder *Protoplastenfusion* genannt werden – ermöglichen die Kombination der Erbanlagen (Genome) von Pflanzensorten, -arten oder sogar -gattungen, bei denen klassische Züchtungsverfahren keine fruchtbaren (fertilen) Nachkommen ergeben. So können mithilfe der Embryonenkultur, einer reinen Gewebekulturtechnik, Embryonen, die aus weiten Kreuzungen verschiedener Arten und Gattungen entstanden sind, *in vitro* kultiviert, geklont und zu ganzen Pflanzen aufgezogen werden. Ein Großteil der Fragestellungen der modernen Pflanzenzüchtungsforschung konnte erst mithilfe von Zell- und Gewebekulturtechniken angegangen werden, insbesondere die systematische Genomforschung und auch alle Ansätze zur Produktion transgener Pflanzen (s. u.).
- › *Identifikation und Charakterisierung von Zuchtmaterial und Sorten mit molekulargenetischen Methoden*: Unter der Bezeichnung markergestützte Selektion oder auch »smart breeding« versteht man die Zuordnung definierter Genombereiche zu (gewünschten) Pflanzeigenschaften, die gezielte Kreuzung entsprechenden Zuchtausgangsmaterials und die Verfolgung des Erbgangs durch molekulargenetischen Nachweis, also nicht nur über das Erscheinungsbild der Kreuzungsprodukte. Gerade komplexe Merkmale, wie z.B. die für Energiepflanzen relevante »Verschiebung des Blühzeitpunktes« oder die Kältetoleranz, können mithilfe geeigneter molekularer Marker effizienter züchterisch bearbeitet werden (so hofft man), weil das Vererbungsverhalten in der klassischen Züchtung nur ganz schwer nachvollzogen werden kann. Smart breeding gilt neben der Gentechnik als innovativster Ansatz der modernen Pflanzenzüchtung.
- › *Gentechnik*: Die gezielte Übertragung einzelner oder mehrerer artgener oder auch artfremder Gene in das Genom von Pflanzen führt im Erfolgsfall zu sogenannten transgenen Sorten. Wegen der großen wissenschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Aufmerksamkeit und Bedeutung (TAB 1998, 2000 u. 2005b) werden gentechnische Ansätze in einem eigenen Kapitel behandelt (Kap. II.3.1.5), auch wenn sie nach überwiegender Meinung der Fachleute für die spezifische Energiepflanzenzüchtung auf absehbare Zeit von geringer Bedeutung bleiben werden.



**ENERGIEPFLANZEN DER ERSTEN GENERATION
(TEILPFLANZENNUTZUNG)**

3.1.2

Unter dem Begriff Energiepflanzen der »ersten Generation« werden meist die traditionellen Kulturpflanzen der Nahrungs- und Futtermittelproduktion, v.a. Raps und Getreide, verstanden, wenn ihr Erntegut zur Produktion von biogenen Kraftstoffen wie Pflanzenöl, Biodiesel und -ethanol verwendet wird. Da die gleichen Pflanzenteile wie für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion verwendet werden, existieren nur wenige energiesortenspezifische Leistungsmerkmale, die sich meist auf bestimmte Inhaltsstoffe beziehen. Bereits heute werden ganze Pflanzen als Silomais und Grassilage genutzt. Hier spielen der Futterwert und die Verwertung im Tiermagen eine entscheidende Rolle. In Bezug auf den Gesamtpflanzenenertrag werden daher bereits bei den derzeit zur Verfügung stehenden Sorten bzw. Sortenkandidaten in der Leistungsprüfung beim Bundessortenamt Leistungsmerkmale erhoben.

Einen definitorischen Grenzfall stellt der Einsatz von Ganzpflanzen zur Biogasherstellung dar. Hier werden derzeit noch konventionelle Arten und Sorten eingesetzt. Manche Autoren rechnen diese Pflanzen aufgrund ihrer bisherigen züchterischen Bearbeitung zur ersten Generation von Energiepflanzen, im Folgenden werden sie wegen des vorrangigen Zuchtzieles Gesamtertrag unter dem Begriff »zweite Generation« behandelt (Kap. II.3.1.3).

BIODIESEL/PFLANZENÖL: RAPS

Mit 1.533.900 ha Anbaufläche war der Winterraps in Deutschland im Jahr 2007 die dominierende Energiepflanze. Laut Schätzungen der Union zur Förderung der Öl- und Eiweißpflanzen ist zur Ernte 2008 mit einem Rückgang der Anbaufläche um etwa 130.000 ha zu rechnen (UFOP 2007), womit das Niveau des Jahres 2006 erreicht wird. Neben der direkten Kraftstoffnutzung von *Rapsöl* als Nischenanwendung wird das Rapsöl in der Regel durch einfache Modifikation zu Methyl ester umgewandelt. Obwohl die gültige DIN-Norm für Biodiesel keine Verwendung eines spezifischen Pflanzenöls für die Biodieselproduktion vorschreibt, gelten die Freigaben einiger Automobilhersteller für Biodiesel teilweise explizit nur für Rapsölmethylester.

Betrachtet man die Fettsäuremuster des Öls verschiedener Ölpflanzen, so ergeben sich bei den verschiedenen Arten und innerhalb der Arten bei den verschiedenen Sorten unterschiedliche Schwerpunkte, die die Qualität und die Verwendbarkeit des jeweiligen Öls für unterschiedliche Nutzungsrichtungen bestimmen. Beim Körnerraps unterscheiden wir im aktuellen Sortenmaterial derzeit drei unterschiedliche Qualitäten:

- > Erucarraps mit einem besonders hohem Anteil an Erucasäure im Öl (52 %)
- > Doppelnulrraps (00-Raps) mit 62 % Ölsäure im Öl



› HOLLI-Raps (High Oleic and Low Linoleic acid) mit 75 % Ölsäure im Öl

Bei Winterraps werden nur noch 00-Sorten angebaut (erucasäurefreies Öl und niedriger Glucosinolatgehalt im Koppelprodukt Rapsschrot und Rapskuchen). Das Öl dieser Sorten eignet sich sowohl für den Nahrungs- und Futter- als auch den Energiebereich, was für die gesamte Verarbeitungskette logistische und wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt. Für den Rohstoff Erucasäure, der beispielsweise in der Waschmittelindustrie gebraucht wird, findet Anbau von Erucaraps in geschlossenen Anbaugebieten auf etwa 25.000 ha in Deutschland statt.

Bei Züchtung, Anbau und Erfassung ist eine Segmentierung der beiden Verwendungsrichtungen Biokraftstoff und Speiseöl nicht notwendig, *die Zuchtziele, Ertrag und Ölgehalt, sind weitgehend gleichgerichtet*. Durch die *vermehrte Verwendung von Hybridsorten* werden die Ertragsleistungen/ha in Deutschland und der EU weiter ansteigen. Da Rapsschrot als Koppelprodukt in der Tierfütterung eingesetzt wird, muss dessen Qualität in Bezug auf den Rohfasergehalt und den Gehalt an Glucosinolaten weiterhin stetig optimiert werden (Frauen 2006). Neben der Steigerung der Erträge kommt es zukünftig insbesondere auf die Ausschöpfung des Potenzials der leistungsfähigen Hybridsorten an. In der EU-25 betrug bei der Ernte 2006 (5,1 Mio. ha) der Anteil der Hybridsorten 1,4 Mio. ha, dies entspricht 27,5 % des Gesamtanbaus. Die Hybridsorten müssen besonders in ihrer *Resistenz gegen Fraßinsekten (Rapsglanzkäfer) und Pilzpathogene* weiter verbessert werden. Eine zukünftige Verbesserung des Rapsöls könnte durch die o.g. »HOLLI-Öle« mit erhöhtem Anteil von Ölsäure und gleichzeitig geringerem Anteil von Linolensäure erreicht werden. Bisher weisen Rapsorten und Genotypen mit dieser Qualitätseigenschaft allerdings einen deutlichen Minderertrag von 10 bis 20 % auf, was eine wirtschaftliche Produktion von Biodiesel ausschließt.

BIOETHANOL: WEIZEN, ROGGEN UND ZUCKERRÜBEN

Bioethanol wird mittels alkoholischer Vergärung von Stärke bzw. Zucker hergestellt. Die dafür geeigneten Energiepflanzen sind in Europa Weizen, Roggen, Mais und Zuckerrüben. Für die Produktion können jedoch grundsätzlich alle kohlenhydrathaltigen pflanzlichen Rohstoffe verwendet werden. In Deutschland bietet sich aufgrund der Lagerfähigkeit und damit ganzjährigen Verfügbarkeit vor allem Getreide an.

Im Produktionsprozess muss die Stärke im Korn zu vergärbaren Zuckern zerlegt werden. Im ersten Produktionsschritt wird das Getreide dazu fein vermahlen. Das Mehl wird mit Wasser unter Zugabe von Stärke spaltenden Enzymen (Amylasen) gemischt. Die Stärke wird so im weiteren Verlauf in Zucker (Maltose, Glukose) umgewandelt. Im nächsten Schritt werden Hefen zugemischt. Diese wandeln bei der nun einsetzenden alkoholischen Gärung den Zucker in Ethanol und Kohlensäure um. Aus der entstandenen Maische wird mittels Destillation der Alkohol von den übrigen Bestandteilen getrennt. Während dieses Prozesses



II. GRUNDLAGEN

entsteht neben dem Ethanol auch Schlempe. Letztere kann als proteinreiches Futtermittel verwendet werden.

Für die Nutzung von Getreide zur Ethanolproduktion gelten für die verschiedenen Getreidearten vergleichbare Voraussetzungen. Der Anbau von Ethanolgetreide unterscheidet sich nur gering von dem anderer Nutzungsrichtungen. Allerdings muss Bioethanolgetreide definierten Qualitätsansprüchen genügen. Die Anlagenbetreiber geben oftmals genaue Anforderungen vor, wie

- > gute Kornausbildung (hohes TKG/Tausend-Korn-Gewicht),
- > hohes Hektolitergewicht,
- > einwandfreie Gesundheit,
- > hohe Enzymaktivität,
- > hohe Ethanolausbeute,
- > hoher Stärkegehalt,
- > niedriger Proteingehalt.

Da am Anfang der Ethanolgewinnung die Stärke steht, bedeutet es für den Rohstoff Getreide, dass er vor allem stärkereich sein muss. Weizen ist mit durchschnittlich 68 % der Trockensubstanz des Korns der Spitzenreiter unter den Getreidearten. Triticale (Kap. II.3.1.2) weist im Durchschnitt 66 %, Roggen ca. 64 % Stärke auf. Aus einer Tonne Weizen können in der Praxis rund 390 l Bioethanol erzeugt werden.

Die Züchtung kann bei *Weizen* bereits heute auf eine sehr umfangreiche Basis an Zuchtmaterial zurückgreifen. Erste Untersuchungen zeigen, dass eine genetische Variation in spezifischen Ethanolqualitätsmerkmalen vorhanden ist, die deutliche Zuchtfortschritte erwarten lässt. Forschungsbedarf besteht bei der weiteren Entwicklung schneller, kostensenkender Analysemethoden und biotechnischer Werkzeuge für die Erfassung spezifischer Merkmale der Ethanolqualität (Mentz 2006). Diese Einschätzung ist grundsätzlich auch auf *Roggen* anwendbar, der prinzipiell auch für die Ethanolproduktion nutzbar erscheint. Die Anforderungen der Verarbeiter an Ethanolroggen sind hoher Stärke- und niedriger Pentosan-gehalt sowie niedrige Belastung mit Mykotoxinen, vor allem Fusarium. Da die gleichen Qualitätsanforderungen wie an Futter- und Brotroggen bestehen, müssen die konventionellen Roggenzüchtungsprogramme nicht abgeändert werden.

Zuckerrübe: Alle in Deutschland bestehenden und in Planung befindlichen Bioethanolfabriken auf Zuckerrübenbasis sind bislang als Annexanlagen an bestehende Zuckerfabriken konzipiert. Als Substrate werden Rohsaft, Dünnsaft oder Dicksaft verwendet. Eine Trennung von Rüben für die Ethanol- und Zuckerproduktion ist nicht ökonomisch. Daher bestehen seitens der Verarbeiter derzeit *identische Anforderungen an Zuckerrüben für beide Verwertungsrichtungen*. Die deutsche Zuckerindustrie zahlt für Ethanolrüben die gleichen Qualitätsprämien wie für Rüben, die in die Zuckerproduktion gehen. Sollte sich diese Situa-

tion ändern, und es würden zukünftig spezielle Bioethanolfabriken gebaut, könnten auch Rübensorten mit höheren Gehalten an für die Zuckergewinnung nachteiligen Inhaltsstoffen (höhere Kalium-, Natrium- oder Alpha-Aminostickstoffgehalte) angebaut werden, weil Melasse und Farbstoffbildung sowie Alkalität in der Ethanolproduktion keine Rolle spielen. Es bleibt *zu prüfen, ob durch Wegfall dieser traditionellen Zuchtziele eine Ertragssteigerung züchterisch zu erreichen wäre.*

ENERGIEPFLANZEN DER ZWEITEN GENERATION (GANZPFLANZENNUTZUNG)

3.1.3

Energiepflanzen der zweiten Generation werden speziell für einen maximalen Trockenmasseertrag je ha optimiert. Sie erfordern in jedem Fall ein spezielles Züchtungsprogramm mit veränderten Zuchtzielen. Um optimale Energieerträge je ha zu erreichen, werden die kompletten Pflanzen genutzt. Die feuchte, grüne Pflanzenmasse lässt sich nach der Ernte anaerob als Silage konservieren und steht dann das ganze Jahr über für die Verarbeitung zur Verfügung. Der hohe Wassergehalt dieser Silagen (30 bis 35 % TS) favorisiert ihre Nutzung in einem fermentativen Prozess, da bei thermischer Nutzung der Hauptteil der geernteten Energie für die Verdunstung des Wasseranteils aufgewendet werden müsste. Als praxisreifes Verfahren ist zurzeit nur die Biogastechnik anzusehen. Daneben gibt es Projekte, die auch Cellulose für die Ethanolproduktion nutzen wollen. Dabei wird die Cellulose durch chemische und thermische Verfahren sowie durch die Behandlung mit komplexen Enzymgemischen aufbereitet. Durch Fortschritte in der Enzymtechnologie ist ein effizienter Aufschluss inzwischen möglich, aber noch sehr teuer. Die erste Pilotanlage läuft seit 2003 bei der Firma Iogen in Canada, weitere Demonstrationsanlagen in Europa und den USA sind in Planung. Die Anforderungen an Energiepflanzen zur Cellulose-Ethanol-Vergärung entsprechen tendenziell denen zur Biogasanzpflanzennutzung. Der Holzbestandteil Lignin ist bei beiden Verfahren unerwünscht (Kap. II.3.2).

Energiepflanzen der zweiten Generation zielen auf höchste Biomassenerträge je ha. Eine Optimierung der Massenausbeute einzelner Pflanzenarten ist nicht allein von genetischen Faktoren abhängig, vielmehr steht der jeweilige Genotyp in einer engen Wechselwirkung mit den Umweltfaktoren Standort, Klima, Wasser und Nährstoffversorgung, Fruchtfolge etc. Ziel ist also eine Maximierung der Photosyntheseleistung

- > durch angepasste Pflanzenarten und -sorten,
- > in geeigneten Fruchtfolgen,
- > unter unterschiedlichen Standortbedingungen,
- > mit optimalen Input-Output-Bilanzen
- > und positiven Umwelteffekten.



II. GRUNDLAGEN

Dieser Anforderungskatalog lässt sich nicht mit einer einzelnen Pflanzenart abdecken. Gefragt sind Fruchtfolgen mit unterschiedlichen, sich ergänzenden Pflanzenarten. Je nach Standortverhältnissen oder der Stellung der Pflanze in der Fruchtfolge können ganz unterschiedliche Eigenschaften den wirtschaftlichen Gesamterfolg prägen. In der Praxis zeigt sich, dass an zahlreichen Standorten das Wasser und vor allem die Sommerniederschläge einen begrenzenden Faktor darstellen. Daraus ergeben sich zwei wesentliche Konsequenzen:

- › Die Niederschlagsverteilung in Deutschland bedingt, dass Regionen sehr unterschiedliche Standortbedingungen in Bezug auf die Energiepflanzenproduktion aufweisen. Oft kann der Anbau von Winterfrüchten vorteilhaft sein, deren Hauptwachstumsphase in das Frühjahr fällt, wo in der Regel noch Wasserreserven des Bodens aus den Winterniederschlägen genutzt werden können.
- › Wesentliches Zuchtziel für die Energiepflanzen der zweiten (und dritten, s.u.) Generation wird es sein, Arten auszuwählen und Sorten zu entwickeln, die möglichst sparsam mit dem limitierenden Faktor Wasser auskommen. Hier bestehen sehr große Unterschiede zwischen den Pflanzenarten, aber auch bei den Sorten.

Um möglichst hohe Erträge an organischer Trockenmasse zu erreichen, sollen Energiepflanzen der zweiten Generation einen möglichst großen Anteil der Vegetationszeit mit vegetativem Massenwachstum füllen. Nach der Blüte erfolgen Fruchtbildung und Abreife, ein Massenwachstum findet normalerweise nicht mehr statt. Daraus resultieren zwei Möglichkeiten einer effizienten Nutzung der Vegetationszeit:

- › Die Ernte bei maximaler Massenbildung vor der Reife und Anbau einer weiteren Frucht oder aber
- › die Ausnutzung des Photoperiodismus zur Blühverzögerung, um eine verlängerte vegetative Massenwachstumsphase während der Hauptvegetationszeit zu erreichen.

Um die züchterischen Potenziale im Massenertrag von Ganzpflanzen zu optimieren, kann bei vielen Pflanzenarten nach dem gleichen Grundschema vorgegangen werden:

- › Einsatz von Hybridzüchtung, um die Eigenschaften regional sehr unterschiedlicher Zuchtmaterialgruppen zu nutzen;
- › Einkreuzung von Inzuchtlinien mit Kurztagsgenen, d.h. von Pflanzenmaterial, dessen Blühbeginn an kurze Tageslänge angepasst ist. Beim Anbau unter unseren Langtagsbedingungen wachsen diese Pflanzen solange, bis die kürzer werdenden Tage gegen Ende der Vegetationszeit den Blühbeginn auslösen.

Die Energiepflanze der zweiten Generation mit der größten Verbreitung ist derzeit der *Energiemais*. In der Züchtung des Energiemaisses konnten in den vergan-



genen Jahren besondere Erfolge erzielt werden (s.u.). Mit dem Ziel einer Diversifizierung des Artenspektrums von Energiepflanzen wurden im Rahmen des durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) geförderten Verbundprojekts EVA (Kap. II.3.1.6) *Roggen, Raps, Sonnenblume und Hirse* als aussichtsreiche Kandidaten gezielt auch in die züchterische Bearbeitung aufgenommen.

Neben der Biomasse (in Trockensubstanz TS/ha) ist bei der Biogasnutzung der entscheidende Parameter für den resultierenden Energieertrag und damit auch für die Effizienz die Methanausbeute/kg Trockensubstanz. Diese ist abhängig von der Zusammensetzung der Pflanzen, zum einen von der Art der von den eingesetzten Mikroorganismen vergärbaren Inhaltsstoffe und zum anderen von der Anwesenheit von Stoffen, die diese Gärungsprozesse ggf. spezifisch stören bzw. hemmen. Ideal sind hohe Anteile von Kohlenhydratpolymeren wie Stärke und Cellulose; weiterer Klärungsbedarf besteht bei der Frage der Vergärbarkeit von Fetten und Proteinen. Das »Holzpolymer«lignin kann nur schlecht zersetzt werden. Hieraus ergeben sich (neben dem Gesamtertrag) zukünftig auch Zuchtziele im Bereich der Inhaltsstoffe.

Im Folgenden nicht behandelt werden Fragen der züchterischen Bearbeitung grundlegender agronomischer Merkmale (Resistenzen, Anbaueigenschaften). Hier ist prinzipiell anzumerken, dass bei den bislang vergleichsweise wenig angebauten und bearbeiteten Pflanzenarten wie z.B. den Hirsen viel zu tun bleibt. Mit zunehmendem Anbau entwickelt sich normalerweise auch die Schädlingsproblematik, die auf kleinen Flächen meist nicht so zutage tritt. Hierdurch erhält die Resistenzforschung bzw. -züchtung dann ein zunehmend größeres Gewicht.

ENERGIEMAIS

Zur Verwertung in Biogasanlagen wurde Mais (Sorten, die zur Silonutzung gezüchtet wurden) im Jahr 2006 in Deutschland bereits auf ca. 150.000 ha angebaut. 2007 stieg die Anbaufläche von Silomais zur Biogaserzeugung auf 243.350 ha. Es deutet sich an, dass sich in Kürze der Energiemais als ein eigenes Marktsegment deutlich vom Silomaismarkt abgrenzen wird. 2005 wurden beim Bundessortenamt (BSA) erste Energiemaissorten zur Prüfung eingetragen, die eine hohe Methanausbeute zeigen. Energiemaissorten liegen außerhalb des Reifespektrums deutscher Silo- und Körnermaishybriden, da durch die verlängerte vegetative Wachstumsperiode die Blüte und der Kolbenansatz erst deutlich verspätet einsetzen. Damit wird auf das wichtigste Qualitätskriterium der Silomaiszüchtung, den möglichst hohen Stärkegehalt (der für die Verwertung im Tiermagen günstig ist), verzichtet, um einen deutlich höheren Gesamtmasseertrag zu erzielen.

Der Energiemais stellt bislang das dominierende Beispiel für den Erfolg der züchterischen Aktivitäten im Bereich Energiepflanzen dar. Besonders augenfällig sind die Resultate der KWS Saat AG, die 2002 mit der züchterischen Optimierung



II. GRUNDLAGEN

von Energiemais begonnen hat. Die von KWS verfolgte Strategie umfasst die Elemente des o.g. Grundschemas (Hybridzüchtung und Einkreuzung von Kurztagsgenen) im Zug der klassischen Züchtung, unter Nutzung von molekularen Markern und Gewebekultur (II.3.1.1) – eine Strategie, die mit großer Wahrscheinlichkeit auf andere Pflanzenarten übertragen werden kann. Als Ausgangsmaterial wurden spätreife italienische Sorten verwendet, deren *Kältetoleranz* durch Eigenschaften deutschen Sorten und deren *Trockenstresstoleranz* durch Integration von Genen für Low-Input-Eignung (aus ungarischen Sorten) stark verbessert werden konnte. Der entscheidende Massenzuwachs wurde dann durch eine extreme *Verschiebung des Blühzeitpunktes und der Reife* durch Einkreuzung von Kurztagsgenen aus mexikanischen und peruanischen Populationen erreicht.

Die Züchter der KWS (Schmidt 2006) prognostizieren eine Anhebung der Gesamttrockenmasseproduktion von derzeit 150 bis 180 dt/ha auf ca. 300 dt/ha innerhalb von zehn Jahren. Dies entspricht einer Methanleistung von 10.000 m³ und einem Öläquivalent von 10.000 l/ha. Eine Verdopplung des Ertrages in nur zehn Jahren wäre ein ungewöhnlich kurzer Zeitraum, nachdem in den vergangenen Jahrzehnten eine Steigerung der Ertragsleistung bei relevanten Kulturarten im Bereich von etwa 1 bis 2 %/a lag.

ENERGIEROGGEN (GRÜNROGGEN)

Grünroggen wird Anfang Mai im unreifen Zustand geerntet, woraufhin eine Winterzwischenfrucht und danach wieder eine Hauptfrucht angebaut werden kann. Auf leichteren bis mittleren Standorten (sandige Böden) ist Roggen gegenüber anderem Getreide grundsätzlich im Vorteil und bringt z.B. auch unter Trockenstress die besten Erträge. Als Winterzwischenfrucht kann er bereits im Mai als Grünschnitt (also vor der Kornreife) Trockenmassenerträge von 80 bis 100 dt/ha erreichen und ermöglicht danach im Verlauf der Vegetationszeit noch den Anbau einer Sommerfrucht, z.B. Sonnenblume oder Mais. Damit ist der Grünschnittroggen eine ideale Ergänzung der derzeit wirtschaftlich attraktiven Fruchtfolgen in Deutschland und Europa.

Der Roggen ist als Coferment vielfältig einsetzbar in Form von Grünschnittroggen, als Ganzpflanzensilage und als Korn. Betrachtet man die Biogasausbeute (m³/t Substrat Frischmasse), so übertrifft die Roggenganzpflanzensilage sowohl Mais- und Grassilage als auch Grünschnitt (FNR 2007b). Weitere Vorteile des Roggens für die Produktion von Biogas sind (Roggenforum e.V. 2006):

- > günstiges Energie-Eiweiß-Verhältnis, dadurch niedrigere Stickstoff- und Schwefelgehalte – d.h. geringer Belastung des Gärprozesses,
- > gute Häckseigenschaften,
- > günstige Umweltbilanz durch geringeren Einsatz von Dünger und Pflanzenschutz (gegenüber herkömmlichem Roggenanbau).



Bei den Anforderungen an Biogasrohstoffe stehen auch bei Roggen hohe Gesamterträge der Trockenmasse im Vordergrund. Darüber hinaus ist ein hoher Anteil an vergärbaren Kohlehydraten wertbestimmend. Im Rahmen des FNR-Projekts »Entwicklung neuer Biomassegenotypen bei Roggen, Raps, Rübsen, Sonnenblume und Sorghum sowie deren Einbindung in leistungsfähige Energiefruchtfolgen« (Laufzeit: 05/05 bis 01/08) werden für Roggen diejenigen Parameter untersucht, die für eine hohe Biomasseleistung wichtig sind.

Für eine weitere züchterische Optimierung bzw. Steigerung der Biomasseerträge von Grünschnittroggen über die bislang erzielten Werte von 8 bis 10 t TS/ha hinaus ist die frühzeitige Jugendentwicklung des Grünroggens von besonderer Bedeutung. Besondere Potenziale werden von den Projektpartnern, der Landes Saatanzuchtanstalt Hohenheim (T. Miedaner, V. Hahn) und der Lochow-Petkus GmbH, in der Verwendung genetischer Herkünfte z.B. aus Finnland und Osteuropa, aus Landsorten und aus Futterroggen gesehen.

TRITICALE

Die Kreuzung aus Durumweizen und Roggen führte vor etwa 100 Jahren zu einer neuen landwirtschaftlich genutzten Getreideart, der Triticale (*x Triticosecale Wittmack*). Die Anbaufläche in Deutschland belief sich im Jahr 2004 auf 504.800 ha, dies entsprach etwa 18 % der Winterweizen- und 95 % der Winterroggenfläche. Triticale findet in großem Umfang Verwendung als kostengünstig und umweltfreundlich produziertes, proteinreiches Körnerfutter in der Schweine- und Geflügelmast. Die Hauptanbauggebiete von Triticale liegen daher auch in den viehstarken Regionen Deutschlands (Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Bayern, Brandenburg). In der Tierproduktion kann Triticale als frisches Grünfutter oder als Ganzpflanzensilage verwendet werden, für die menschliche Ernährung lassen sich Vollkornprodukte, Flocken und Gebäck herstellen.

Triticale kann sowohl für die »klassische« Bioethanolproduktion als auch in Biogasanlagen verwendet werden. Trotz der bereits jetzt recht hohen Biomasseproduktion bedeutet die Selektion auf hohe Biomasseerträge ein völlig neues Zuchtziel. Günstig für eine züchterische Optimierung erscheint, dass der genotypisch bedingte Anteil an der Gesamtvarianz für das Merkmal Biomasseproduktion signifikant ist und daher recht einfach verbesserbar sein sollte (Thiemt 2007).

RAPS

Raps (und der nah verwandte Rübsen) sind wertvolle Fruchtfolgeglieder in getreidereichen Fruchtfolgen. Sie können im Herbst große Mengen Stickstoff binden. Grundsätzlich ist sogar eine Doppelnutzung möglich, wobei im Herbst und im darauf folgenden Frühjahr geerntet werden kann. Die mögliche Bedeutung von Raps als Quelle für hohe Biomasseerträge ist allerdings sehr umstritten. Die Norddeutsche Pflanzenzucht (NPZ) beispielsweise sieht die Zukunft ganz klar



weiterhin bei der Ölproduktion (für Ernährung und als Biokraftstoff) (Frauen 2006), die zuständigen Bearbeiter des o.g. FNR-Projekts, H. Becker von der Georg-August-Universität in Göttingen und die KWS SAAT AG, hingegen sehen durchaus Potenziale zur Steigerung des Biomasseertrages.

Raps hat für das Merkmal Bio- bzw. Trockenmasseertrag offenbar eine hohe genetische Variabilität. Um diese optimal nutzen zu können, werden derzeit sog. Resynthesen von Kreuzungen von Kohl und Rüben erstellt, die dann in Richtung Trockenmasseertrag selektiert werden. Dieses Vorgehen hat auch bei anderen Merkmalen im Raps Erfolge gezeigt (Friedt 2007).

Allerdings ist zu bedenken, dass die Anbauflächen für Körnerraps in Deutschland und der EU 2006 auf 5,1 Mio. ha stetig gestiegen sind und auch zukünftig weiter steigen werden, bis 2010 in der EU schätzungsweise auf 6,5 Mio. ha (Frauen 2006). Eine weitere Ausdehnung zugunsten der Produktion von Biomasse ist kaum zu erwarten, zumindest solange die Biodieselproduktion gewünscht und gefördert wird.

SONNENBLUME

Sonnenblumen bringen in kurzen Vegetationsperioden (80 Tage) hohe Biomasseleistungen und können aufgrund ihres tiefen Wurzelsystems vorhandenes Bodenwasser gut nutzen. Experimentalhybriden zeigen eine standortabhängige Trockenmasseleistung von 90 bis 160 dt/ha. Für die Optimierung von Energiefruchtfolgen ist die Sonnenblume daher ein interessanter und viel versprechender Partner. In Deutschland wurden insbesondere von der Landessaatzuchtanstalt der Universität Hohenheim und der KWS umfangreiche Untersuchungen zur Frage der Nutzung der Sonnenblume als Energiepflanze durchgeführt (Hahn/Miedaner 2007). Wie schon beim Mais konnte durch Verwendung völlig neuer genetischer Ressourcen (unter Verzicht auf das bisherige Zuchtziel Optimierung für Körnernutzung) und die Verschiebung des Blühzeitpunktes ein enormer Massenzuwachs erreicht werden (Schmidt 2006).

Bei den bisherigen Untersuchungen zeigte sich außerdem, dass nicht allein die Vegetationsdauer den Ertrag bestimmt, sondern dass auch die nach der Saat und während der Vegetation herrschenden Versorgungszustände – insbesondere von Wasser – einen entscheidenden Einfluss ausüben. Auch die Zusammensetzung der Inhaltstoffe scheint einen großen Effekt auf die Biogasproduktion mit Sonnenblumen zu haben. Hahn et al. (2006) vermuten, dass der hohe Fettgehalt der Samen besondere Vorteile für die Methanproduktion und die Biogasqualität bedeutet (Hahn/Miedaner 2007).

SORGHUMARTEN: HIRSE UND SUDANGRAS

Hirsen bzw. Sorghumarten zeigen eine sehr breite genetische Varianz, unterschiedliche Nutzungsrichtungen und werden in einer Vielzahl von Ländern angebaut. Die züchterisch interessantesten Arten sind die Mohren- oder Zuckerhirse (*Sorghum bicolor*) und das Sudangras (*Sorghum sudanense*).

Hirsen bzw. Sorghumarten sind ausgesprochen anspruchslos und verfügen über eine genetisch bedingte Trockenresistenz. Diese ist begründet durch ein sehr tief reichendes Wurzelwerk und eine Wachsschicht auf Blättern und Stängeln, die einen sehr niedrigen Transpirationskoeffizienten bedingt. Hirse/Sorghum benötigt zur Bildung der gleichen Trockenmasse etwa ein Drittel weniger Wasser als Mais. Allerdings sind Hirsen/Sorghum sehr wärmebedürftig und benötigen, speziell für das Zuchtziel Körnernutzung, sehr hohe Temperatursummen. Unter optimalen Wachstumsbedingungen erreichen sie eine Wuchshöhe von 3 bis 5 m und Biomasserträge von bis zu 50 t TS/ha (in tropischen Regionen). Einige an den Kurztag angepasste Hirse- bzw. Sorghumlinien zeigen einen ausgeprägten photoperiodischen Effekt mit verstärktem Massenwachstum. Insgesamt besitzen Hirsen bzw. Sorghumarten ein viel versprechendes Potenzial zur Biomasseproduktion insbesondere an schwächeren Standorten.

Der geringe Wasserbedarf konnte in einem dreijährigen Anbauversuch mit Sudangras (*Sorghum sudanense*) durch das Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung in Brandenburg demonstriert werden. Unter den dortigen Bedingungen könnten nach Adam (2006) Sudangrashybriden nach weiterer züchterischer Bearbeitung eine attraktive Ergänzung zu den etablierten Fruchtfolgen darstellen und einen relevanten Beitrag zur Artenvielfalt leisten.

Die bisherige »züchterische« Bearbeitung von Hirsen/Sorghum als Energiepflanzen beschränkt sich im Wesentlichen auf die Evaluierung der genetischen Ressourcen. Feldversuche am Technologie- und Förderzentrum Straubing mit mittlerweile 255 Sorten bestätigten die enorme genetische Vielfalt der existierenden Hirsesorten, die sich in Ertragsunterschieden von 14 bis 28 t TS/ha widerspiegeln (Roller 2007). Auch die KWS befasst sich in einem von der FNR geförderten Projekt mit der Verwendung und Optimierung von *Sorghum bicolor* zur Biogasproduktion. Die bisherigen Ergebnisse (mit Ausbeuten von bis zu 30 t TS/ha) ermutigen zur intensiven Fortsetzung des Züchtungsprogramms.

ENERGIEPFLANZEN DER DRITTEN GENERATION

3.1.4

Als Zukunftsvision sind Energiepflanzen der *dritten Generation* denkbar, die *neben hohen Massenerträgen spezielle Inhaltsstoffe* ausbilden, die bei der Verarbeitung abgetrennt werden können und einen Zusatznutzen liefern.



Der Gedanke, auf züchterischem Wege neue Inhaltsstoffe aus Pflanzen nutzbar zu machen, ist nicht neu. Insbesondere gentechnische Ansätze sollen hier neue Möglichkeiten eröffnen (Kap. II.3.1.5). Allerdings standen in der Vergangenheit vor allem hochpreisige Inhaltsstoffe im Fokus der Bemühungen, um auch bei geringen Konzentrationen der Zielsubstanzen in den Pflanzen einen gezielten Anbau speziell für diese Nutzung wirtschaftlich zu machen (TAB 2005b). Durch die steigenden Ölpreise werden zunehmend aber auch Biopolymere und andere Basisprodukte interessant, die bisher durch die Oleochemie bereitgestellt worden sind. Zukünftig sind in Kombination mit der Energieproduktion kaskadenartige Nutzungsstufen denkbar, wobei es lohnenswert sein kann, auch gewünschte Inhaltsstoffe in geringerer Konzentration abzutrennen, da die Hauptpflanzenmasse für die Energienutzung bereits wirtschaftlich produziert worden ist.

Neben der energetischen Nutzung ist auch eine Kombination mit der biochemischen Verwendung der Kohlenstoffketten aus der Biomasse denkbar, die unter dem Stichwort »Bioraffinerie« eine vielfältige und vollständige Nutzung der gewachsenen Biomasse ermöglichen könnte. Die meisten Ansätze dieser Art bewegen sich noch im akademisch-wissenschaftlichen Bereich oder im Stadium von Pilotprojekten (TAB 2007).

Erste praktische Ansätze zur Nutzung von »added value compounds« in Energiepflanzen werden in Österreich in einer Pilotanlage in der Gemeinde Utzeneich, der »grünen Bioraffinerie« umgesetzt. Dort werden aus Grünlandsilagen wertvolle Ausgangsstoffe für die Naturchemie (Milchsäure, Aminosäuren) gewonnen. Anschließend wird die Biomasse in einer Biogasanlage zu Biogas umgewandelt, das in das öffentliche Netz eingespeist wird. Die verbleibende Trockenmasse schließt als natürlicher Dünger den Kreislauf. Eine Anlage mit ähnlicher Zielsetzung hat die Biowert Industrie GmbH in Brenzbach im hessischen Odenwald im Juni 2007 eröffnet. Dort wird Wiesengras zu Dämmstoffen, Proteinen für die Aromenindustrie, Verbundstoffen aus Polypropylen für Spritzgussverfahren umgearbeitet. Die verbleibende Graspülle soll in der angegliederten Biogasanlage für einen energieautarken Betrieb sorgen. Die Anlage ist für die jährliche Verarbeitung von 5.000 Tonnen Grassilage ausgelegt.

GENTECHNISCHE ZÜCHTUNGSANSÄTZE

3.1.5

In der Debatte über die Zukunft der Energiepflanzenproduktion wird häufig (und tendenziell zunehmend) die Annahme geäußert, Gentechnik bzw. gentechnische Pflanzenzuchtansätze besäßen ein großes Potenzial zur Ertragssteigerung bei Energiepflanzen. Bei einer Betrachtung der Plausibilität dieser Annahme muss differenziert werden nach der Art der Bioenergienutzung und den daraus ableitbaren Zuchtzielen, wie sie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben worden sind. Unterschieden nach den drei o.g. Hauptzielen der Pflanzenzucht

(Kap. II.3.1.1) – Ertragssteigerung, Ertragssicherung und Qualitätseigenschaften – kann zusammengefasst werden:

Ertragssteigerung: Die Ertragsleistung von Pflanzen, sowohl einzelner Teile (Fruchtstände, Körner, Knollen, Wurzelkörper; für die erste Generation von Energiepflanzen; Kap. II.3.1.2) als auch der Gesamtpflanze (für die zweite Generation; Kap. II.3.1.3), wird als komplexes Merkmal multifaktoriell bestimmt und ist einer gentechnischen Beeinflussung bislang nur wenig zugänglich. Genorte mit starker Wirkung auf quantitative Merkmale, sog. QTLs (Quantitative Trait Loci), werden bislang ganz überwiegend für eine innovative »konventionelle« Züchtung durch Verwendung entsprechender molekulargenetischer DNA-Marker genutzt (im Sinne eines »smart breedings«; Kap. II.3.1.1). Das sog. Metabolic Engineering zur Steuerung ganzer Stoffwechselwege befindet sich nach wie vor in eher frühen Forschungsstadien (TAB 2005b). Bedeutung für die Ganzpflanzennutzung könnten Arbeiten zur gentechnischen *Verschiebung des Blühzeitpunktes* erlangen. Forscher aus dem Kölner Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung und dem Imperial College London haben die Mechanismen der Blüteninduktion bei der Modellpflanze *Arabidopsis* (Ackerschmalwand) aufgeklärt, wobei die Produktion eines Blühhormons in Abhängigkeit von der Tageslänge eine entscheidende Rolle spielt (Corbesier et al. 2007). Auch an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel wird an der Verschiebung des Blühzeitpunktes, speziell bei Zuckerrübe und Raps, gearbeitet (Müller et al. 2006). Dabei ist es gelungen, das Schossgen der Zuckerrübe zu lokalisieren mit dem Ziel, das Blühen (»Schossen«) gezielt an- und ausschalten zu können.

Ertragssicherung: Eine Verbesserung der Widerstandskraft der Pflanzen gegen ertrags- oder qualitätsmindernde Einwirkungen, wie Krankheiten und Schädlinge oder Nährstoff- und Wassermangel, also entsprechende Resistenzen bzw. Toleranzen, können zum Teil durch Einzelmerkmale (Gene bzw. Proteine) vermittelt werden und sind der Gentechnik dann prinzipiell zugänglich. Auf dem Markt befinden sich seit mittlerweile zehn Jahren insekten- und herbizidresistente gentechnische Sorten – und repräsentieren 99 % der angebauten GVP (James 2006). Daneben werden seit längerem Virus- und Pilzresistenzen sowie Resistenzen bzw. Toleranzen gegen Kälte, Trockenheit oder Versalzung erforscht und entwickelt. Im engeren Sinn spezifisch für Energiepflanzen sind solche ertragssichernden Eigenschaften bzw. Züchtungsansätze nicht, aber sie betreffen natürlich potenziell auch diese und könnten insbesondere bei bislang weniger bedeutenden und daher weniger bearbeiteten Arten an Bedeutung gewinnen.

Qualitätseigenschaften: Wie gezeigt, werden insbesondere bei der angedachten dritten Generation von Energiepflanzen gentechnische Strategien diskutiert (Kap. II.3.1.4). Prinzipiell könnte zwar auch die Erhöhung der Gehalte einzelner Fettsäuren oder von Stärkebestandteilen anvisiert werden, was v.a. für die erste Generation zur Biodiesel- oder Ethanolgewinnung von Bedeutung wäre. Aller-



dings haben sich die hochgesteckten Erwartungen an eine Ausbeuteerhöhung durch Gentechnik in den vergangenen Jahren nicht erfüllt (TAB 2005b), sodass vermehrt Möglichkeiten einer Doppel- bzw. Mehrfachnutzung ausgelotet werden, z.B. die gentechnische Gewinnung von »Biokunststoff« und eine energetische Verwendung der Restpflanze, die sich aber alle noch in eher frühen Forschungsstadien befinden (TAB 2005b, S. 163 ff.).

So betrifft der erste Zulassungsantrag einer explizit für eine energetische Nutzung optimierten GVP in den USA (im Herbst 2005) und der EU (in Frühjahr 2006) doch eine Pflanze zur Nutzung im Sinn der erste Generation: Es handelt sich um eine Maissorte der Fa. Syngenta, die ein gentechnisch übertragenes Enzym, eine thermostabile Alpha-Amylase, enthält, wodurch die Maisstärke ohne Zugabe weiterer Enzyme aufgeschlossen werden kann und die Ethanolherstellung erleichtert werden soll (TAB 2005b, S. 162 f.).

Für die Bioenergiegewinnung wären möglicherweise auch Ansätze der gentechnischen Beeinflussung der Holz- und Fasereigenschaften von Gehölzen nutzbar, die in Kapitel II.3.2.3 behandelt werden.

Insgesamt spielen gentechnologische Methoden in der Züchtung von Energiepflanzen derzeit also vor allem eine Rolle in der Grundlagenforschung.

ANBAU UND FRUCHTFOLGEGESTALTUNG

3.1.6

Nicht nur Kritiker einer verstärkten Biomassenutzung befürchten, dass der landwirtschaftliche Energiepflanzenanbau auch in Europa vermehrt zu einer Monokulturwirtschaft und damit verbundenen Problemen für die Pflanzengesundheit und den Bodenschutz führt. Energiepflanzen unterliegen jedoch grundsätzlich den gleichen Anforderungen und Umweltstandards wie die Produktion von Nahrungsmitteln. Nach »guter fachlicher Praxis« gehört dazu der Anbau in mehrgliedrigen Fruchtfolgen (www.energiepflanzen.info).

Die Fruchtfolgegestaltung mit Energiepflanzen stellt für den Pflanzenbau eine besondere Herausforderung dar. Aus Gründen der Biodiversität ist es wünschenswert, möglichst unterschiedliche Energiepflanzenarten in die Fruchtfolge zu integrieren oder sogar mit Artenmischungen auf dem gleichen Feld Synergieeffekte zu erzielen (Mischanbau; s.a. TAB 2005a). Hier steckt der Pflanzenbau jedoch noch in einem Experimentierstadium. Zum einen befinden sich die unterschiedlichen Energiepflanzen noch in dynamisch-züchterischer Entwicklung, zum anderen sind die Standortbedingungen so unterschiedlich, dass bisher nur regional engbegrenzte Erfahrungen zur Verfügung stehen. Die Entwicklung optimaler Energiepflanzenfruchtfolgen wird noch einige Zeit in Anspruch nehmen und sich insbesondere an den unterschiedlichen Klima- und Bodenbedingungen orientieren müssen.



Für einen umweltverträglichen, betriebsmittelreduzierten Energiepflanzenanbau werden insbesondere sogenannte Zwei-Kultur-Nutzungssysteme untersucht und erprobt. Zwei-Kultur-Nutzungssystem meint grundsätzlich – nutzungsunabhängig – den Anbau zweier Feldfrüchte hintereinander innerhalb eines Jahres. An günstigen äquatornäheren Standorten mit geringeren Jahreszeiteinflüssen sind Zwei-Kultur-Nutzungssysteme besonders verbreitet. Für den Energiepflanzenanbau erscheinen sie besonders geeignet, weil der Biomasseertrag, nicht aber die Vollreife der Pflanzen das Ernteziel ist bzw. den Erntezeitpunkt bestimmt, sodass in vielen Fällen eine kürzere Vegetationsdauer ausreicht bzw. sogar erwünscht ist. Durch die zweimalige Ernte wird damit häufig ein deutlich höherer Biomasseertrag erzielt als mit einer einzelnen Pflanze, selbst wenn die Erträge der Einzelernten nicht maximal sind. Die ganzjährig bestandene Fläche verhindert außerdem Erosion und Nährstoffauswaschung, Herbizide sind kaum nötig.

Ein richtungweisender Beitrag für Deutschland zum Thema Fruchtfolgesysteme wird von dem groß angelegten Verbundvorhaben »EVA« (Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands) der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) erwartet (www.energiepflanzen.info/cms35/EVA.1594.0.html).

Mit EVA werden gezielt neue Fruchtfolgen für die Produktion von Energiepflanzen für die Ganzpflanzenbiogasproduktion getestet. Sieben landwirtschaftliche Forschungseinrichtungen führen – zunächst von 2005 bis 2008 – Anbauversuche mit fünf Standardfruchtfolgen und je drei standortindividuellen Fruchtfolgen durch. Dabei wird eine Vielzahl von Pflanzenarten, zum Teil als Sorten- oder Artenmischung, einbezogen. Auch Zwei-Kultur-Nutzungssysteme werden gezielt untersucht, außerdem die Parameter Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz variiert.

Im Endeffekt sollen unter den Nachhaltigkeitskriterien Wirtschaftlichkeit, Umwelt- und Ressourcenverträglichkeit sowie gesellschaftliche Akzeptanz Entscheidungs- und Handlungsanweisungen für die praktische Landwirtschaft erarbeitet werden und in Form von konkreten Anbauempfehlungen für die Regionen zum Ende des Jahres 2008 zur Verfügung stehen. Als Ergebnis soll individuell formuliert werden können: *Am Standort X sind aus pflanzenbaulicher, betriebswirtschaftlicher und ökologischer Sicht die Fruchtarten A und D im Anbausystem Y am effektivsten anzubauen.*

Die bis dahin verfügbaren Ergebnisse des EVA-Vorhabens werden in der Hauptphase des TAB-Projekts (im Rahmen des Vertiefungsschwerpunkts »Dimensionen einer umweltverträglichen Energiepflanzenproduktion«; Kap. VI.1) ausgewertet und in den Abschlussbericht einfließen.

GESAMTEINSCHÄTZUNG UND AUSBLICK

3.1.7

Die Pflanzenzüchtung steht bei den zukünftigen Energiepflanzen vor der großen Herausforderung, in möglichst kurzer Zeit geeignetes Sortenmaterial aus einem möglichst breiten Artenspektrum zur Verfügung zu stellen. Aber auch der Pflanzenbau hat eine verantwortungsvolle Aufgabe zu lösen, nämlich geeignete Fruchtfolgen zu entwickeln, die Nahrungs- und Futtermittelproduktion einerseits und Energiepflanzenproduktion andererseits harmonisch miteinander verbinden.

Bei den Energiepflanzen der sog. ersten Generation zur Produktion von Biodiesel und Bioethanol, d.h. Raps, Getreide und Zuckerrüben, stimmen die Zuchtziele für die energetische Nutzung mit der für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion im Wesentlichen überein. Einzelne Qualitätseigenschaften bzw. Inhaltsstoffe könnten züchterisch bei speziellen Energiesorten möglicherweise noch optimiert werden, aber zumindest mit Blick auf eine besondere öffentliche Förderung erscheinen keine gesonderten Züchtungsprogramme notwendig. Andere Arten als die genannten, z.B. die Ölpflanzen Lein oder Sonnenblume, spielen eine so geringe Rolle, dass ihre gezielte züchterische Verbesserung für Biokraftstoffherstellung keine größere Bedeutung haben wird, zumal das ganze Konzept der ersten Generation prinzipielle Beschränkungen aufweist. Insbesondere die Flächeneffektivität stößt an enge Grenzen, da nur die Früchte und nicht die gesamte gewachsene Biomasse genutzt werden.

Daher orientieren sich die meisten neueren Untersuchungen und züchterischen Bemühungen auf die Energiepflanzen der zweiten Generation, die in Mitteleuropa als Ganzpflanzen auf absehbare Zeit vor allem zur Biogasproduktion verwendet werden sollen. Eine thermische Nutzung kommt hingegen vor allem bei mehrjährigen, verholzten Pflanzen wie Kurzumtriebspappeln oder -weiden infrage (Kap. II.3.2). Ein maximaler Biomasseertrag stellt bei den meisten landwirtschaftlichen Arten ein grundsätzlich neues Zuchtziel dar. Nicht neu ist dieses Ziel z.B. bei Mais und Futtergräsern, allerdings liegen deren Erträge weit unter denen von besonders aufwuchsstarken Pflanzen. Energiegräser haben aufgrund ihrer Mehrschnittigkeit sehr hohe Erntekosten, die den Rohstoff verteuern. Ziel der Pflanzenzüchtung muss es daher sein, neben dem Energiemais zwei- bis maximal dreischnittige Energiepflanzen zu entwickeln.

Spezielle massenwüchsige Pflanzenarten wie beispielsweise Mais, Sorghum und Sonnenblume werden für eine Ganzpflanzennutzung züchterisch dahingehend bearbeitet, dass sie möglichst die volle Vegetationszeit mit vegetativem Wachstum ausnutzen. Züchterische Schlüsselinstrumente, um maximale Biomasseerträge zu erzielen, dürften in einer intensiven Hybridzüchtung und gezielter Nutzung des photoperiodischen Effekts bestehen. Da die konsequente Züchtung von Energiepflanzen der zweiten Generation noch in den Kinderschuhen steckt, wird das Potenzial der möglichen Flächeneffektivität, die über maximierte Erträge von



organischer Masse mit anschließender Biogasverwertung erzielt werden kann, zurzeit vermutlich häufig unterschätzt. Pflanzenzüchter gehen davon aus, dass sich in verhältnismäßig kurzer Zeit durch eine gezielte Energiesortenzüchtung der Energieoutput/Fläche auf günstigen Ackerstandorten Deutschlands gegenüber konventionellen Pflanzen etwas verdoppeln lässt. Ergebnisse beim Mais lassen sich mit großer Wahrscheinlichkeit auf andere Pflanzenarten übertragen.

Weil die Inhaltsstoff- und Verarbeitungsqualität im Vergleich zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion eine geringere Rolle spielt, kommt prinzipiell eine größere Zahl von Pflanzenarten für die Biogasproduktion infrage. Hierdurch steigt die Möglichkeit, standortspezifische Energiefruchtfolgen zu entwickeln, die den Forderungen des Umweltschutzes nach (Agro-)Biodiversität entsprechen. Neben der Züchtung speziell massenwüchsiger Sorten erscheint die Erweiterung des Anbauspektrums daher als zentrales Element einer zukünftigen Ausweitung des Energiepflanzenanbaus, dessen Notwendigkeit kaum noch bezweifelt wird, um dauerhaft einen umweltverträglichen Anbau zu ermöglichen. Eine Vielzahl von heimischen und exotischen Pflanzenarten steht zur Verfügung, deren Eignung systematisch und differenziert untersucht werden sollte. Einen ersten Schritt stellt immer das Screening verfügbarer Herkünfte und Genpools dar, bevor Züchtungsprogramme starten können. Insgesamt ist bei den Energiepflanzen der zweiten Generation der klarste und konkreteste Forschungs- und Entwicklungsbedarf sowohl der privaten Wirtschaft als auch der öffentlichen Hand für die nächsten Jahre vorhanden und sollte umfassend gefördert werden.

Eher im Stadium einer Vision befinden sich Energiepflanzen der sog. dritten Generation, die neben hohen Massenerträgen spezielle Inhaltsstoffe ausbilden, die bei der technologischen Verarbeitung abgetrennt werden können und einen Zusatznutzen liefern bzw. direkt in den »Bioraffinerien« der Zukunft stofflich und energetisch unter möglichst weitgehender Schließung von Nährstoffkreisläufen verwertet werden. In diesem Kontext sind auch einige spezifische gentechnische Ansätze zu verorten, die ansonsten bei der Züchtung von Energiepflanzen eher im Bereich der Grundlagenforschung (u.a. zu Trockenstresstoleranz, Kontrolle des Blühzeitpunktes) anzusiedeln sind.

MEHRJÄHRIGE PFLANZEN: SCHNELLWACHSENDE BAUMARTEN 3.2

Mehrjährige Pflanzen, d.h. vor allem schnellwachsende Bäume, können – neben der traditionellen Hausfeuerung als Brennholz – heute vor allem in Form von Hackschnitzeln als Verbrennungsmaterial für die Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden (Kap. II.2.3). Eine Umwandlung durch Vergasung oder Pyrolyse (und Weiterverarbeitung zu BtL-Kraftstoff) ist ebenfalls möglich, spielt aber praktisch noch kaum eine Rolle (Kap. II.2.2). Für eine biochemische Umwand-



lung zu Biogas oder Bioethanol stellt das schwer abbaubare Holzpolymer Lignin einen Nachteil dar, sodass sich hieraus spezifische Zuchtziele ergeben können.

Das folgende Kapitel bildet eine komprimierte und leicht ergänzte Version des Gutachtens »Ansätze und Herausforderungen der pflanzenzüchterischen Optimierung von Energiepflanzen – Schwerpunkt schnellwachsende Baumarten« (Degen 2007).

Als Vorteile schnellwachsender Bäume gegenüber anderen Energiepflanzen werden angeführt:

- › Insbesondere längere Umtriebszeiten mit mehreren Ernten und anschließender vegetativer Regeneration der Bestände können eine *sehr positive Energiebilanz* von bis zu 10:1 (gewonnene:eingesetzte Energie) ergeben (Scholz 1996).
- › Schnellwachsende Baumarten können bei geeigneter Sortenwahl auf landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen *Grenzertragsböden* angebaut werden. Ausschlaggebend für die Masseleistung ist dabei weniger die Bodenqualität und Nährstoffversorgung als vielmehr die Wasserversorgung.
- › Kurzumtriebsplantagen mit schnellwachsenden Baumarten gelten im Vergleich zu landwirtschaftlichen Monokulturen als *ökologisch wertvoller*. Sie bieten mehr Tieren und Pflanzen Lebensraum; und sowohl Pestizideinsatz als auch Bodenverdichtung sind geringer (Liesebach et al. 1999a).
- › Die Ernte von schnellwachsenden Baumarten kann zu beliebigen Zeitpunkten im Jahr erfolgen. Hierdurch können Landwirte insbesondere bei der Ernte im Winter sonstige *Arbeitsspitzen umgehen*.

BAUMARTEN, ERTRÄGE UND ANBAUERFORDERNISSE

3.2.1

Schnellwachsende Baumarten, die für den Anbau in Kurzumtriebsplantagen in Deutschland geeignet sind, gehören in der natürlichen Sukzession zu den Pionierbaumarten. Es handelt sich um Baumarten, die für das Wachstum viel Licht benötigen. Sie zeichnen sich durch ein rasches Jugendwachstum aus (Hofmann 1999; Weisgerber 1985). Bei den Nadelbaumarten sind zu nennen:

- › Europäische Lärche (*Larix europaea*)
- › Japanische Lärche (*Larix leptolepis*)
- › Hybridlärche (*Larix europaea x Larix leptolepis*)
- › Küstentanne (*Abies grandis*)
- › Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*)

Intensive Züchtung unter den genannten Koniferen fand jedoch in Deutschland nur bei den Lärchen und ihren Hybriden statt. Die Douglasie ist der Nadelbaum, der in der Forstwirtschaft Deutschlands bei längeren Umtriebszeiten (80–150 Jahre) die höchsten Zuwächse verzeichnet. Nadelhölzer können nicht oder nur bedingt über Steckhölzer vermehrt werden und sie sind auch nicht in der Lage,

aus dem »Stock« auszuschlagen. Wegen dieser mangelnden vegetativen Vermehrbarkeit und der im Vergleich zu Pappeln und Weiden schwächeren Biomasseproduktion in der Jugendphase sind sie für den Anbau in Kurzumtriebsplantagen wenig geeignet.

Bei den Laubbaumarten sind aufzuführen:

- > Grauerle (*Alnus incana*)
- > Schwarzerle (*Alnus glutinosa*)
- > Sandbirke (*Betula pendula*)
- > Moorbirke (*Betula pubescens*)
- > Pappeln (*Populus sp.*)
- > Weiden (*Salix sp.*)
- > Robinie (*Robinia pseudoacacia*)

An das Ausgangsmaterial werden für Kurzumtriebsplantagen besondere Anforderungen gestellt, u. a.:

- > leicht und kostengünstige Vermehrbarkeit,
- > sicheres Anwuchsverhalten,
- > rasches Jugendwachstum,
- > Früh- und Spätfrostresistenz,
- > Konkurrenzverträglichkeit im Dichtestand,
- > Widerstandsfähigkeit gegenüber Schadeinflüssen (Resistenz gegenüber biotischen und abiotischen Faktoren).

Nach den vorliegenden Erfahrungen kommen für die Bewirtschaftung im Kurzumtrieb in Mitteleuropa vorwiegend Pappeln und Weiden in Betracht (Hofmann 1998 u. 2002; Traupmann et al. 2004). Bisherige Versuchen mit Erle, Birke und Robinie ergaben deutlich geringere Erträge. Vor dem Hintergrund zunehmender Trockenheit durch die Klimaveränderungen könnte die unempfindliche Robinie jedoch zukünftig eine größere Bedeutung erlangen. Die Robinie scheint auch mit geringeren Ernteerträgen eine Alternative zu sein, da der Heizwert bezogen auf das Volumen dieser Holzart sehr hoch ist (ca. 3.000 kWh je Festmeter lufttrockenen Holzes im Vergleich zu 2.000 kWh je Festmeter bei der Weide). Sie eignet sich auch als Industrieholz, jedoch aufgrund der Inhaltsstoffe nicht für die Papierindustrie. Ein bedeutender Vorteil von Pappeln und Weiden ist die vegetative Vermehrbarkeit über Steckhölzer. Hierdurch kann kostengünstiges Vermehrungsgut bereitgestellt werden.

PAPPELN (*POPULUS SP.*)

Pappeln kommen mit ca. 40 Arten auf der gesamten Nordhalbkugel der Erde (Eurasien, Nordamerika, Nordafrika) in gemäßigten Klimazonen vor und zeigen einen großen Formenreichtum.



II. GRUNDLAGEN

Die *Schwarzpappel* ist ein Auwaldbaum mit hohen Ansprüchen an Licht-, Wärme- und gute Nährstoffversorgung auf grundwassernahen (jedoch nicht staunassen) Standorten mit hohen pH-Werten. Da sie sich wegen ihres geringen Bewurzelungsvermögens nicht für die Steckholzvermehrung eignet und weil klassische Energiewaldstandorte meist nicht über die erforderliche Standortqualität verfügen, kommen Schwarzpappeln für die Bewirtschaftung in kurzen Umtriebszeiten in aller Regel nicht in Betracht. Von großer Bedeutung sind *P. nigra* und *P. deltoides* jedoch als Kreuzungspartner.

Die aus Südostasien bzw. Nordamerika stammenden *Balsampappeln* (*P. maximowiczii*, *P. trichocarpa*) sind deutlich anspruchsloser als Schwarzpappeln. Gute Zuwachsleistungen werden auch in höheren Lagen bei nur mittlerer Nährstoffversorgung und auch noch auf wechselfeuchten Böden erbracht. Nur windexponierte Lagen sind nicht geeignet. Für den Kurzumtrieb haben sich Balsampappeln und ihre Hybriden als besonders geeignet erwiesen. Unter Praxisbedingungen sind durchschnittliche jährliche Erträge von 10 bis 15 t Trockenmasse (TM)/ha erzielbar. Sowohl die amerikanische *P. trichocarpa* als auch die asiatische *P. maximowiczii* bieten mit ihren ausgedehnten Wuchsgebieten sehr günstige Voraussetzungen für die Auswahl anbauwürdiger Herkünfte.

Die *Aspen* (auch Espen oder Zitterpappeln genannt) (*P. tremula*, *P. tremuloides*) stellen von allen Pappelarten die geringsten Ansprüche an Boden und Klima. Auch auf staunassen oder sehr flachgründigen Böden mit mittlerer bis ungünstiger Wasser- und Nährstoffversorgung werden noch ansprechende Wachstumsleistungen erreicht. Damit sind Aspen besonders für Rekultivierungsflächen geeignet. Das Potenzial besserer Standorte schöpfen sie nicht voll aus. Nachteilig ist die Neigung zu flächendeckender Wurzelbrut nach Erntemaßnahmen. Steckholzpflanzung ist bei Aspen nicht möglich. Die vegetative Vermehrung mittels Gewebekulturtechnik ist jedoch praxisreif.

WEIDEN

Weiden gehören zu den formenreichsten Gehölzgattungen der gemäßigten Klimazone nördlicher Breiten. In Mitteleuropa besiedeln Weiden sehr unterschiedliche Standorte. Die Neigung zu natürlicher Hybridisierung nahverwandter Arten ist sehr ausgeprägt. Für die Anlage von Kurzumtriebsflächen zur Produktion biogener Brennstoffe kommen meist nur leistungsfähige Sorten von Hochstrauchformen wie Korbweide (*S. viminalis*), Kätzchenweide (*S. smithiana*) und Filzastweide (*S. dasyclados*) infrage. Maximale Leistungen werden auf frisch-wechselfeuchten, nährstoffreichen sandigen Lehmen erbracht. Raschwüchsige Sorten weisen oftmals geringere Salicingehalte in der Rinde auf und werden daher vom Rehwild bevorzugt verbissen. Bei großflächigem Anbau könnte dieses Problem möglicherweise entschärft werden. Die Vorzüge der Weide (*Salix spec.*) liegen im nahezu 100%igen Anwuchs- und Regenerationserfolg sowie in ihrer Frosthärte.

Die Ertragsleistung liegt im Allgemeinen jedoch niedriger als die der Balsampappeln. In Umtriebszeiten bis maximal vier Jahre werden auf leichten Böden und bei guter Wasserversorgung ca. 8 t TM/ha/a produziert (Tab. 2).

ERGEBNISSE VON ANBAUVERSUCHEN IN MITTELEUROPA

Die Leistungsfähigkeit von schnellwachsenden Baumarten wird in komplexer Weise von verschiedenen Faktoren beeinflusst, insbesondere von

- > Genetik (Baumart und Sorte),
- > Umwelt (Bodeneigenschaften, Temperatur, Niederschlag, Exposition, Höhenlage, biotische und abiotische Schäden) und
- > Anbau (Pflanzverband, Umtriebszeit, Düngung, Bewässerung, Pflanzenschutzmaßnahmen).

Um den Einfluss dieser Faktoren zu ermitteln und Empfehlungen zur Sortenwahl und Anbaumethodik zu erarbeiten, wurden in den letzten 20 Jahren mehrere Anbauversuche angelegt. Im Gutachten von Degen (2007) wurden die Ergebnisse zur Produktion der Trockenmasse (T/ha/a) von 16 Anbauversuchen in Deutschland, Österreich, Polen und Tschechien statistisch ausgewertet. Insgesamt wurden 452 Datensätze zu Trockenmassenleistung verschiedener Sorten von Pappeln und Weiden zusammengestellt. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass es sich um eine Metaanalyse von Daten handelt, die auf verschiedenen Versuchsflächen mit unterschiedlichem Design gewonnen wurden. Das heißt, es sind nicht alle Sorten auf allen Flächen vorhanden, und es sind nicht alle Anbauvarianten (Bestandesdichte, Umtriebszeit) auf allen Versuchsflächen gleich realisiert worden.

Insgesamt ergab sich über alle Versuchsflächen gemittelt eine durchschnittliche Produktion der Trockensubstanz von 7,76 T/ha/a (Tab. 5). Die Spannweite der Ergebnisse variiert sehr stark zwischen 0,5 T/ha/a und 29,6 T/ha/a.

TAB 5 BIOMASSEPRODUKTION VON PAPPELN UND WEIDEN
(TROCKENSUBSTANZ IN T/HA/A) IN 16 ANBAUVERSUCHEN

| Baumart | arithmet. Mittel | Standard- abweichung | Minimal- wert | Maximal- wert | Stichprobenzahl |
|--------------------|---------------------|-------------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Pappeln und Weiden | 7,76 | 4,47 | 0,5 | 29,6 | 452 |
| Pappeln | 7,54 | 4,13 | 0,5 | 22,4 | 347 |
| Weiden | 8,81 | 5,32 | 1,8 | 29,6 | 105 |

Quelle: Degen 2007



II. GRUNDLAGEN

Der Mittelwert der Weiden lag mit 8,81 T/ha/a leicht über dem der Pappeln (7,54 T/ha/a). Hierbei ist weniger ein höheres Wuchspotenzial als vielmehr die deutlich höhere Individuenzahl je ha (s.u.) für den höheren Wert der Weiden verantwortlich.

PFLANZVERBAND UND UMTRIEBSZEIT

Aus den Anbauversuchen wurden von verschiedenen Autoren Empfehlungen für den Pflanzverband und die Umtriebszeit abgeleitet (Tab. 6). Generell wird der Anbau von Weiden in kürzeren Umtriebszeiten (< fünf Jahre) mit sehr hohen Individuendichten empfohlen (> 10.000 N/ha). Bei den Pappeln kulminiert der Zuwachs je nach Art und Sorte erst deutlich später. Daher werden für Pappeln häufig längere Umtriebszeiten mit geringeren Individuendichten empfohlen.

TAB 6 EMPFEHLUNGEN ZU PFLANZVERBÄNDEN UND UMTRIEBSZEITEN

| energetische Nutzung | Pflanzverband (N/ha) | Umtriebszeit (Jahre) | Quelle |
|---------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
| Pappel und Weiden | 10.000–15.000 | 3–6 | Traupmann et al. (2004) |
| Weiden | 13.000 | 3 | Boelcke (2006) |
| Pappeln | 6.000–9.000 | 4–6 | Boelcke (2006) |
| Pappeln und Weiden | 16.000–22.000 | 2–4 | Hofmann (1998) |
| Weide | | 2–4 | Schirmer (1996a) |
| Balsampappeln | | 4–10 | Schirmer (1996a) |
| Aspen und Schwarzpappeln | | 10–15 | Schirmer (1996a) |
| Pappeln und Weiden | 12.500 | 2–4 | Raschka (1997) |
| Pappeln und Weiden | 2000 | 10 | Raschka (1997) |
| Pappeln und Weiden | 1000 | 11–15 | Raschka (1997) |
| Aspen | 4166 | > 10 | Liesebach et al. (1999b) |
| <i>stoffliche Nutzung</i> | | | |
| Pappeln | 2.000–3000 | 10 | Traupmann et al. (2004) |
| Pappeln | 1.111–3.333 | 8–15 | Hofmann (1998) |

Quelle: Degen 2007

DÜNGUNG, PFLANZENSCHUTZ, ERNTETECHNIK

Zur langfristigen Wirkung der *Düngung* von schnellwachsenden Baumarten über mehrere Umtriebszeiten hinweg liegen nur wenige Erkenntnisse vor. In den

Anbauempfehlungen einzelner Bundesländer sind die Aussagen zur Düngung unterschiedlich. Für Sachsen wird eine Düngung empfohlen, die sich am Nährstoffentzug durch den Kurzumtrieb orientiert (Röhricht/Ruscher 2004a). Je kürzer die Umtriebszeit, desto höher ist der Rindenanteil und damit der Nährstoffentzug. In den Anbauempfehlungen für Mecklenburg-Vorpommern wird lediglich für Weiden eine N-Düngung vorgeschlagen (Boelcke 2006). Ansonsten wird angenommen, dass bereits durch den Stickstoffeintrag im Niederschlag eine ausreichende Versorgung sichergestellt ist.

Eine *Unkrautbekämpfung mit Herbiziden* wird sowohl für Pappel- als auch für Weidenplantagen im Pflanzjahr empfohlen (Boelcke 2006). Hierbei gilt der Grasbekämpfung besonderes Augenmerk. Sobald die Kultur etabliert ist (ab dem zweiten Jahr), kann auf die Bekämpfung der Begleitvegetation weitestgehend verzichtet werden (Röhricht/Ruscher 2004a). Bei Trockenheit während der Anwuchsphase wird in den Anbauempfehlungen für Sachsen eine *Bewässerung* angeraten. Weiden sind empfindlicher gegen *Wildverbiss* als Pappeln. Hier ist ein Schutz der Pflanzen durch einen *Zaun* oder Behandlung mit Verbissschutzmitteln jedoch nur bei kleineren Flächen sinnvoll. Allgemein ist die Gefährdung durch Schadinsekten gering. Deutliche Schäden bis hin zum Totalausfall können jedoch durch *Pilzkrankheiten* verursacht werden. Hier wird in den Anbauempfehlungen auf die Verwendung resistenter, genetisch vielfältiger Sorten verwiesen (s. u.). Eine Bekämpfung mit Fungiziden ist aus Kostengründen nicht sinnvoll.

Heutige eingesetzte vollmechanisierte *Erntetechnologien* für Kurzumtriebsplantagen (mit direkter Verarbeitung zu Hackschnitzeln; Röhricht/Ruscher 2004a) bieten Lösungen für die Ernte von Bäumen mit einem Durchmesser von max. 10 cm an (Boelcke 2006). Dies ist in der Regel für Weiden mit einer genetisch kontrollierten Zuwachskulmination nach zwei bis vier Jahren ausreichend. Beim Anbau von Balsampappeln und Aspen sowie Hybridpappeln mit einer Zuwachskulmination nach fünf bis 15 Jahren sind längere Umtriebszeiten und damit größere Stammdurchmesser der geernteten Bäume sinnvoll. Entsprechend muss zukünftige Erntetechnologie für Stämme mit 10 bis 20 cm Durchmesser entwickelt werden.

ZÜCHTUNG UND ZÜCHTUNGSANSÄTZE

3.2.2

Die meisten schnellwachsenden Baumarten sind züchterisch noch wenig bearbeitet. In den meisten Fällen repräsentieren die zugelassenen Pappel- und Weidensorten ausgelesene Individuen der F1- oder F2-Generation (d.h. lediglich einmal gekreuzt bzw. ein zweites Mal rückgekreuzt). Erfahrungsgemäß sind die Züchtungsfortschritte insbesondere am Anfang eines Züchtungsprogramms besonders hoch. Daher kann man von einer jährlichen Steigerung von 1 bis 3 % der Leistung kontinuierlicher Merkmale (z. B. Zuwachs, Holzinhaltstoffe) durch konventionelle Züchtung bei schnellwachsender Baumarten ausgehen (Burley/



II. GRUNDLAGEN

Kanowski 2005; Mead 2005; Muhs 1984; Nanson 2004; Weisgerber 1979). Die Geschwindigkeit hängt von der Dauer der Generation ab. Der Zeitraum von der Kreuzung bis zum geschlechtsreifen Individuum (»Mannbarkeit«) der nächsten Generation ist stark abhängig von der Baumart. Bei allen schnellwachsenden Baumarten vergehen jedoch mindestens acht Jahre bis zur Geschlechtsreife. Die Züchtung neuer Sorten nimmt bei Weiden und Pappeln einen Zeitraum von fünf bis 15 Jahren in Anspruch und dauert damit gar nicht viel länger als von ein- und zweijährigen Pflanzen, weil vegetatives Vermehrungsgut (Klone ertragreicher Einzelpflanzen) verwendet wird.

Auf besseren Böden mit ausreichender Wasserversorgung erreichen schnellwachsende Baumarten heute im Durchschnitt eine Biomasseproduktion von über 10 t TM/ha/a. Durch intensive Züchtung könnte diese möglicherweise auf 30 t TM/ha/a in zehn bis 15 Jahren gesteigert werden. Hierfür wären umfangreiche Neukreuzungen (Balsampappeln, Aspen, Schwarzpappeln und Weiden), eine intensive Selektion, Resistenzprüfung und umfangreiche Probeanbauten nötig. Die Infrastruktur hierfür ist an einzelnen Einrichtungen in Deutschland vorhanden (z.B. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft). Es mangelt jedoch an qualifiziertem Personal und einem laufenden Budget für die Durchführung solcher Züchtungsarbeiten.

RESISTENZZÜCHTUNG

Der traditionelle Pappelanbau (Weitverband, längere Umtriebszeiten) hatte immer wieder unter großen Schäden durch Pilz- und Bakterienkrankheiten zu leiden. Besonders kritisch sind hierbei Anbauten mit nur einem oder wenigen Klonen. Immer wieder wurden gezüchtete Resistenzen der Pappeln durch neue Pilzrassen durchbrochen (Nanson 2004). Daher zielte die Züchtung von neuen Sorten insbesondere auf die Resistenzeigenschaften ab. Hier gibt es neben der intraspezifischen Variation im Ausmaß der Resistenz vor allem eine Resistenzsteigerung, die bei der Hybridzüchtung durch die Wahl der geeigneten Arten erreicht werden kann. Eine Reihe von Publikationen beschreibt die Erfolge der Resistenzzüchtung, insbesondere die Unterschiede in der Pilz-, Bakterien und Insektenresistenz verschiedener Sorten von Pappeln und Weiden (u.a. Hofmann 1995; Nordman et al. 2005; Steenackers 1998). Zukünftige Züchtung muss daher mehr als zuvor auf Sorten mit ausreichender genetischer Variation abzielen (Mehrklonsorten oder generativ erzeugtes Saatgut aus Samenplantagen bzw. Familien aus gelenkten Kreuzungen).

ZÜCHTUNG UND FORSCHUNG IN DEUTSCHLAND

In Deutschland finden zurzeit auf ca. 400 ha Anbauversuche mit Pappeln und Weiden statt. Ein kleiner Teil davon dient primär der Züchtung bzw. der Produktion von Vermehrungsgut. In der Forstwirtschaft wird die aktuelle Anbaufläche von Pappeln auf ca. 100.000 ha geschätzt. Arbeiten zu Neuzüchtungen bei



schnellwachsenden Baumarten werden so gut wie nicht durchgeführt. Nach 1945 war die Züchtung von Pappeln in Deutschland auf die Erzeugung schnellwachsender Sorten mit guter Stammqualität (Schwachastigkeit, Geradschaftigkeit) und guten Resistenzeigenschaften ausgerichtet (Schirmer 1996b). Ziel war die Anpflanzung dieser Sorten in längeren Umtriebszeiten (> 30 Jahre) zum Aufbau von Hochwäldern zur Wertholzproduktion. Für Kurzumtriebswälder sind jedoch andere Ziele maßgeblich. Hier kommt es vor allem auf extremes Jugendwachstum und Massenleistung, Regenerationsfähigkeit aus dem Stock, Konkurrenzfähigkeit im extremen Dichtstand und Schadresistenz an (Muhs 1984). Seit den Anfängen der Pappelzüchtung haben vor allem die interspezifischen Kreuzungen mit Balsampappeln als Kreuzungspartner die größten Erfolge gebracht (Heterosiseffekt). Seit Mitte der 1990er Jahre gelang es hierbei auch, bisherige Kreuzungsschranken zwischen Arten durch Kreuzung in In-vitro-Kulturen zu überwinden. Gezielte Züchtung geeigneter Sorten für den Kurzumtrieb gibt es in Deutschland seit ca. 1970 (Muhs 1984; Weisgerber 1975). Anfang der 1990er Jahre kamen jedoch wegen der geringen Nachfrage fast alle Züchtungsaktivitäten in Deutschland zum Erliegen. Danach wurden fast ausschließlich Anbauversuche und Sortenprüfungen weitergeführt. *Auch in den Forschungsprojekten zu schnellwachsenden Baumarten (s. Kasten) spielen Sortenwahl und Züchtung nur eine geringe Rolle.*

Heute findet in Deutschland daher so gut wie keine Züchtung von schnellwachsenden Baumarten mehr statt. Es gab bis in die Mitte der 1980er Jahre insbesondere am Institut für schnellwachsende Baumarten in Hannoverisch-Münden, in Waldsiefersdorf, Graupa und in Grosshansdorf/Schmalenbeck vielversprechende Züchtungsprogramme, die jedoch alle fast vollständig zurückgefahren wurden. Hier ist ein Neuanfang der staatlich geförderten Forstspflanzenzüchtung dringend geboten, da wegen der Langfristigkeit der Züchtung bei Bäumen private Firmen nur wenig Interesse an einer Züchtung haben und Zuchtsorten aus anderen Ländern häufig wenig geeignet für den Anbau in Deutschland sind (Christersson 1996; Larsson 1997 u. 1998).

Ein Mangel der bisherigen Pappelzüchtung in Deutschland war die eher zufällige Auswahl der Kreuzungspartner nichtheimischer Pappelarten (Mohrdiek 1976). Hier wäre zu empfehlen, zur Verbesserung des züchterischen Ausgangsmaterials weitere Herkünfte von *P. trichocarpa*, *P. deltoides* und *P. maximowiczii* in den Ursprungsregionen der Verbreitungsgebiete einzusammeln, in Herkunftsversuchen zu testen und anschließend Ausleseebäume aus den besten Herkünften in die Kreuzungsprogramme zu integrieren.



BMBF-GEFÖRDERTE FORSCHUNGSPROJEKTE ZU SCHNELLWACHSENDEN BAUMARTEN

AgroWood (www.agrowood.de) ist ein Projekt der Technischen Universität Dresden in Zusammenarbeit mit der Martin-Luther-Universität Halle, dem Landesforstpräsidium, dem Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V., der Ostdeutschen Gesellschaft für Forstplanung mbH sowie der Universität Hamburg. Mit diesem Projekt soll erstmalig in Deutschland eine ganzheitliche und großflächige Lösung des Prozesses »Dendromasse aus Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen« von der Standortanalyse über die wissenschaftlich begleitete technologische Umsetzung bis zur Verwertung in der Region entwickelt, demonstriert und hinsichtlich der Folgen bewertet werden.

Das Verbundvorhaben *DENDROM* (<http://dendrom.de/content/index.cfm>) vereint 17 Institutionen aus Wissenschaft und Praxis. Ziel ist die Erarbeitung ganzheitlicher Strategien und Handlungskonzepte zur nachhaltigen Bereitstellung von Holz für die indirekte und direkte energetische Nutzung. Dabei sollen Wachstumsentwicklungen aufgrund steigender Biomassenachfrage sowie deren Bedarfsdeckung durch Aktivierung von Holzreserven aus dem Wald und durch den Anbau schnellwachsender Gehölze auf dem Feld in Beziehung gesetzt und Handlungsalternativen verglichen werden. Der Einfluss der verschiedenen Bedingungen, Formen und Auswirkungen der verschiedenen Waldbewirtschaftungen soll qualitativ wie auch mithilfe empirischer Untersuchungen für einzelne Modellregionen im Bundesland Brandenburg erfolgen.

Im Rahmen des Verbundprojekts *Agroforst* (www.agroforst.uni-freiburg.de) soll untersucht werden, ob kombinierte agroforstliche Bewirtschaftungskonzepte als Alternativen zu den bislang räumlich streng getrennten land- bzw. forstwirtschaftlichen Nutzungen infrage kommen, insbesondere in Gebieten, die von einem starken Rückgang der Landwirtschaft und damit verbunden einem hohen Aufforstungsdruck betroffen sind.

Neben diesen vom Bund geförderten Projekten werden an verschiedenen landwirtschaftlichen und forstlichen Versuchsanstalten der Bundesländer Anbauversuche mit schnellwachsenden Baumarten durchgeführt (z.B. in Bayern, www.lwf.bayern.de/forschungsprojekte/st1/2005-04-05-15-28.php).

ZÜCHTUNG UND FORSCHUNG IN ANDEREN EUROPÄISCHEN LÄNDERN

In Frankreich, Belgien, den Niederlanden und Italien haben die Züchtung und der Anbau von Pappeln eine lange Tradition und größere Verbreitung als in Deutschland. Die aktuelle Anbaufläche von Pappeln beträgt in Frankreich ca. 230.000 ha.



Seit Ende 2006 läuft das EU-Projekt »TreeBreedex«. Das Projekt umfasst 28 Partnerorganisationen aus ganz Europa, die sich mit Fortpflanzenzüchtung befassen, und wird von der INRA (Institut National de la Recherche Agronomique Olivet) aus Frankreich koordiniert. Aus Deutschland sind das Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH), die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NFV) sowie das Landesforstpräsidium Sachsen beteiligt. Ziele des Projekts sind:

- › Zusammenstellung und Charakterisierung des genetischen Materials in den Züchtungsprogrammen und Generhaltungsmaßnahmen der Partner
- › Erarbeitung einer Übersicht zu den Feldversuchsflächen zur Forstpflanzenzüchtung in Europa
- › Zusammenstellung der Infrastruktur der beteiligten Züchtungsinstitute zur besseren Schwerpunktsetzung und Integration zukünftiger Züchtungsprogramme
- › Erarbeitung von Standards für zukünftige gemeinsame Züchtungsprogramme

Die umfangreichsten Züchtungen von *Pappeln* gibt es in Europa in *Belgien*. Besonderes Augenmerk gilt der Resistenz gegenüber den wichtigsten Pappelkrankheiten sowie Formeigenschaften. Gemäß dem traditionellen Pappelanbau in Belgien, den Niederlanden, Frankreich und Italien werden die Zuchtsorten für den Anbau in geringem Dichtstand (4m x 4m – 9m x 9m) und längeren Umtriebszeiten (> 30 Jahre) verwendet.

Vorreiter der Züchtung von *Weiden* für die Biomasseproduktion ist Schweden bzw. die dortige Firma Svalöf Weibull AB (Larsson 1997 u. 1998). Im Jahr 1998 bestanden in Schweden Kurzumtriebsplantagen mit Weiden auf 18.000 ha, derzeit liegt die Fläche bei 15.000 ha (Weih 2007). Mit dem Züchtungsprogramm wurde im Jahr 1987 begonnen. Den Ausgangspunkt bildeten ca. 700 Weidenklone von 15 Weidenarten aus Schweden, Mitteleuropa und Russland. Die resultierenden Klone aus diesem Züchtungsprogramm weisen einen um 30 % gesteigerten Zuwachs bei deutlich geringerer Frostempfindlichkeit für den Anbau in Mittel- und Nordschweden sowie eine fast vollständige Resistenz gegenüber dem Rostpilz *Melampsora* und der Gallwespe *Dasineura mariginemtorquens* auf. Der schwedische Staat hat jüngst ein dreijähriges *Salix-Forschungsprogramm* aufgelegt, das sowohl weitere Züchtungsfragen, aber auch Aspekte der Produktionsökologie umfasst (Weih 2007).

Auch die Züchtung von *Hybridaspfen* als schnellwachsende Baumart hat eine lange Tradition in Schweden (Christersson 1996). Hierbei arbeiten schwedische Züchter eng mit Kollegen aus den USA und Kanada zusammen, um Kreuzungspartner von *P. temuloides* aus Nordamerika für *P. tremula* aus Europa zu finden, die für Schweden ausreichend frosthart sind und vom Austriebsverhalten her die Vegetationsperiode in Schweden optimal ausnutzen.

GENTECHNISCHE ZÜCHTUNGSANSÄTZE

3.2.3

Wie erwähnt, vergehen bei allen schnellwachsenden Baumarten mindestens acht Jahre bis zur Geschlechtsreife, sodass Züchtungs- bzw. Kreuzungsschritte länger dauern als bei ein- oder zweijährigen Pflanzen. Es läge daher nahe, den postulierten Vorteil gentechnologischer Methoden einer Zeitverkürzung in der Pflanzenzüchtung gerade bei Bäumen zu nutzen. Allerdings ist es von vorneherein absehbar, dass auch Anbauversuche zur Prüfung der Dauerhaftigkeit und Stabilität der transformierten Merkmale sowie möglicher Risiken für die Umwelt (noch) länger als bei den üblichen Kulturpflanzen dauern werden bzw. müssen (Haeggman et al. 2006; Robischon 2006).

Ein geeigneter Indikator für den Stand der gentechnischen Züchtungsansätze bei Bäumen ist der Umfang der Freisetzungsversuche mit gentechnisch veränderten Bäumen (Robischon 2006): Die weitaus intensivste Forschung und Entwicklung zu gentechnisch veränderten Forstbäumen fand in Nordamerika statt (212 Freisetzungsversuche bis 2005), in Europa wurden 30 Freisetzungsversuche bis 2005 registriert. Ein Hauptgrund für die intensive Forschung und Entwicklung zu gentechnisch veränderten Bäumen in Nordamerika ist die zunehmende Bedeutung der Plantagenforstwirtschaft, die häufig von großen Firmen betrieben wird und Gentechnik zur Produktionssteigerung nutzen möchte (z.B. ArborGen in den USA). In Europa erfolgt die Forschung hingegen fast ausschließlich an öffentlichen Forschungseinrichtungen. Eine Kommerzialisierung transgener Bäume wird in Europa auf absehbare Zeit als wenig chancenreich eingeschätzt, weil aufgrund der besonderen risikorelevanten Eigenschaften (Langlebigkeit, hohes Verbreitungspotenzial) ein Zulassung unter dem geltenden EU-Recht prinzipiell schwer vorstellbar erscheint (TAB 2005b, S. 171). Allerdings stößt die potenzielle Nutzung gentechnisch veränderter Forstbäume auch in den USA auf starken Widerstand (Pickardt/de Kathen 2004, S. 84).

Zielmerkmale der meisten gentechnischen Arbeiten in Nordamerika waren die Herbizidresistenz (45), Sterilität (28), Reduktion des Ligningehalts (27) und Resistenz gegen Pilz, Bakterien und Insekten (27) (Robischon 2006). Die Reduktion des Ligningehalts (und gleichzeitige Steigerung des Cellulosegehalts) zur Beeinflussung der Holz- und Fasereigenschaften wurde bis dato für eine mögliche Optimierung der Papiergewinnung verfolgt, die den Haupt Nutzungszweck der Plantagenforstwirtschaft insgesamt in Nordamerika darstellt (TAB 2005b, S. 167 ff.). Eine Ligninreduktion wäre jedoch auch für die effizientere Verwendung von Bäumen zur Bioethanol- oder Biogasproduktion günstig.

Bisherige Arbeiten zur gentechnischen Veränderung des Lignin- und Cellulosegehalts bei verschiedenen Pappelklonen zeigten eine Reduktion des Ligningehalts um bis zu 45 % und eine Steigerung des Cellulosegehalts um bis zu 20 % (Dunisch et al. 2006; Fladung 2006; Haeggman et al. 2006). Allerdings darf nicht

übersehen werden, dass insbesondere Lignin im Holz eine wichtige Funktion zur Abwehr von Pilz- und Insektenschäden hat. Beindruckende Ergebnisse einer Wachstumsförderung von bis zu 40 % gegenüber nichttransformierten Klonen wurden durch gentechnische Veränderung des N-Stoffwechsels (Überexpression der Gene zur Glutaminsynthese) von Weißpappelhybriden (*P. tremula* x *P. alba*) erzielt (Canovas et al. 2006; Gallardo et al. 1999).

Die bisherigen gentechnischen Arbeiten bzw. Freisetzungsversuche zu schnellwachsenden Bäumen in Deutschland befassten sich mit verschiedenen Aspekten der Sicherheitsforschung und der Erzeugung schwermetallresistenter Pappeln für kontaminierte Standorte (Phytoremediation) (Fladung/Honicka 2004; Fladung et al. 2004; Kumar/Fladung 2001; Peuke/Rennenberg 2006).

China ist das bislang einzige Land der Welt, in dem gentechnisch veränderte Bäume zur kommerziellen Nutzung zugelassen sind (Robischon 2006). Seit 2002 werden insektenresistente *Bt-Pappeln* angebaut, drei Klone von *Populus nigra* sowie vier Klone von *Populus alba* x *tormentosa* (*P. albatomentosa*) (Ewald et al. 2006a u. b). Nach Angaben der Chinesischen Akademie der Wissenschaften sind zurzeit (Stand 2006) nur 400 ha mit GV-Pappeln bepflanzt, der größte Teil davon wird in einem Monitoringverfahren hinsichtlich weiterer Biosicherheitskriterien untersucht (Schmidt/Wei 2006).

Insgesamt muss gesehen werden, dass sich der mögliche schnelle Züchtungsfortschritt durch gentechnische Veränderungen bei Bäumen durch die langen Feldversuche zur Zulassung des Vermehrungsgutes, zur Überprüfung der Sicherheit und zur nachhaltigen Stabilität der veränderten Merkmale relativieren wird. Durch Gentransformationen modifiziertes forstliches Vermehrungsgut könnte für die Baumarten, die dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) unterliegen (u. a. Pappeln), nur als »geprüftes Vermehrungsgut« in Verkehr gebracht werden. Allein hierfür sind mehrjährige Anbauversuche (in der Regel mehr als zehn Jahre) notwendig. Mindestens genauso zeitaufwendig werden Versuche zur Erfüllung der Zulassungsaufgaben vor dem Inverkehrbringen von GVOs nach dem Gentechnikgesetz sein.

GESAMTEINSCHÄTZUNG UND AUSBLICK

3.2.4

Nach den vorliegenden Erfahrungen kommen für die Bewirtschaftung im Kurzumtrieb in Mitteleuropa vorwiegend Pappeln und Weiden in Betracht, an trockeneren Standorten zusätzlich Robinien. Ein bedeutender Vorteil von Pappeln und Weiden ist die vegetative und damit kostengünstige Vermehrbarkeit über Steckhölzer.

Eine züchterische Bearbeitung schnellwachsender Baumarten findet derzeit in Deutschland kaum statt. Die frühere Züchtung war sehr stark an längeren Um-



triebszeiten und dem Ziel der Wertholzproduktion ausgerichtet. Es wird angenommen, dass durch eine intensive und gezielte Wiederaufnahme der Züchtung und einer konsequenten Neuorientierung auf für die energetische Nutzung relevante Merkmale wie Zuwachs und Holzinhaltsstoffe die jetzigen Erträge von gut 10 t TM/ha/a innerhalb recht kurzer Zeiträume (von zehn bis 15 Jahren) verdreifacht werden könnten. Voraussetzung wäre vermutlich eine Wiederbelebung der staatlich geförderten Forstpflanzenzüchtung, da wegen der Langfristigkeit der Züchtung bei Bäumen private Firmen nur wenig Interesse zeigen und Zuchtsorten aus anderen Ländern häufig wenig geeignet für den Anbau in Deutschland sind.

Als besonders wichtiges Züchtungsziel gilt gerade bei mehrjährigen Pflanzen und bei einer möglichen Ausdehnung der Energieholzplantagenwirtschaft die Stress-toleranz gegen biotische und abiotische Einflüsse (Weih 2007). Hierfür ist eine langfristige und fächerübergreifende Forschung notwendig, z.B. von Forstgenetik, Produktionsökologie, Mykologie (Pilz-) und Entomologie (Insektenkunde). Gentechnische Züchtungsansätze, die sich insbesondere in den USA auch auf die Beeinflussung des Lignin- und Cellulosegehalts richten (in Deutschland bislang auf Aspekte der Sicherheitsforschung und die sog. Phytoremediation), bzw. daraus resultierende transgene Bäume dürften zumindest in Europa auch mittel- und längerfristig aufgrund der Forst- und Gentechnikgesetzgebung kaum ein Rolle spielen.

NUTZUNGSKONKURRENZEN BEI ENERGIEPFLANZEN

4.

Die Bioenergienutzung nimmt in vielen Ländern der Welt zu. Diese Entwicklung wird teilweise durch politische Maßnahmen (wie z.B. Steuerbefreiung oder Beimischungsquoten für Biokraftstoffe) gefördert. Außerdem werden zunehmend Zielvorgaben für die zukünftige energetische Nutzung von Biomasse festgelegt (siehe Kap. III.1). Dies betrifft insbesondere die EU und ihre Mitgliedstaaten, die USA und Brasilien, zukünftig aber auch Länder wie China und Indien. Voraussichtlich wird sich zukünftig der Welthandel mit (sekundären) Bioenergeträgern deutlich ausweiten, wobei Länder wie Brasilien, Indonesien, Indien, Tansania und Argentinien über große Flächenpotenziale für den Energiepflanzenanbau verfügen (Schütz/Bringezu 2006, S.4). In Studien mit Potenzialabschätzungen werden in der Regel die Konkurrenzbeziehungen – insbesondere im Hinblick auf die Flächennutzung – stark vereinfacht und bei Studien zu einzelnen Produktlinien (z.B. Biokraftstoffe) oft die verfügbare Biomasse bzw. Fläche für den Energiepflanzenanbau ausschließlich einer Produktlinie zugeordnet.

Vor diesem Hintergrund entwickelt sich die aktuelle öffentliche Diskussion, ob mit der Ausweitung des Energiepflanzenanbaus die Nahrungsmittelversorgung bzw. Welternährung gefährdet wird, ob dadurch die Zerstörung natürlicher



Ökosysteme wie Regenwälder verstärkt wird und welche Produktionspotenziale für den Energiepflanzenanbau in Deutschland, Europa und weltweit wirklich zur Verfügung stehen.

Nutzungskonkurrenzen bestehen auf verschiedenen Ebenen. Energiepflanzen konkurrieren in der Flächennutzung einerseits mit anderen Nutzungszwecken, und andererseits bestehen innerhalb des Energiepflanzenanbaus Konkurrenzbeziehungen zwischen den verschiedenen energetischen Nutzungsmöglichkeiten (Produktlinien). Im Folgenden werden Bedeutung und wichtige Faktoren der Flächenkonkurrenz herausgearbeitet:

- › Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion,
- › Konkurrenz mit anderen Flächennutzungen,
- › Konkurrenz mit der stofflichen Nutzung (nachwachsender Rohstoffe) sowie
- › Konkurrenz zwischen verschiedenen Produktlinien der energetischen Nutzung.

Inwieweit diese Konkurrenzbeziehungen in vorliegenden Studien berücksichtigt werden und welche Ergebnisse dazu vorliegen, wird im Kap. IV.2.4 untersucht.

KONKURRENZ MIT DER NAHRUNGSMITTELPRODUKTION

Auf *globaler Ebene* besteht mit der Zunahme der Weltbevölkerung ein steigender Nahrungsmittelbedarf. Es wird erwartet, dass auch die *Nachfrage nach Nahrungsmitteln* weiter zunehmen wird. Angebotsseitig war der Weltmarkt für Agrarprodukte und Nahrungsmittel in der Vergangenheit durch ein Überangebot gekennzeichnet, was zu sinkenden Weltmarktpreisen geführt hat. Zukünftig könnte sich – aufgrund eines geringen Angebotswachstums infolge begrenzter Flächenverfügbarkeit und abnehmender Produktivitätsfortschritte – der bisherige Trend umkehren, sodass steigende Weltmarktpreise zu erwarten wären. Diese Entwicklung würde durch eine steigende Nachfrage nach Energiepflanzen noch verstärkt (Thrän et al. 2005, S.173). Steigende Weltmarktpreise für Agrarprodukte stellen eine Chance für Entwicklungsländer mit unausgeschöpften Produktionspotenzialen dar, dagegen ein erhebliches Problem für Entwicklungsländer, die auf Nahrungsmittelimporte angewiesen sind. Auf jeden Fall werden die ärmsten Teile der Weltbevölkerung am meisten betroffen sein.

Einen großen Einfluss hat zusätzlich, inwieweit *Ernährungsmuster* der Industrieländer (insbesondere Fleischkonsum) in Schwellen- und Entwicklungsländern übernommen werden und sich diese in den Industrieländern selbst ändern. Eine starke globale Ausweitung des Fleischkonsums (z.B. durch entsprechende Nachfrage in China und Indien) würde erhebliche Flächen für die Futtermittelproduktion beanspruchen. Die FAO erwartet eine Verdoppelung des weltweiten Fleischkonsums bis zum Jahr 2050 (taz 23. Feb. 2007).

Die Anbaufläche des *ökologischen Landbaus* beträgt gegenwärtig weltweit rund 30 Mio. ha (SÖL 2007), ökologische Lebensmittel stellen auf globaler Ebene



II. GRUNDLAGEN

nach wie vor ein Nischenmarkt dar. Es wird aber eine zukünftige Zunahme von 5 bis 10%/Jahr erwartet. Aufgrund der geringeren Flächenerträge kann dies zu einem höheren Flächenbedarf für die Nahrungsmittelproduktion führen. Falls in den Industrieländern der steigende Verbrauch ökologischer Lebensmittel mit einem geringen Fleischkonsum verbunden ist, kann aber auch eine gegenläufige Tendenz resultieren.

Diese Erhöhung der Weltnahrungsmittelproduktion muss vor allem durch *Ertragszuwächse* erreicht werden, da die Möglichkeiten zur Ausweitung der landwirtschaftlichen Produktionsflächen begrenzt sind. Auch in vielen Entwicklungsländern bestehen erhebliche Potenziale für eine höhere Nahrungsmittelproduktion. Ihre Nutzung ist aber nicht nur von der Entwicklung und Verfügbarkeit angepasster Technologien abhängig, sondern in erheblichem Maße auch von politischen, rechtlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen (entsprechende Hemmnisse bei Bioenergieträgern in TAB 2001).

Schließlich wird sich der *Klimawandel* auf die zukünftige landwirtschaftliche Produktion auswirken. Eine globale Erwärmung um 2 °C wird in den nächsten Jahrzehnten wohl auf jeden Fall eintreten.

Die in *Deutschland* zukünftig für Energiepflanzen zur Verfügung stehende landwirtschaftliche Fläche, die nicht mehr für die Nahrungsmittelproduktion benötigt wird, hängt von einer ganzen Reihe von Faktoren ab:

- › Nahrungsmittelnachfrage (in Abhängigkeit insbesondere von Bevölkerungsentwicklung, Ernährungsverhalten),
- › landwirtschaftliche Produktivitätsentwicklung (in Abhängigkeit insbesondere von Züchtungsfortschritt, Produktionsintensität, ökologischem Landbau),
- › agrarpolitische Rahmenbedingungen (in Abhängigkeit insbesondere von der zukünftigen Gemeinsamen Agrarpolitik, internationalen Handelsvereinbarungen im Rahmen der WTO),
- › internationale Handelsbeziehungen (beeinflusst insbesondere durch globale Nahrungsmittelnachfrage, zukünftigen Import von Futtermitteln).

Zur zukünftigen *Bevölkerungsentwicklung* liegen relativ zuverlässige Prognosen vor. Gewisse Unsicherheiten ergeben sich vor allem durch die zukünftige Zu- und Abwanderung. Bedeutend schwieriger ist die Abschätzung des zukünftigen *Nahrungsmittelverbrauchs pro Einwohner*, da in der Vergangenheit die verschiedenen Nahrungsmittelgruppen immer wieder unterschiedliche Entwicklungen aufwiesen (TAB 2002, S. 56 ff.). Die zukünftige Zusammensetzung des Nahrungsmittelverbrauchs hat Rückwirkungen auf den Flächenbedarf, wobei der Fleischverbrauch von besonderer Bedeutung ist.

Die Vergangenheit hat erhebliche *Ertragssteigerungen* in der Pflanzenproduktion gebracht. Dem lagen Züchtungsfortschritte und verbesserte Produktionssysteme

zugrunde. Leistungssteigerungen in der Tierproduktion haben u.a. zu einer Reduzierung des Futtereinsatzes geführt, woraus ein geringerer Flächenbedarf resultiert. Hier stellt sich die Frage, ob diese Entwicklungen der Vergangenheit durch Extrapolation in die Zukunft fortgeschrieben werden können. Das Ertrags- und Leistungsniveau bzw. die *Produktionsintensität* werden außerdem durch technischen Fortschritt auch durch Veränderungen in den Agrarmärkten, die beispielsweise durch die EU-Agrarreformen und Preisveränderungen geprägt werden, beeinflusst. Wie bereits erwähnt, wirkt sich auch der zukünftige Anteil des ökologischen Landbaus auf den Flächenbedarf aus. Insgesamt bestehen also bei der zukünftigen Freisetzung von Flächen, die nicht mehr für die Nahrungsmittelproduktion benötigt werden, einige Unsicherheiten.

Die inländische Flächenverfügbarkeit ist weiterhin von der zukünftigen Entwicklung des *Agrarhandelssaldos* von Deutschland und der EU abhängig. Die EU-15 weist bisher einen deutlichen Importüberschuss im Handel mit Agrargütern auf, der sich im Zeitraum 1990 bis 2000 in einem Nettoflächensaldo (dem sogenannten »Flächenrucksack«) von 25 bis 33 Mio. ha/Jahr niederschlägt. Dieser ist vor allem auf den *Import von Futtermitteln* aus Süd- und Nordamerika zurückzuführen (Steger 2005). Andererseits weist die EU Produktions- und Exportüberschüsse bei Zucker, Milch und Rindfleisch auf. Die weitere Entwicklung der Futtermittelimporte und der Bereiche mit Exportüberschüssen, u.a. in Abhängigkeit von der Gestaltung internationaler Handelsbeziehungen, ist schwierig abzuschätzen.

KONKURRENZ MIT ANDEREN FLÄCHENNUTZUNGEN

Die landwirtschaftliche Flächennutzung konkurriert mit anderen Nutzungsansprüchen. In *Deutschland* sind hier von besonderer Bedeutung die Flächenbeanspruchung für Siedlung und Verkehr sowie für Natur- und Landschaftsschutz.

Siedlungs- und Verkehrsflächen sind in der Vergangenheit auf Kosten landwirtschaftlicher Nutzfläche ausgeweitet worden. Von 1992 bis 2004 verringerte sich in Deutschland die landwirtschaftliche Nutzfläche um ca. 5.800 km² (ca. 3 %), während im gleichen Zeitraum die Siedlungs- und Verkehrsfläche um ca. 5.300 km² (ca. 13 %) anstieg (Schütz/Bringezu 2006, S. 13). Zukünftig soll der Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr drastisch reduziert werden, ob dies allerdings gelingt, ist unsicher.

Vom *Natur- und Landschaftsschutz* geht beispielsweise Flächenbedarf für ein Biotopverbundsystem, Bewirtschaftungsbeschränkungen in Naturschutzgebieten etc. aus. Aus Gründen des Bodenschutzes können sich Anforderungen für erosionsgefährdete Ackerstandorte ergeben. Auch vom Hochwasserschutz gehen Flächenansprüche aus. Von der zukünftigen politischen Gestaltung ist hier maßgeblich abhängig, welche Beschränkungen der Flächenverfügbarkeit und -nutzung sich ergeben.



In *Entwicklungsländern* hat die Flächenkonkurrenz mit *natürlichen Ökosystemen* eine besondere Bedeutung. Teilweise erfolgt der Anbau von Energiepflanzen auf bestehenden Anbauflächen (z.B. Anlage neuer Zuckerrohrplantage in Brasilien), wodurch der Nahrungsmittelanbau verdrängt wird und in bisher nicht bewirtschaftete Gebiete ausweichen muss. Zum anderen werden neue Anbauflächen erschlossen, auf Kosten natürlicher Ökosysteme und der lokalen Bevölkerung. Beispielsweise werden in Indonesien zunehmend Regenwälder gerodet, um Platz für Ölpalmenplantagen zu schaffen (Schütz/Bringezu 2006, S. 15).

KONKURRENZ MIT STOFFLICHER NUTZUNG

Nachwachsende Rohstoffe zur stofflichen Nutzung beanspruchen ebenso wie Energiepflanzen landwirtschaftliche Flächen. Es wird immer wieder argumentiert, dass die stoffliche Nutzung gegenüber der energetischen Vorrang haben sollte, weil nach einer stofflichen Nutzung in vielen Fällen noch eine energetische Verwertung erfolgen kann. Da die stoffliche Nutzung allerdings keine vergleichbare staatliche Förderung wie verschiedene Bereiche der energetischen Nutzung erhält, findet derzeit eine Verzerrung zu Ungunsten der stofflichen Nutzung statt.

Es gibt vielfältige Möglichkeiten der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Öle und Fette, Stärke, Zucker, Naturfasern, Cellulose, Proteine, Farbstoffe und pharmazeutische Wirkstoffe werden angebaut bzw. können erzeugt werden. Neben der Ausweitung schon etablierter Verwendungen könnte ein steigender Flächenbedarf ausgehen von neuen Nutzungsmöglichkeiten, wie Biokunststoffe, chemische Produkte aus der weißen Biotechnologie und Bioraffinerien, die sich in der Entwicklung befinden. Erste Szenarioabschätzungen zeigen, dass in Abhängigkeit von den getroffenen Annahmen die verfügbaren Anbauflächen ggf. schon 2015 nicht für die erwartete Nachfrage aus der stofflichen und energetischen Nutzung ausreichen (siehe TAB-Monitoring »Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe«, TAB 2007).

KONKURRENZ ZWISCHEN VERSCHIEDENEN PRODUKTLINIEN DER ENERGETISCHEN NUTZUNG

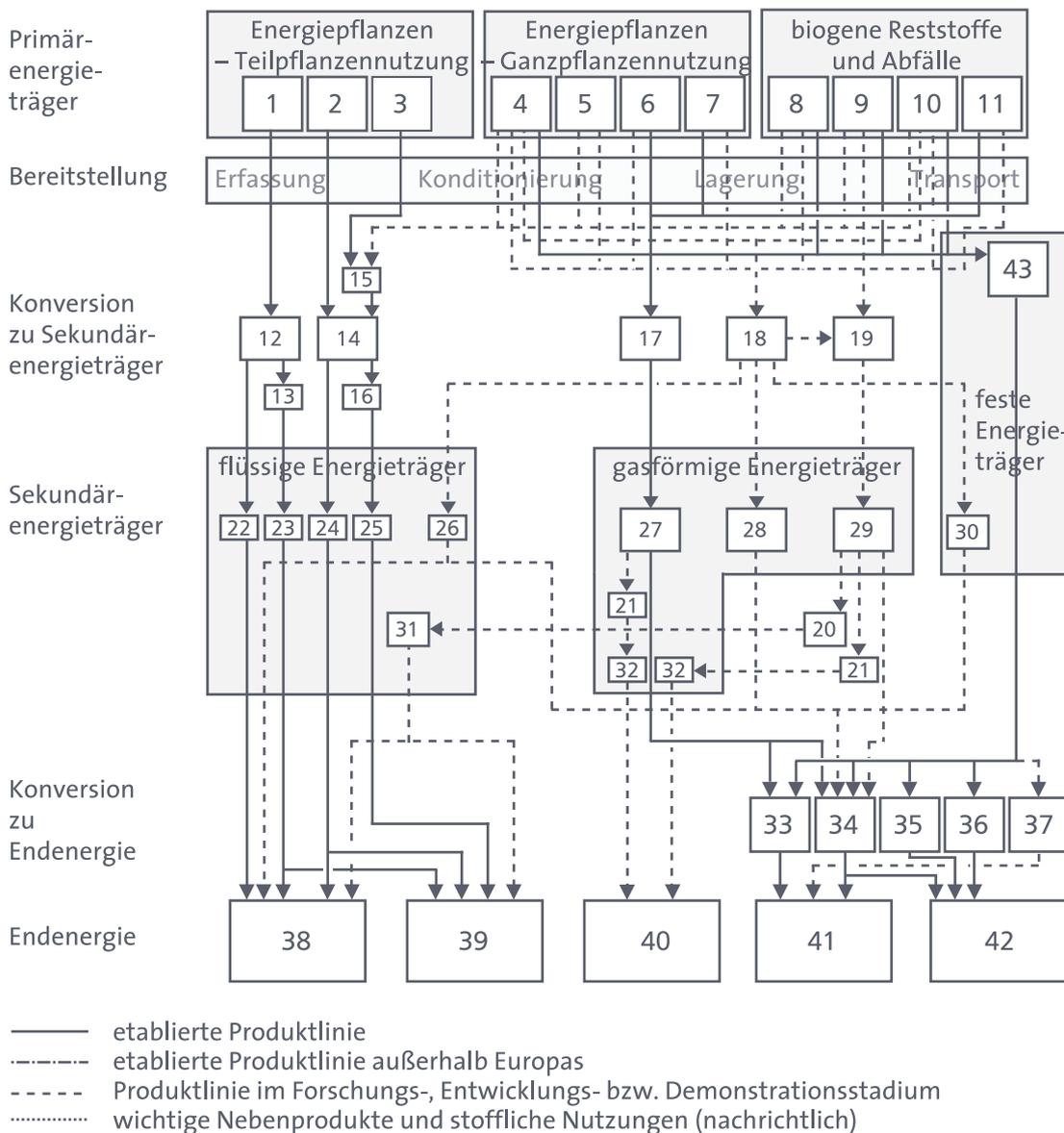
Der weitere Ausbau der Bioenergie ist einerseits von der Preisentwicklung fossiler Energieträger und der staatlichen Förderung und andererseits von der technischen Entwicklung und den Kosten der Bioenergienutzung abhängig. Wenn die Bioenergienutzung ausgebaut wird und neue Nutzungslinien Anwendungsreife erlangen, dann entwickelt sich auch eine zunehmende Konkurrenz um Biomasseressourcen und Flächennutzung.

Eine fundamentale Konkurrenzsituation besteht zwischen der *stationären Nutzung zur Wärme- und Stromerzeugung* und der *mobilen Nutzung als Biokraftstoff*. Beispielsweise könnte Holz aus Kurzumtriebsplantagen zu BtL-Kraftstoff umgewandelt oder zur Wärme- und Stromerzeugung in Heizkraftwerken ver-



brannt werden. Eine Bewertung der ökonomischen und ökologischen Vorteilhaftigkeit dieser Alternativen ist komplex und erfordert eine detaillierte Modellierung konsistenter Szenarien mit entsprechenden Mengengerüsten und Kostenentwicklungen sowie der Berücksichtigung von Sättigungseffekten (siehe TAB-Vorstudie »Perspektiven eines CO₂- und emissionsarmen Verkehrs – Kraftstoffe und Antriebe im Überblick«, TAB 2006, S. 18 f.).

ABB. 18 »LANDKARTE« DER PRODUKTLINIEN BIOENERGIE



Energiepflanzen – Teilpflanzennutzung
 1 – Ölpflanzen; 2 – Zuckerpflanzen; 3 – Stärkepflanzen



II. GRUNDLAGEN

Energiepflanzen – Ganzpflanzennutzung

4 – holzartige Biomasse; 5 – halmgutartige, lignocellulosehaltige Biomasse; 6 – halmgutartige, nichtlignocellulosehaltige Biomasse; 7 – Gras (Dauergrünland)

biogene Reststoffe und Abfälle

8 – landwirtschaftliche Ernterückstände; 9 – forstwirtschaftliche Nebenprodukte; 10 – Reststoffe der Holzverarbeitung; 11 – organische Nebenprodukte und Abfälle

Konversion zu Sekundärenergieträgern

12 – Pressen/Extraktion; 13 – Umesterung; 14 – Alkoholgärung; 15 – Verzuckerung; 16 – ETBE-Synthese; 17 – anaerober Abbau; 18 – Pyrolyse; 19 – Vergasung; 20 – Kraftstoffsynthese; 21 – Aufbereitung

Sekundärenergieträgern

22 – Pflanzenöl; 23 – Biodiesel; 24 – Bioethanol; 25 – ETBE; 26 – Pyrolyseöl; 27 – Biogas; 28 – Pyrolysegas; 29 – Produktgas; 30 – Pyrolysekoks; 31 – BtL-Kraftstoff; 32 – Bio-SNG (Biomethan)

Umwandlung in Endenergie

33 – Verbrennung in Stromerzeugungsanlagen; 34 – Verbrennung mit Kraft-Wärme-Kopplung (Heizkraftwerke, BHKW); 35 – Verbrennung in Heizwerken; 36 – Verbrennung in Hausfeuerungsanlagen; 37 – Mitverbrennung in Kohlekraftwerken

Endenergienutzungen

38 – Biokraftstoffe; 39 – Kraftstoffbeimischungen; 40 – Einspeisung Erdgasnetz; 41 – Strom; 42 – Wärme; 43 – biogene Festbrennstoffe

Quelle: eigene Darstellung

Energiepflanzen (genauso wie die anderen Biomassekategorien) können in der Regel mit verschiedenen Produktlinien genutzt werden (Abb. 18). Daher bestehen zusätzlich *innerhalb* der beiden grundlegenden Alternativen stationäre und mobile Nutzung vielfältige Konkurrenzsituationen. Die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Produktlinien kann dabei von der Ausgestaltung staatlicher Förderungen erheblich beeinflusst werden.

FAZIT

5.

Traditionelle Biomasse ist auf globaler Ebene der wichtigste erneuerbare Energieträger (9 % des weltweiten Primärenergieverbrauchs) und in vielen Entwicklungsländern von großer Bedeutung. Aber auch bei der Wärmeerzeugung in Deutschland spielt die traditionelle Biomassenutzung (Einzelöfen wie Kamin- und Kachelöfen in Haushalten) eine wichtige Rolle.

Moderne Biomasse bedeutet dagegen eine Nutzung in größerem Maßstab mit modernen Technologien und als Ersatz für konventionelle fossile Energieträger. Rohstoffbasis für die moderne Biomassenutzung sind Energiepflanzen im landwirtschaftlichen Anbau, forstwirtschaftliche Nebenprodukte, Reststoffe aus der Holzverarbeitung sowie organische Nebenprodukte und Abfälle.

Unter *Energiepflanzen* werden landwirtschaftliche Nutzpflanzen verstanden, die mit dem Hauptziel einer Energienutzung angebaut werden. Energiepflanzen sind ein Teil der modernen Biomasse. Teilweise wird der Begriff Energiepflanze allerdings auch nur bei einer Ganzpflanzennutzung verwendet. Bisher findet – wie bei der Nahrungsmittelproduktion – überwiegend eine Teilpflanzennutzung statt.

PRODUKTLINIEN DER ENERGIEPFLANZENNUTZUNG

Das Technikfeld der modernen Bioenergie ist sehr komplex. Von der Erzeugung bzw. Bereitstellung von Biomasse als Primärenergieträger über die Umwandlung zu Sekundärenergieträgern bis Endenergienutzung als Wärme, Strom oder Kraftstoff existieren vielfältige Alternativen, d.h. unterschiedliche *Produktlinien* können genutzt werden bzw. befinden sich in der Entwicklung. Die Abbildung 17 gibt einen zusammenfassenden Überblick in der Form einer »Landkarte« der Produktlinien.

Die *Verbrennung von fester Biomasse* stellt eine *direkte Umwandlung* von biogenen Primärenergieträgern in End- bzw. Nutzenergie dar. Als Primärenergieträger können forstwirtschaftliche Nebenprodukte (Waldrestholz, Schwachholz), Reststoffe aus der Holzverarbeitung (Industrierestholz bis Altholz), landwirtschaftliche Ernterückstände (Stroh) sowie Energiepflanzen genutzt werden. Als Energiepflanzen kommen holzartige Biomasse (Kurzumtriebsplantagen mit Pappeln oder Weiden) und halmgutartige, lignocellulosehaltige Biomasse (Getreide, Miscanthus) infrage. Die Nutzung von forstwirtschaftlichen Nebenprodukten und von Reststoffen aus der Holzverarbeitung ist bisher vorherrschend. Neben der traditionellen Wärmebereitstellung in Hausfeuerungsanlagen (Endenergiebereitstellung 61,6 TWh 2006 in Deutschland) hat die Wärmeerzeugung in Heizkraft- und Heizwerken (2,2 TWh) und in der Industrie (9,3 TWh) bisher eine geringere Bedeutung. Die Stromerzeugung mit biogenen Festbrennstoffen erfolgt in Heizkraftwerken und reinen Stromerzeugungsanlagen (6,6 TWh).

Für die Verbrennung fester Biomasse zur Erzeugung von Wärme und/oder Strom steht eine Reihe etablierter Technologien zur Verfügung. Die Wärmebereitstellung aus biogenen Festbrennstoffen ist schon heute in der Regel wirtschaftlich und erfährt keine direkte staatliche Förderung. Die Stromerzeugung ist dagegen noch auf die EEG-Förderung angewiesen. Aus dem relativ geringen Energiegehalt der biogenen Festbrennstoffe ergibt sich vorzugsweise eine Nutzung in dezentralen Anlagen kleiner und mittlerer Leistung, möglichst in enger räumlicher Nähe zum Anbaugelände bzw. zum Ort des Anfalls der Biomasse. Für konditionierte (aufbereitete) Holzprodukte wie Pellets gibt es dagegen europäische und internationale Handelsströme.

Die *Konversion zu flüssigen und gasförmigen Sekundärenergieträgern* – auch als »Veredlung von Biomasse« bezeichnet – hat zum Ziel,



II. GRUNDLAGEN

- > die Energiedichte zu erhöhen,
- > die Transportfähigkeit zu verbessern,
- > die Nutzung mit den vorhandenen Technologien der Endenergienutzung zu ermöglichen
- > und somit eine Annäherung an das vorhandene Energiesystem zu erreichen.

Bei den Konversionstechnologien gibt es eine Reihe eingeführter Verfahren, die breit genutzt werden und Stand der Technik sind. Dazu gehören die etablierten Konversionsverfahren zu Biokraftstoffen (Pflanzenöl, Biodiesel, Bioethanol) und die Biogaserzeugung. Andere Konversionstechnologien wie Vergasung und Pyrolyse sowie Biomass-to-Liquid-Prozesse befinden sich noch im Stadium der Forschung, Entwicklung und Demonstration.

Aufgrund der staatlichen Förderung ist in den letzten Jahren die Biokraftstoffversorgung (20,7 TWh Biodiesel, 3,1 TWh Pflanzenöl und 3,7 TWh Bioethanol 2006 in Deutschland) und die Biogaserzeugung (5,4 TWh Strom und 5,4 TWh Wärme) stark angestiegen. Die bisherigen Biokraftstoffe beruhen auf Energiepflanzen in Teilpflanzennutzung. Insbesondere mit dem Ausbau der Biogaserzeugung hat allerdings auch die Ganzpflanzennutzung an Bedeutung gewonnen.

Der *Vergasung von Biomasse* wird zukünftig voraussichtlich eine Schlüsselrolle zukommen. Vereinzelt wird dies auch der Pyrolyse zugesprochen. Mit der Vergasung soll einerseits die Rohstoffbasis erweitert werden, indem in diesem Prozess unterschiedlichste Ausgangsmaterialien, von Energiepflanzen über landwirtschaftliche Ernterückstände, forstwirtschaftliche Nebenprodukte und Reststoffe der Holzverarbeitung bis zu organischen Nebenprodukten und Abfällen, genutzt werden sollen. Mit einer Ganzpflanzennutzung bei den Energiepflanzen soll gleichzeitig der Energieertrag pro landwirtschaftliche Fläche deutlich erhöht werden. Andererseits eröffnet das Produktgas aus der Vergasung vielfältige Nutzungswege, von der Strom- und Wärmeerzeugung über die Herstellung synthetischer Kraftstoffe und Biomethan bis hin zur stofflichen Nutzung.

ZÜCHTUNG VON ENERGIEPFLANZEN

Die *Züchtung* von Energiepflanzen steht noch relativ am Anfang. Ziel ist, in möglichst kurzer Zeit geeignetes Sortenmaterial aus einem möglichst breiten Artenspektrum zur Verfügung zu stellen. Ergänzend sind geeignete Fruchtfolgen zu entwickeln, die Nahrungs- und Futtermittelproduktion einerseits und Energiepflanzenproduktion andererseits harmonisch miteinander verbinden. Die Züchtung konzentriert sich auf Energiepflanzen der zweiten Generation, die in Mitteleuropa als Ganzpflanzen auf absehbare Zeit vor allem zur Biogasproduktion verwendet werden sollen. Massenwüchsige Pflanzenarten wie Mais, Sorghum und Sonnenblume werden für eine Ganzpflanzennutzung züchterisch dahingehend bearbeitet, dass sie möglichst die volle Vegetationszeit mit vegetativem Wachstum ausnutzen. Ein maximaler Biomassertrag stellt bei den meisten land-

wirtschaftlichen Arten ein grundsätzlich neues Zuchtziel dar. Eher im Stadium einer Vision befinden sich Energiepflanzen der sog. dritten Generation, die neben hohen Massenerträgen spezielle Inhaltsstoffe ausbilden, die direkt in den »Bio-raffinerien« der Zukunft stofflich und energetisch verwertet werden sollen (TAB 2007). Für eine thermische Nutzung kommen dagegen vor allem mehrjährige, verholzte Pflanzen wie Kurzumtriebspappeln oder -weiden infrage. Eine züchterische Bearbeitung schnellwachsender Baumarten findet derzeit in Deutschland allerdings kaum statt.

NUTZUNGSKONKURRENZEN

Die Bioenergienutzung nimmt in vielen Ländern der Welt zu. Diese Entwicklung wird teilweise durch politische Maßnahmen (wie z.B. Steuerbefreiung oder Beimischungsquoten für Biokraftstoffe) gefördert und zunehmend werden Zielvorgaben für die zukünftige energetische Nutzung von Biomasse festgelegt. In Studien mit Potenzialabschätzungen werden in der Regel die Konkurrenzbeziehungen – insbesondere im Hinblick auf die Flächennutzung – stark vereinfacht und bei Studien zu einzelnen Produktlinien (z.B. Biokraftstoffe) oft die verfügbare Biomasse bzw. Fläche für den Energiepflanzenanbau ausschließlich einer Produktlinie zugeordnet.

Nutzungskonkurrenzen bestehen auf verschiedenen Ebenen. Energiepflanzen konkurrieren in der Flächennutzung einerseits mit anderen Nutzungszwecken, und andererseits bestehen innerhalb des Energiepflanzenanbaus Konkurrenzbeziehungen zwischen den verschiedenen energetischen Nutzungsmöglichkeiten (Produktlinien). Der Anbau von Energiepflanzen steht in Konkurrenz mit

- > der Nahrungsmittelproduktion,
- > anderen Flächennutzungen, wie Siedlung und Verkehr oder Naturschutz,
- > und der stofflichen Nutzung (nachwachsender Rohstoffe).

Innerhalb des Energiepflanzenanbaus besteht eine fundamentale Konkurrenzsituation zwischen der stationären Nutzung zur Wärme- und Stromerzeugung und der mobilen Nutzung als Biokraftstoff. Energiepflanzen (genauso wie die anderen Biomassekategorien) können in der Regel mit verschiedenen Produktlinien genutzt werden (Abb. 18). Daher bestehen zusätzlich innerhalb der beiden grundlegenden Alternativen stationäre und mobile Nutzung vielfältige Konkurrenzsituationen. Die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Produktlinien kann dabei von der Ausgestaltung staatlicher Förderungen erheblich beeinflusst werden.



AUSBAUZIELE UND FÖRDERPOLITIKEN

III.

Angesichts der absehbaren Erschöpfung der fossilen Energievorräte, des zunehmenden Weltenergiebedarfs und der Umwelt- und Klimaproblematik ist es Aufgabe staatlicher Vorsorge, die Entwicklung von Energieoptionen für die Zukunft zu fördern. Ausdruck der entsprechenden Klimaschutz- und Energiepolitik sind Ausbauziele zur energetischen Nutzung von Biomasse und Förderpolitiken zu ihrer Erreichung. Da Energie aus Biomasse in den meisten Feldern bislang wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig ist, wird der Förderung der energetischen Nutzung von Biomasse und der Einführung neuer Konversionstechnologien in vielen Programmen auf nationaler und europäischer Ebene ein sehr hoher Stellenwert beigemessen und dabei eine Vielzahl von Politikinstrumenten eingesetzt.

Dieses Kapitel ist der Bestandsaufnahme über die Zielvorgaben zur Nutzung von Bioenergie (insbesondere auf der Basis von Energiepflanzen) sowie über die derzeit angewandten Förderpolitiken und Handlungsoptionen auf europäischer und internationaler Ebene gewidmet. Es stützt sich zu weiten Teilen auf das Gutachten »Zielvorgaben und Förderpolitiken zu Bioenergie (insbesondere Energiepflanzen) im internationalen Vergleich« (IE 2007). Den Schwerpunkt der Analysen bilden die EU und ihre Mitgliedstaaten. Zusätzlich wurden die USA, Brasilien, Mexiko, Indien, China, Malaysia, Indonesien und Australien aufgrund ihrer großen Relevanz für die Bioenergiebereitstellung und -nutzung einbezogen.

Zunächst werden die förderpolitischen Rahmenbedingungen auf internationaler und europäischer Ebene dargestellt, insbesondere die Ausbauziele in Bezug auf Strom, Wärme und Kraftstoffe (Kap. III.1). Sodann werden die zu ihrer Realisierung bislang eingesetzten Förderpolitiken und -instrumente beschrieben (Kap. III.2). Eine in Bezug auf bisher einschätzbare Auswirkungen vergleichende Bewertung der Förderpolitiken schließt den Kreis (Kap. III.3).

AUSBAUZIELE UND RAHMENBEDINGUNGEN

1.

Die Förderung der energetischen Nutzung von Biomasse findet nach Maßgabe politischer Rahmenbedingungen und Vorgaben statt. Diese umfassen generelle Vereinbarungen auf internationaler Ebene (Kap. III.1.1), energiepolitisch motivierte Ausbauziele hinsichtlich des Anteils der erneuerbaren Energien an der Gesamtenergieversorgung (Kap. III.1.2), agrarpolitische Zielsetzungen und Strategien (Kap. III.1.3) sowie Aspekte der Umwelt-, Wirtschafts-, Struktur- und Regionalpolitik (Kap. III.1.4). Auf diese Weise entsteht eine komplexe Anforderungslage an Förderpolitiken (Kap. III.1.5).

INTERNATIONALER RAHMEN

1.1

Die *Klimarahmenkonvention* (UNFCCC) der Vereinten Nationen und das im Jahr 2005 in Kraft getretene und bis 2012 gültige Kyoto-Protokoll schreiben verbindliche Ziele für die Begrenzung und Verminderung des Ausstoßes von Treibhausgasen fest. Es verpflichtet die Vertragsländer, nationale Programme zur Erreichung der Ziele zu etablieren und regelmäßig Bericht über den erreichten Stand zu erstatten. Dadurch sollen die Treibhausgasemissionen der industrialisierten Vertragsstaaten bis zum Jahre 2012 um durchschnittlich 5,2 % gegenüber 1990 gesenkt werden. Die EU hat sich verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen in der Periode 2008–2012 um 8 % zu verringern. Die Förderung von Bioenergieträgern wird vielfach als geeignetes Mittel angesehen, zur Erfüllung dieser Verpflichtungen beizutragen.

Mit Blick auf die zurzeit entstehenden globalen Märkte von Bioenergieträgern sind die Bestimmungen der *Welthandelsorganisation* (WTO) zu beachten. Die WTO stuft die herkömmlichen Biotreibstoffe Biodiesel und Bioethanol als landwirtschaftliche Produkte ein, die damit unter die WTO-Prinzipien der Meistbegünstigung und der Inländerbehandlung fallen. Insofern sind unterschiedliche Zollsätze für Biotreibstoffe aus unterschiedlichen Ländern nicht zulässig. Angesichts des Ziels der WTO, Zollschränken langfristig abzubauen, sollen auf EU-Vorschlag hin die durchschnittlichen Zölle für landwirtschaftliche Produkte um 36 % und jeder einzelne Zoll um mindestens 15 % gesenkt werden. Dies träfe also auch auf Bioethanolimporte aus Brasilien in die EU zu.

Nach den WTO-Regeln darf auch eine Steuerbefreiung für Biokraftstoffe nicht ausschließlich auf inländische Biokraftstoffe angewendet werden, sondern muss genauso für importiertes Bioethanol und importierten Biodiesel gelten. Eine Steuerbefreiung von Biokraftstoffen ist grundsätzlich erlaubt, da sie als Umweltmaßnahme in die sogenannte Grüne Box eingeordnet und angenommen wird, dass derartige Maßnahmen keine oder nur geringe Handelsverzerrungen bewirken. Ebenso verhält es sich mit Flächenbeihilfen wie der EU-Energiepflanzenprämie und Investitionsbeihilfen für Biokraftstoffanlagen. Das System der WTO-Regeln bietet somit genügend Freiraum für die Ausgestaltung nationaler und europäischer Förderpolitiken der Bioenergie.

ENERGIEPOLITISCHE AUSBAUZIELE

1.2

Die Definition von Ausbauzielen zu erneuerbaren Energien, hier insbesondere zur Biomasse und zu Energiepflanzen, sowie die Einleitung zielführender Maßnahmen sind Teil der Energiepolitik. Wesentliches Ziel der Energiepolitik ist auf

abstrakter Ebene die kurz-, mittel- und langfristige Sicherung der Versorgung unter Beachtung der Kriterien nachhaltiger Entwicklung.

EUROPÄISCHE EBENE

1.2.1

Im Rahmen der Sicherung einer nachhaltigen Energieversorgung in Europa sind vorrangige Ziele der EU die Erfüllung der Kyoto-Ziele (s.o.), eine mittelfristige Verdopplung des Anteils erneuerbarer Energien an der Bruttoenergieproduktion, eine Erhöhung der Energieeffizienz sowie langfristige Versorgungssicherheit. Hierzu sind im Kontext der Energiepflanzen die folgenden Dokumente und Richtlinien einschlägig.

Im *Weißbuch für erneuerbare Energien* (1997) hat die Europäische Kommission die Verdopplung des Anteils erneuerbarer Energien am gesamten Bruttoinlandsverbrauch (Primärenergieverbrauch) bis 2010 auf 12 % als Ziel gesetzt (EC 1997). Der Aktionsplan im Anhang I fordert darüber hinaus die Schaffung von fairen Marktbedingungen für erneuerbare Energien (für den Strom-, Wärme- und Kraftstoffsektor) und die Beseitigung von Hemmnissen. Im Anhang II wurden für die einzelnen erneuerbaren Energiequellen und Marktsektoren Vorausschätzungen bis zum Jahr 2010 skizziert. Das größte Potenzial kommt danach dem Bereich Biomasse zu, mit einem Ziel bei 135 Mtoe/a (5.628 PJ/a) für das Jahr 2010, was eine Verdreifachung gegenüber 1997 darstellt.

Das Grünbuch der Kommission »*Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit*« (2000) formuliert Handlungsbedarf hin zu einem breiteren Energiemix (EC 2000). Hintergrund ist, dass die EU derzeit in hohem Maße vom Import der fossilen Energieträger Erdgas und Erdöl abhängig ist, deren Reichweite begrenzt ist und die geopolitisch prekär verteilt sind.

In der *Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt* (2001/77/EG; EE-Richtlinie) wurde festgelegt, den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromproduktion der gesamten EU von knapp 14 % im Jahr 1997 auf rund 22 % im Jahr 2010 zu erhöhen und damit den Anteil am Bruttoenergieverbrauch von 6 auf 12 % zu verdoppeln (EG 2001). Dadurch sollen Emissionsminderungen von 100 bis 125 Mio. t CO₂-Äquivalenten erreicht werden. Für Deutschland bedeutet dies eine Steigerung des Anteils von Strom aus erneuerbaren Energien auf 12,5 % bis 2010, also eine Verdopplung gegenüber dem Jahr 2000. Die Mitgliedstaaten müssen alle zwei Jahre über den Stand zur Erreichung der nationalen Ziele berichten und einen freien Zugang von »grünem« Strom in das Versorgungsnetz garantieren.

Gemäß der *Richtlinie zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor* (2003/30/EG; EU-Biokraftstoffrichtlinie) sollen die EU-Mitgliedstaaten sicherstellen, dass ein Mindest-



III. AUSBAUZIELE UND FÖRDERPOLITIKEN

anteil an erneuerbaren Kraftstoffen auf ihren Märkten in Verkehr gebracht wird (EG 2003a). Dieser Anteil soll, gemessen am Energiegehalt, bis 31. Dezember 2010 auf 5,75 % steigen, mit einem Zwischenziel von 2 % bis Dezember 2005. Bis zum Jahr 2020 wird ein Marktanteil von 20 % für Biokraftstoffe angestrebt.

Die *Richtlinie zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom* (2003/96/EG) soll die finanzielle Förderung von Bioenergieträgern erleichtern. Sie erlaubt den Mitgliedstaaten eine Mineralölsteuerermäßigung bis hin zur totalen Befreiung für reine Biotreibstoffe bzw. den biogenen Anteil im Treibstoff (EG 2003b). Weitere Maßnahmen betreffen die Förderung von Biokraftstoffen öffentlicher Verkehrsmittel, die Förderung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten oder Informationskampagnen über die Vorteile und Verfügbarkeit von Biokraftstoffen.

Der *Aktionsplan für Biomasse* (2005) der EU-Kommission beschreibt die Situation der Bioenergienutzung in der EU, stellt die mögliche Entwicklung der Bioenergiepotenziale dar, nennt die Ziele der Kommission zur Verstärkung der Nutzung von Bioenergie für den Wärme-, Strom- und Kraftstoffbereich bis 2020 (dazu s.u.) und nimmt die weitere Steigerung der energetischen Biomassenutzung ab 2020 in den Blick (EC 2005). Konkrete Ziele sind die Diversifizierung der Energieversorgung Europas, die Verringerung der Treibhausgasemissionen um 209 Mio. t CO₂-Äquivalent jährlich, die unmittelbare Schaffung von 250.000 bis 300.000 Arbeitsplätzen und die Stimulierung der Entwicklung des ländlichen Raumes. Zur Umsetzung des europäischen Aktionsplans für Biomasse sollen darüber hinaus Ziele in nationalen Biomasseaktionsplänen formuliert werden.

Im Grünbuch *Eine europäische Strategie für nachhaltige, wettbewerbsfähige und sichere Energie* (2006) werden Maßnahmen in sechs Bereichen zur Umsetzung einer europäischen Energiepolitik vorgeschlagen (EC 2006a). Diese reichen von der Vollendung des Energiebinnenmarkts bis zu einer gemeinsamen Energieaußenpolitik und fassen sämtliche Aspekte der Energiepolitik zu einer gemeinsamen Strategie zusammen.

In der Kommissionsmitteilung *Eine EU-Strategie für Biokraftstoffe* (COM (2006)34) werden die Ziele des Aktionsplans für Biomasse speziell für Kraftstoffe konkretisiert (EC 2006b). Durch den optimierten Anbau der geeigneten Rohstoffe, die Erforschung der Biokraftstoffe der »zweiten Generation«, die Förderung der Marktdurchdringung und die Abschaffung von nichttechnischen Hindernissen soll die Wettbewerbsfähigkeit von Biokraftstoffen gesteigert werden. Darüber hinaus soll untersucht werden, welche Möglichkeiten in den Entwicklungsländern bestehen, um Rohstoffe für Biokraftstoffe zu erzeugen.

In der *EU Renewable Energy Roadmap* (2007) wurden die Aktivitäten und Ziele zum Ausbau der erneuerbaren Energien zusammengefasst (EC 2007). Diese stellt

auf europäischer Ebene die zurzeit gültige Rahmenbedingung auch zur Bioenergie und somit auch zum Energiepflanzenanbau dar. In der Roadmap hat sich die Europäische Union verbindlich verpflichtet, den Ausstoß von Treibhausgasen bis 2020 um ein Fünftel im Vergleich zu 1990 zu verringern und dazu den Anteil der erneuerbaren Energien im Durchschnitt auf 20 % bis 2020 zu erhöhen. Dabei soll der Anteil an Biokraftstoffen am Kraftstoffmix 10 % nicht unterschreiten. Diese Langfristperspektive soll die Etablierung stabiler und nachvollziehbarer Rahmenbedingungen unterstützen und den Akteuren Planungssicherheit geben. Die EU-Mitgliedstaaten sollen diese Ziele unter Berücksichtigung der nationalen Rahmenbedingungen für die Bereiche Wärme, Strom und Kraftstoffe ausformulieren und durch nationale Aktionspläne weiter konkretisieren.

Auf nationaler Ebene wurden nur von einzelnen europäischen und außereuropäischen Ländern übergeordnete Ziele hinsichtlich des Anteils erneuerbarer Energien festgelegt. Diese Ziele liegen bisweilen jedoch deutlich unter dem EU-Ziel von 20 % bis 2020. Der Ausbau der Energieerzeugung auf Basis der erneuerbaren Energien schreitet damit zwar in Europa voran, allerdings sind die Erfolge in den 25 Mitgliedstaaten und den verschiedenen Bereichen der erneuerbaren Energien sehr unterschiedlich. Es besteht Konsens, dass die Ziele von 12 % bis 2010 und 20 % bis 2020 nur durch weitere unterstützende Maßnahmen in allen Sektoren (Strom, Wärme, Kraftstoffe) erreichbar sind.

Dieser Katalog europäischer Maßnahmen und Verordnungen macht die hohe Relevanz deutlich, die erneuerbaren Energieträgern generell und der energetischen Nutzung von Biomasse im Besonderen zugemessen werden. Schlüsselbegriffe in den damit verbundenen Zielsetzungen sind die Verringerung der Abhängigkeit von externen Energiequellen und die Klimaproblematik. Weitere Aspekte sind wirtschafts- und entwicklungspolitische Aspekte sowie die Förderung des ländlichen Raums.

AUSGEWÄHLTE AUSSEREUROPÄISCHE LÄNDER

1.2.2

Die energiepolitischen Rahmenbedingungen in den ausgewählten außereuropäischen Ländern sind unterschiedlich und zeigen teilweise erhebliche Umorientierungen in der jüngeren Vergangenheit.

In den *USA* stellen sichere Versorgung, Wirtschaftswachstum und (allerdings erst seit kurzem) Klimaschutz wesentliche Randbedingungen der Energiepolitik im Hinblick auf die Bioenergienutzung dar. In der Technologieentwicklung wird eine internationale Führungsrolle angestrebt. Konkretisiert werden diese allgemeinen Ansprüche für den Kraftstoffbereich, in dem für den Zeitraum 2007 bis 2017 eine Verbrauchssenkung von 20 % als Ziel definiert ist. Davon sollen 15 % durch Biokraftstoffe und die verbleibenden 5 % durch Effizienzmaßnahmen erreicht werden. Klimaschutzziele sind nur in Bezug auf eine erhöhte Energieeffi-



III. AUSBAUZIELE UND FÖRDERPOLITIKEN

zienz und die Entkoppelung des Wirtschaftswachstums vom CO₂-Ausstoß definiert, nicht aber als absolute Grenzen (The White House 2007).

In *Brasilien* werden Bioenergieträger bereits seit der ersten Ölkrise in den 1970er Jahren mit einem staatlichen Ethanolprogramm unterstützt. Auf diese Weise konnte eine leistungsstarke und kostengünstige Bioethanolproduktion aufgebaut werden. Heute kann ein erheblicher Anteil des motorisierten Individualverkehrs mit sogenannten »flex-fuel-vehicles« (FFV) Benzin und Bioethanol in allen denkbaren Mischungen nutzen. Heute ist brasilianisches Bioethanol mit Erzeugungskosten von umgerechnet ca. 30 US-Dollar/Barrel als einziger Biokraftstoff gegenüber den fossilen Kraftstoffen konkurrenzfähig. Bisher hat Brasilien Bioethanol vor allem für den heimischen Kraftstoffmarkt produziert. Durch die gestiegene Nachfrage auf dem Weltmarkt – vorwiegend durch die USA, aber auch durch Länder mit ambitionierten Kraftstoffzielen und geringem inländischen Produktionspotenzial wie Japan oder Schweden – wird die Ethanolproduktion gegenwärtig ausgebaut. Ziel ist, die Exportmengen von 2005 bis 2010 zu verdoppeln. Ergänzend wurde im Jahr 2005 eine brasilianische Biodieselstrategie vorgelegt, um bis zum Jahr 2008 dem fossilen Diesel 2 % Biodiesel beizumischen. Hierzu wird sowohl die Verarbeitung von kostengünstigem Pflanzenöl (Soja- und Palmöl) verfolgt (sogenannter H-Diesel) wie auch die dezentrale Erzeugung von Biodiesel auf der Basis von Rizinusöl (ggf. auch von anderen heimischen Ölpflanzen).

In *Mexiko* wurden bisher keine verbindlichen Bioenergieziele formuliert, aber es werden gute Chancen gesehen, die in Brasilien etablierten Strategien zu übernehmen, allerdings auf Basis einer weniger entwickelten Landwirtschaft.

In *Indien* bestehen energiepolitische Zielvorgaben für den Kraftstoffbereich. Als Entwicklungsziele werden Versorgungssicherheit, Reduzierung der Exportausgaben, Armutsbekämpfung und die Reduzierung von Umwelt- und Gesundheitsproblemen genannt. Ausgehend von Verbrauchssteigerungen an Rohöl von nahezu 100 % für den Zeitraum 2001 bis 2007 wurde als Ziel eine Substitution von Diesel durch Biodiesel um 20 % und eine Substitution von Benzin durch Bioethanol um 5 bis 10 % beschlossen. Im Rahmen der »National Mission on Biodiesel« ist die Bereitstellung von 13 Mio. t Biodiesel/Jahr geplant, wobei substantielle Förderungen von internationalen Fonds für Armutsbekämpfung und globalen Umweltschutz erwartet werden.

Chinas Energiepolitik ist von Bemühungen um die sichere Deckung der schnell wachsenden Energienachfrage geprägt, sowohl im Strom- als auch im Kraftstoffbereich. Ziel der 2002 verabschiedeten Bioethanolstrategie ist eine Minderung der lokalen Verkehrsemissionen. Hierzu soll zunächst in ausgewählten Städten eine 10%ige Beimischung von Bioethanol in Benzin erreicht werden (E10-Strategie). Das Bioethanol wird überwiegend aus heimischen Rohstoffen –

insbesondere Mais – hergestellt, wobei die Produktionskosten dabei deutlich über denen von Brasilien oder den USA liegen (Koizumi/Ohga 2007).

Malaysia strebt in Bezug auf Biomassenutzung einerseits eine Verbesserung der Versorgungssicherheit durch die Mobilisierung der heimischen Ressourcen und der Entwicklung lokaler Technologien zur Energieversorgung von Industrie und Gewerbe an. Andererseits wird der Ausbau der heimischen Agrarproduktion mit dem Ziel eines zunehmenden Biodieselexportes verfolgt. Der erwartete Biodieselbedarf der EU nimmt dabei eine wichtige Rolle ein. Die nationale Biokraftstoffstrategie von 2005 unterstützt die Etablierung und Standardisierung von B5-Mischungen (5 % Biodiesel fossilem Diesel beigemischt) auf der Basis von Palmöl, die auf dem heimischen Markt abgesetzt, aber doch Exportqualität aufweisen sollen. Mittelfristig soll dieser Anteil gesteigert werden. Mit staatlicher Unterstützung wurden bereits Produktionskapazitäten von gegenwärtig ca. 2,6 Mio. Jahrestonnen Biodiesel errichtet (entspricht in etwa 500.000 ha Ölpalmplantagenfläche); eine weitere Expansion der Ölpalmplantagenflächen um 2 Mio. ha ist möglich (Koizumi/Ohga 2007).

Indonesien ist nach Malaysia der weltweit zweitgrößte Palmölproduzent mit gegenwärtig deutlichem Produktionsausbau. Gleichzeitig werden hohe staatliche Subventionen verwendet, um die fossilen Kraftstoffe im Land deutlich unter dem Weltmarktpreis zu verteilen. Es besteht ein starkes politisches Interesse am Aufbau nationaler Biodieselproduktionskapazitäten, sowohl zur Deckung der Inlandsnachfrage als auch für den Export, bislang allerdings ohne konkrete Ausbauziele. Der weitere Ausbau des Palmölanbaus in Indonesien ist wegen der kaum regulierten Flächenexpansion in Naturwälder national und international umstritten.

In *Australien* wurden Zielvereinbarungen für Biokraftstoffe getroffen und erste Produktionskapazitäten etabliert. In Anbetracht der großen landwirtschaftlichen Produktionskapazitäten wäre ein gezielter Ausbau des Biokraftstoffbereichs nicht verwunderlich.

AUSBAUZIELE FÜR STROM, WÄRME UND KRAFTSTOFF

1.2.3

Die energetische Nutzung von Biomasse kann in Form von elektrischer Energie, Wärme und Kraftstoff erfolgen. Hierfür sind verschiedene technologische Pfade der Konversion (Kap. II.2.3) einzuschlagen, häufig verbunden mit verschiedenen Graden der Wirtschaftlichkeit in den verschiedenen Nutzungskontexten. Die Situation bei den Ausbauzielen stellt sich in den untersuchten Ländern wie folgt dar (IE 2007, S. 5 ff.):

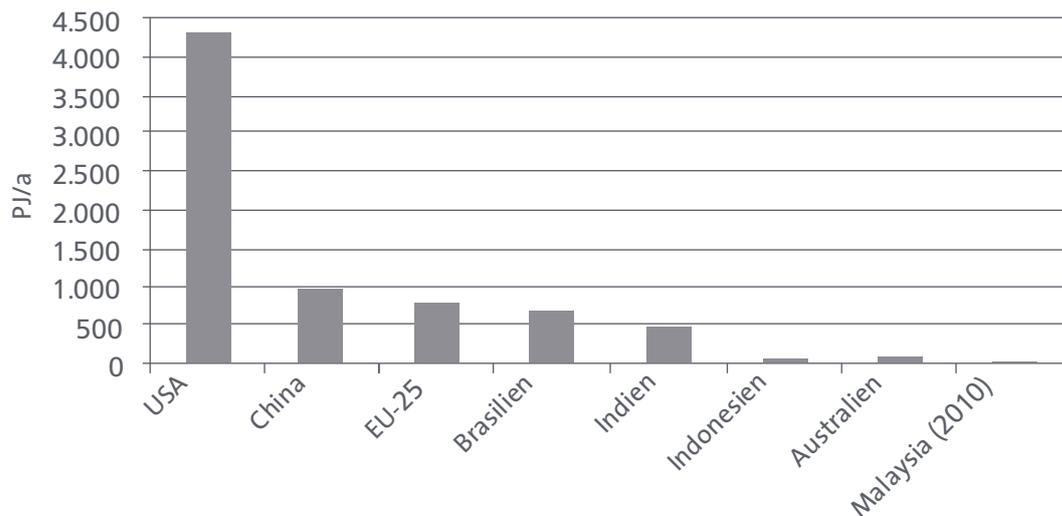
- › Ausbauziele für die *Stromerzeugung* aus erneuerbaren Energien bestehen in fast allen untersuchten Ländern (Tab. 7). Die gesetzten Ziele umfassen in den

III. AUSBAUZIELE UND FÖRDERPOLITIKEN

meisten Ländern auch die Stromerzeugung aus Biomasse, legen aber für diesen spezifischen Teil erneuerbarer Energien keine eigenen Ziele fest. China benennt, als Ausnahme, für das Jahr 2020 eine angestrebte Stromerzeugung aus Biomasse in der Größenordnung von 20.000 MWel.

- › Für die *Wärmeproduktion* bestehen weder auf EU-Ebene oder den einzelnen EU-Mitgliedstaaten noch in den ausgewählten außereuropäischen Ländern Zielvorgaben. Jedoch ist unstrittig, dass z.B. das europäische 20 %-Ziel im Bereich der erneuerbaren Energien nur bei gleichzeitigem Ausbau der regenerativen Wärme – und hier insbesondere aus Biomasse – erreicht werden kann.
- › Zielvorgaben für die Erzeugung von *Biokraftstoffen* sind umfassend formuliert worden. In der EU soll gemäß der Biokraftstoffrichtlinie (s.o.) der Mengenanteil an Biokraftstoffen bis zum Jahr 2010 auf 5,75 % gesteigert werden. Mit Ausnahme von Deutschland und Frankreich, welche für das Zieljahr 2010 ein Richtziel von 6,75 bzw. 7 % Biokraftstoffanteil am Kraftstoffmix festgelegt haben, liegen die Zielvorgaben aller anderen EU-Mitgliedstaaten darunter. In den ausgewählten außereuropäischen Ländern befindet sich – mit Ausnahme von Brasilien und den USA – der Markt der Biokraftstoffproduktion erst im Aufbau. Die Zielwerte fallen in den verschiedenen Ländern sehr unterschiedlich aus, wobei Brasilien, China, Indien und die USA die ehrgeizigsten Mengenziele festgelegt haben (Abb. 19). Demnach planen die USA einen Mengeneinsatz, der die Summe der übrigen betrachteten Länder übersteigt. Über die Herkunft der Biokraftstoffe werden generell nur vergleichsweise unkonkrete Angaben gemacht.

ABB. 19 KRAFTSTOFFZIELE DER BETRACHTETEN LÄNDER BIS 2015/2020



Quelle: IE 2007, S.10

TAB. 7 ZIELVORGABEN FÜR ERNEUERBAREN STROM UND ANTEIL DER ERNEUERBAREN STROMERZEUGUNG AM BRUTTOSTROMVERBRAUCH IN EU-25 UND AUSGEWÄHLTEN AUßEREUROPÄISCHEN LÄNDERN

| EU-25 | EE Strom 2004 13,7% | Stromziele 21 % (2010) |
|-----------------------|--|---|
| Belgien | 2,1 % | 6% (2010), unterschiedliche Zielvorgaben in Wallonien, Flandern, Brüssel |
| Dänemark | 27,0% | 29% (2010) |
| Deutschland | 9,7% | 12,5% (2010), 30% (2030), 50% (2050) |
| Estland | 0,5% | 5,1% (2010) |
| Finnland | 28,3% | 31,5% (2010) |
| Frankreich | 12,8% | 21% (2010) |
| Griechenland | 9,5% | 20,1% (2010) |
| Großbritannien | 3,7% | 10% (2010), 20% (2020) |
| Irland | 5,1% | 13,2% (2010) |
| Italien | 15,9% | 25% (2010) |
| Lettland | 46,6% | 49,3% (2010)* |
| Litauen | 3,5% | 7% (2010) |
| Luxemburg | 3,2% | 5,7% (2010) |
| Malta | 0,0% | 5% (2010) |
| Niederlande | 5,7% | 9% (2010), 17% (2020) |
| Österreich | 58,8% | 78,1% (2010) |
| Polen | 2,1% | 7,5% (2010) |
| Portugal | 24,4% | 39% (2010) |
| Schweden | 46% | 60% (2010), 17% sollen nicht aus großen Wasserkraftanlagen stammen |
| Slowakei | 14,1% | 31% (2010) |
| Slowenien | 29,1% | 33,6% (2010) |
| Spanien | 18,4% | 29,4% (2010) |
| Tschechische Republik | 4,0% | 8% (2010) |
| Ungarn | 2,3% | 3,6% (2010) |
| Zypern | 0,0% | 6% (2010) |
| Australien | 7,8% (davon 85% aus Wasserkraft) | 9,5 TWh bzw. 3,8% (2010)*, 10% (2016) |
| Brasilien | 86,2% (davon 95% aus Wasserkraft) | Installation von 3.300 MW zusätzlicher Kraftwerksleistung (2016), 10% aus Wind, Biomasse und kl. Wasserkraft (2022) |
| China | 39.336 MD _{el} aus EE (ohne Biomasse), 16,2% (davon 95% aus Wasserkraft) | 10% (2010)*, 16% (2020)*, 20.000 MW _{el} aus Biomasse (2020) |



III. AUSBAUZIELE UND FÖRDERPOLITIKEN

| | | |
|------------|--|--|
| Indien | 13,5% (davon 5% aus Wasserkraft) | 8% (10.000 MW _{el}) (2012)* |
| Indonesien | 13,6% (davon 60% aus Wasserkraft und 40% aus Geothermie) | – |
| Malaysia | 7% (100% aus Wasserkraft) | 5% (2005)*, 10% (2010) |
| Mexiko | 15,3% (davon 60% Wasserkraft) | 8% (2012) ohne große Wasserkraft |
| USA | 9% (davon 75% aus Wasserkraft) | unterschiedliche Zielvorgaben für einzel- ne Bundesstaaten, Beispiel Staat New York 25% (2013) |

* widersprüchliche Angaben aus unterschiedlichen Quellen

Quelle: IE 2007, S. 8

Zusätzlich zu den Ausbauzielen der erneuerbaren Energien werden in einigen Ländern auch Ausbauziele für den Energiepflanzenanbau genannt (Tab. 8). Diese sind eng mit der jeweiligen nationalen Agrarpolitik verbunden.

TAB. 8 ANBAUZIELE FÜR ENERGIEPFLANZEN

| Land | Anbauziele für Energiepflanzen (in 1.000 ha/a) |
|----------------|--|
| Großbritannien | 60 (kurzfristig) |
| Irland | 1,4 (kurzfristig) |
| Indien | 11.000 (bis 2011/2012) |

Quelle: IE 2007, S. 65

AGRARPOLITISCHE RAHMENBEDINGUNGEN

1.3

Da die agrarpolitischen Rahmenbedingungen am Anfang der Produktionskette ansetzen und damit die Wettbewerbsfähigkeit des Energiepflanzenanbaus gegenüber anderen Flächennutzungen maßgeblich beeinflussen können, wird diesen besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

International wurde die bisherige Entwicklung der Agrarpolitik vornehmlich durch die Vereinbarungen der Uruguay-Runde des allgemeinen Zoll- und Handelsabkommen (GATT) und durch die Ergebnisse der Ministerkonferenz der



Welthandelsorganisation (WTO) in Doha im Jahr 2006 bestimmt. Die Verhandlungen haben einen Abbau der inländischen Stützung, eine Reduktion der Exportsubventionen und eine Marktöffnung gegenüber Drittländern zum Ziel.

Seit Ende der 1980er Jahre versucht die EU, die Überproduktion im Agrarsektor u. a. durch Flächenstilllegungen zu reduzieren. Als Ergebnis der Agrarverhandlungen 1992 musste die Landwirtschaft in der EU zunächst 15 % und später 10 % der Ackerfläche zur Reduzierung der Überschüsse im Getreidebereich stilllegen. Dieses Flächenpotenzial stand bzw. steht jedoch für die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen zur Verfügung. Der Biokraftstoffmarkt war in diesem Zusammenhang ein attraktiver Markt. Aktuell ist die obligatorische Flächenstilllegung für ein Jahr ausgesetzt worden.

Die letzte grundlegende Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) ist 2003 erfolgt. Die Kernelemente sind

- › Entkoppelung der Direktzahlungen,
- › Cross Compliance und
- › obligatorische Modulation.

Mit der *Entkoppelung der Direktzahlungen* wird seit 2004 das komplexe System produktionsgebundener Direktzahlungen durch betriebsbezogene Zahlungen ersetzt. Die entkoppelte Betriebsprämie beträgt durchschnittlich etwa 300 Euro/ha. Dabei besteht keine Bindung zwischen Kulturart und Flächenprämie, sodass der Landwirt praktisch frei in der Entscheidung ist, welche Kulturarten für welchen Verwendungszweck angebaut werden. Die Flächenstilllegungspflicht wurde (zumindest vorerst) in die neue einheitliche Betriebsprämienregelung übernommen. Der Anbau von Energiepflanzen auf Stilllegungsflächen ist daher weiter zulässig, sofern der Landwirt die Gewähr dafür bietet, dass die Biomasse stofflich oder energetisch verwendet wird.

Mit *Cross Compliance* wurde zusätzlich eine Bindung der Prämienzahlung an die Einhaltung bestimmter Standards definiert. Bei Nichteinhaltung dieser auf EU-Ebene bereits existierenden Standards werden die Direktzahlungen gekürzt oder bei vorsätzlichen Verstößen im Extremfall vollständig einbehalten. Des Weiteren müssen die EU-Mitgliedstaaten sicherstellen, dass der Anteil des Dauergrünlands an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche gegenüber dem Verhältnis, das im Jahr 2003 festgestellt wurde, nicht erheblich abnimmt.

Neben der Neugestaltung der Marktordnung (»erste Säule«) sollen außerdem Maßnahmen der ländlichen Entwicklung (»zweite Säule«) zukünftig finanziell stärker unterstützt werden. Dazu ist ab 2005 eine verpflichtende *Modulation* (d. h. eine Kürzung der Direktzahlungen) eingeführt worden, wobei die Modulationsmittel Maßnahmen der ländlichen Entwicklung zugute kommen sollen.



III. AUSBAUZIELE UND FÖRDERPOLITIKEN

Realistischerweise ist nicht davon auszugehen, dass die Flächenprämien weiter erhöht werden; eher ist eine Senkung wahrscheinlich. Unter Berücksichtigung der gestiegenen Flächenkonkurrenz und der starken Nachfrage nach landwirtschaftlichen Nutzflächen könnte die Flächenprämie zukünftig möglicherweise sogar völlig entfallen oder degressiv gestaffelt werden. Dann müssen, um das jetzige Einkommensniveau in der Landwirtschaft zu halten, die Agrarpreise entsprechend steigen.

Durch die Einführung einer Energiepflanzenprämie (Kap. III.2) mit der letzten GAP-Reform von 45 Euro/ha (in der EU auf 1,5 Mio. ha limitiert) wird der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen zur energetischen Verwertung auf Basisflächen (also Nichtstilllegungsflächen) zusätzlich gefördert. Damit wird aus agrarpolitischer Sicht die Konkurrenzfähigkeit des Energiepflanzenanbaus gegenüber der Nahrungs- und Futtermittelproduktion auf Basisflächen gestärkt.

WIRTSCHAFTS-, STRUKTUR- UND REGIONALPOLITIK

1.4

Auch Rahmenbedingungen aus den Bereichen der Wirtschafts-, Umwelt- sowie Struktur- und Regionalpolitik haben direkt oder indirekt Einfluss auf die Gestaltung des Ausbaus der Bioenergie in Europa. Hierzu zählt beispielsweise die im März 2000 auf einem Sondergipfel der europäischen Staats- und Regierungschefs in Lissabon verabschiedete *Lissabon-Strategie* für Wachstum und Beschäftigung. Ziel des Programms ist es, die Europäische Union bis zum Jahre 2010 zum wettbewerbsfähigsten und dynamischsten wissensbasierten Wirtschaftsraum der Welt zu entwickeln. Mit dieser Strategie will die EU »im Rahmen des globalen Ziels der nachhaltigen Entwicklung ein Vorbild für den wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Fortschritt in der Welt sein«.

Beim Gipfel des Europäischen Rates in Göteborg 2001 zur Nachhaltigkeit wurden die Zielsetzungen der Lissabon-Strategie zu »wirtschaftlicher Wettbewerbsfähigkeit« und »sozialem Zusammenhalt« um die dritte Säule »Umwelt und nachhaltige Entwicklung« ergänzt (sogenannte *Göteborg-Strategie*). Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch sollen voneinander abgekoppelt werden. Hierdurch soll eine neue Welle technologischer Innovationen und Investitionen ausgelöst werden. Die Industrie ist aufgefordert, sich an der Entwicklung und verstärkten Nutzung von umweltfreundlichen Technologien zu beteiligen.

Die *Struktur- und Regionalpolitik der Europäischen Union* soll der Festigung des wirtschaftlichen und sozialen Zusammenhalts in der Gemeinschaft dienen und dabei insbesondere Wachstum und Beschäftigung in den unterentwickelten Regionen fördern. Ziele sind vor allem die Entwicklung und strukturelle Anpassung von Regionen mit Entwicklungsrückstand sowie die wirtschaftliche und soziale Umstellung von Gebieten mit Strukturproblemen. Diese Ziele werden auf

regionaler Ebene überwiegend aus dem Europäischen Sozialfonds, dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und der für die Entwicklung des ländlichen Raumes zuständigen Abteilung des Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft gefördert. Diesen Fonds wurden für den Zeitraum 2000 bis 2006 rund 213 Mrd. Euro bereitgestellt, was etwa einem Drittel der gesamten EU-Ausgaben in diesem Zeitraum entspricht. Diese Summe macht die erhebliche Steuerungswirkung dieser Maßnahmen deutlich.

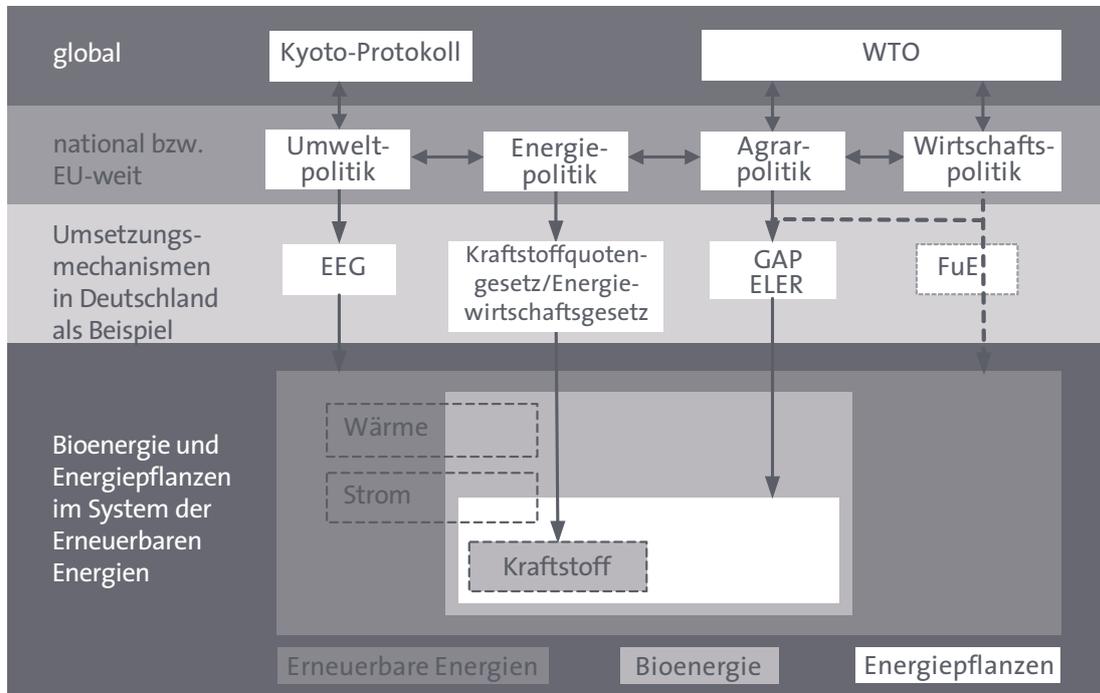
GESAMTHEIT FÖRDERPOLITISCHER RAHMENBEDINGUNGEN 1.5

Die genannten Politikfelder der Umwelt-, Energie-, Agrar-, Wirtschafts- und Regionalpolitik operieren mit verschiedenen, nicht immer kompatiblen Zielsetzungen. Auch ist die Verankerung und Ausrichtung dieser Ziele in den Politiken der betrachteten Länder unterschiedlich stark ausgeprägt. Einige Beispiele zur gegenwärtigen Situation:

- › Der energiepolitische Aspekt der Versorgungssicherheit hat in allen betrachteten Ländern eine sehr hohe Bedeutung, während klimapolitische Aspekte vor allem in der Europäischen Union formuliert und mit entsprechenden Instrumenten ausgestattet wurden.
- › Gesundheitsaspekte spielen nur in Entwicklungs- und Schwellenländern eine große Rolle, dort wegen der gesundheitsschädlichen Innenraumbelastung aufgrund von Kochen oder Heizen mit traditioneller Biomasse.
- › Agrar- und wirtschaftspolitische Aspekte der Bioenergieförderung finden sich in allen betrachteten Ländern, jedoch mit unterschiedlichen Zielausrichtungen (z.B. Armutsbekämpfung in Indien, Technologieentwicklung in den Industrienationen).
- › Wirtschaftspolitisch spielt der Export von Rohstoffen (eben auch Biomasse) eine Rolle in Entwicklungs- und Schwellenländern, während in den Industrieländern dem Export von Technologien eine größere Rolle zukommt.

Das Zusammenwirken von Umwelt-, Energie-, Agrar- und Wirtschaftspolitik führt zu einer komplexen Mischung verschiedener und nicht immer vereinbarter Rahmenbedingungen der Energiepflanzennutzung und ihrer Förderung. In Abbildung 20 sind die Ansatzpunkte der unterschiedlichen Politiken zu »Bioenergie« und »Energiepflanzen« im Kontext der erneuerbaren Energien sowie die Umsetzungsinstrumente beispielhaft für Deutschland dargestellt.

ABB. 20 EINFLUSS INTERNATIONALER, EUROPÄISCHER UND NATIONALER POLITIKEN AUF BIOENERGIE- UND ENERGIEPFLANZENNUTZUNG



Quelle: IE 2007, S.56

FÖRDERPOLITIKEN

2.

Im Jahre 2004 lag der Anteil an erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch in der EU-25 bei 6,3 %. Einen Anteil von über 20 % erneuerbaren Energien erzielten in 2004 nur Finnland, Lettland, Österreich und Schweden, wo in großem Umfang Wasserkraft genutzt wird. Auch in außereuropäischen Ländern mit einem Anteil an erneuerbaren Energien im zweistelligen Bereich stammt dieser vorwiegend aus Wasserkraft (Kap. II.1). Um die genannten Ausbauziele des Anteils der Erneuerbaren zu erreichen, sind daher erhebliche Anstrengungen erforderlich. Dabei besteht Konsens, dass der Nutzung von Biomasse eine zentrale Bedeutung zukommt – und, da biogene Reststoffe nur begrenzt verfügbar sind, damit auch den Energiepflanzen. Da sich eine Reihe von Technologien noch in der Entwicklung und Erprobung befindet und daher noch erhöhte Risiken bei der Umsetzung und teilweise darüber hinaus auch noch erhöhte Kosten bestehen, herrscht weitgehender Konsens, dass förderpolitische Maßnahmen zur Erreichung der Ziele notwendig sind. Im Folgenden wird ein Überblick über die eingesetzten Förderinstrumente (Kap. III.2.1) und ihre momentane Ausgestaltung (Kap. III.2.2) gegeben.

FÖRDERINSTRUMENTE

2.1

Die Nutzung erneuerbarer Energien wird gegenwärtig durch unterschiedliche Instrumente gefördert: Einspeisevergütung, Investitionsförderung, Steuervergünstigung sowie Ausschreibungs- bzw. Vergabesystem. Darüber hinaus gibt es Mischformen und Kombinationen mit steuerlichen Anreizen.

EINSPEISEVERGÜTUNG

2.1.1

Die Einspeisevergütung garantiert dem Erzeuger erneuerbarer Energien die Abnahme der Energie zu einem Festpreis. Sie ist für Strom aus erneuerbaren Energien das in den meisten EU-Mitgliedstaaten genutzte Förderinstrument (Tab. 9). Die Mehrkosten dieses Systems werden direkt über einen Aufschlag auf den Strompreis an die Energieverbraucher weitergegeben oder indirekt über Subventionen getragen. Die Biomasseverordnung regelt den Anwendungsbereich des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG), z.B. in Bezug auf die Fragen, welche Stoffe als Biomasse gelten, welche technischen Verfahren zur Stromerzeugung aus Biomasse in den Anwendungsbereich des Gesetzes fallen und welche Umwelanforderungen bei der Erzeugung von Strom aus Biomasse einzuhalten sind.

Das Instrument der Einspeisevergütung kann in vielfältiger Weise ausgestaltet werden. Die *Vergütungsstrukturen des deutschen Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG)*, das im Folgenden als Beispiel vorgestellt wird, sind auch für die Stromerzeugung aus Biomasse relevant. Die dort vorgesehene Vergütung für ins Netz eingespeisten Strom auf der Basis von Biomasse setzt sich aus einer Mindestvergütung sowie einem möglichen *zusätzlichen* Brennstoff-, KWK- und Technologiebonus zusammen. Die Boni sollen die Mehrkosten der jeweiligen Nutzungsoptionen ausgleichen, d.h. erhöhte Investitionskosten für innovative Technologien (Technologiebonus), Aufbau von Infrastruktur zur Wärmenutzung (KWK-Bonus) und Anbau der Rohstoffe (Brennstoff- bzw. Nawaro-Bonus). Während die Mindestvergütung für 20 Jahre gezahlt wird, ist für den Erhalt des Nawaro- und KWK-Bonus ein regelmäßiger Nachweis zu führen (zu der Höhe der aktuellen Vergütungen s.a. Tab. 10).

- › *Mindestvergütung*: Der im Inbetriebnahmejahr geltende Mindestvergütungssatz wird über den gesamten Vergütungszeitraum in unveränderter Höhe gewährt. Die Höhe der Vergütung hängt von der Leistung der Anlage ab. Die Mindestvergütungssätze werden jeweils zu Jahresbeginn für neu in Betrieb genommene Anlagen um 1,5 % abgesenkt.
- › Ein *Brennstoffbonus* (auch Nawaro-Bonus genannt) wird beim ausschließlichen Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen aus Land- und Forstwirtschaft, Gartenbau, Landschaftspflege und/oder Gülle gewährt.



III. AUSBAUZIELE UND FÖRDERPOLITIKEN

TAB. 9 STAND DER FÖRDERPOLITIKEN ZU ERNEUERBAREN STROM

| | Einspeise- vergütung | Investitions- förderung | Steuer- vergünst. | Ausschreib./ Vergabe | Quoten/ Zertifikate |
|--|-------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| Belgien | | X | X | | X |
| Dänemark | X | X | | | |
| Deutschland | X | X | | | |
| Estland | X | | | | |
| Finnland | | X | X | | |
| Frankreich | X | X | | X | |
| Griechenland | X | X | X | | |
| Großbritannien | | X | X | | X |
| Irland | X | | X | | |
| Italien | | | | | X |
| Lettland | X | | | | |
| Litauen | X | X | | | |
| Luxemburg | X | X | X | | |
| Malta | X | | X | | |
| Niederlande | X | X | X | | X |
| Österreich | X | X | X | | |
| Polen | | X | | | X |
| Portugal | X | X | X | | |
| Schweden | | X | X | | X |
| Slowakei | X | X | | | |
| Slowenien | X | X | | | |
| Spanien | X | X | | | |
| Tschechische Rep. | X | X | X | | |
| Ungarn | X | X | | | |
| Zypern | X | X | | | |
| Bulgarien | X | | | | |
| Rumänien | | | | | X |
| <i>ausgewählte außereuropäische Länder</i> | | | | | |
| Australien | | X | X | | |
| Brasilien | | | | | |
| China | X | X | X | | X ¹ |
| Indien | | X | | | |
| Indonesien | X | | | | |
| Malaysia | | | | | |
| Mexiko | X | | X | | |
| USA | X | X | X | | X ¹ |

1 nur in ausgewählten Provinzen bzw. Bundesstaaten

Quelle: IE 2007, S. 75

- › Der *KWK-Bonus* wird gezahlt, wenn es sich um Strom im Sinne des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes handelt. Es muss also Nutzwärme außerhalb der Anlage für die Raumheizung, die Warmwasserbereitung, die Kälteerzeugung oder als Prozesswärme verwendet werden. Zusätzlich gibt es einen *Technologiebonus*, wenn bestimmte, im Gesetz genannte technische Verfahren zum Einsatz kommen. Damit sollen innovative technische Verfahren unterstützt werden.

TAB. 10 VERGÜTUNG NACH EEG FÜR STROM AUS BIOMASSE (CT/KWH)

| Größe | Grundvergütung | Brennstoffbonus | | | KWK-Bonus | Technologiebonus |
|------------|----------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|-----------|------------------|
| | | Biogas | feste Biomasse (Holz) | feste Biomasse (Nichtholz) | | |
| bis 150 kW | 10,99 | 6 | 6 | 6 | 2 | 2 |
| bis 500 kW | 9,46 | 6 | 6 | 6 | 2 | 2 |
| bis 5 MW | 8,51 | 4 | 2,5 | 4 | 2 | 2 |
| ab 5 MW | 8,03 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |

Quelle: IE 2007, S.68

Die Anbindung der Vergütung an bestimmte Rohstoffe und eine Staffelung nach Leistungsklassen der Anlagen findet sich auch in vielen anderen europäischen Einspeiseregulungen. In Frankreich wird über die hier genannten Elemente hinaus ein Effizienzbonus gewährt, wenn Anlagen einen definierten Wirkungsgrad überschreiten. In Dänemark und zum Teil in Spanien wird als Variante des Einspeisetarifsystems eine Festprämienregelung angewandt. Dabei legt die Regierung eine Prämie fest, die zusätzlich zum normalen oder ortsüblichen Strompreis an EE-Stromerzeuger zu zahlen ist.

INVESTITIONSFÖRDERUNG UND STEUERVERGÜNSTIGUNG 2.1.2

Investitionsförderungen sind finanzielle Anreize, um trotz eines hohen Startkapitals und noch nicht voller Wirtschaftlichkeit den Einstieg in die energetische Biomassenutzung zu erleichtern. Sie beträgt gewöhnlich zwischen 20 und 50 %, in einigen Ländern auch bis zu 100 % der Investitionskosten.

Auch Darlehen mit einem geringen Zinssatz werden als Investitionsförderung betrachtet, ebenso wie unterschiedliche Formen der Steuervergünstigung oder Steuerbefreiung. Steuerbefreiungen oder -ermäßigungen beziehen sich in der Regel auf eine allgemeine Energiesteuer, spezielle Emissionssteuern oder auf die Mehrwertsteuer. Gewährte Steuervergünstigungen sollten die Mehrkosten durch die Bereitstellung erneuerbarer Energien nicht überkompensieren.



Investitionsförderungen können entlang der ganzen Kette der Energieerzeugung erfolgen: für den Energiepflanzenanbau, für die Biomassebereitstellung und Logistik (z.B. Biomassehöfe), für Konversionsanlagen zur Wärme-, Strom- und Kraftstoffbereitstellung oder für Verteilungsstrukturen (z.B. Biogaseinspeisung, Aufbau von Wärmenetzen).

AUSSCHREIBUNGS- BZW. VERGABESYSTEM

2.1.3

Im Rahmen des Ausschreibungs- bzw. Vergabesystems oder auch NFFO (Non Fossil Fuels Obligation) kann der Staat Aufträge über die Lieferung von erneuerbaren Energien vergeben. Dabei stehen die potenziellen Investoren innerhalb der unterschiedlichen Kategorien (Wind, Wasser, Biomasse etc.) im direkten Wettbewerb zueinander. Der Auftrag wird an das Angebot mit dem günstigsten Preis vergeben. Der Zuschlag für ein Angebot ist mit der Verpflichtung verbunden, eine festgelegte Menge erneuerbarer Energie zu dem auf Vertragsbasis vereinbarten Preis zu liefern. Die Differenz aus dem festgelegten Preis und dem marktüblichen Preis wird durch eine spezielle Umlage an den Endverbraucher weitergegeben. Da in jeder Bieterunde das kostengünstigste Angebot den Zuschlag erhält, werden die durch die Nutzung erneuerbarer Energien zusätzlich verursachten Kosten so gering wie möglich gehalten.

Dabei werden die Marktkräfte zwar theoretisch optimal genutzt, jedoch ist durch die ausschreibungsbedingten Unterbrechungen keine Stabilität gegeben. Außerdem besteht bei diesem System das Risiko, dass zu niedrig angesetzte Angebote dazu führen, dass Projekte nicht umgesetzt werden.

QUOTENREGELUNG

2.1.4

Quotenregelungen sind regulatorische Maßnahmen, die zum einen häufig im Zusammenhang mit Fördermaßnahmen eingesetzt werden, und die zum anderen die Kreativität von Märkten in der Suche nach den effizientesten Strategien nutzen.

Durch Quotenregelungen soll erreicht werden, dass Mindestanteile an der Energieerzeugung durch erneuerbare Energien bereitgestellt werden. Staatlicherseits werden hierzu Rahmenbedingungen vorgegeben, innerhalb derer der Markt einen festgelegten Anteil (eine Quote) erneuerbarer Energien erzeugen, verkaufen oder vertreiben muss. Die Quotenregelung kann durch Investitionsförderungen (Großbritannien), im Rahmen der Einspeisevergütung (Niederlande) oder mit Steuervergünstigungen (Deutschland) unterstützt werden. Der Markt ist selbst für die Erfüllung der Quote verantwortlich. Der Staat kontrolliert lediglich den Nachweis der Quotenreichung und bei Nichteinhaltung sind in der Regel erhebliche Strafzahlungen zu leisten. Die Mehrkosten werden an Verbraucher weitergegeben.

Die *Quotenregelung kombiniert mit Zertifikathandel* hat für die Stromerzeugung eine große Bedeutung. Bei der mit »grünen« Zertifikaten arbeitenden Regelung, wie sie derzeit z.B. in Schweden, Italien, Polen und Rumänien besteht, wird EE-Strom zu den üblichen Strommarktpreisen verkauft. Zur Deckung der Mehrkosten für die Erzeugung von regenerativer Elektrizität und um sicherzustellen, dass die gewünschte Menge an EE-Strom produziert wird, werden alle Verbraucher (bzw. in einigen Ländern auch Erzeuger) verpflichtet, eine bestimmte Menge grüner Zertifikate von den EE-Stromerzeugern entsprechend der festgelegten Quote zu erwerben. Geldbußen für die Nichteinhaltung dieser Quoten fließen entweder in einen Fonds für Erforschung, Entwicklung und Demonstration von erneuerbaren Energieträgern oder in den Staatshaushalt. Da die Verbraucher bzw. Erzeuger diese Zertifikate so günstig wie möglich kaufen möchten, entwickelt sich ein sekundärer Markt für Zertifikate, auf dem EE-Stromerzeuger beim Verkauf der grünen Zertifikate konkurrieren. Grüne Zertifikate zählen damit zu den marktgestützten Instrumenten, die bei gutfunktionierender Regelung zur Wahl der effizientesten Strategie führen können. Dadurch kann theoretisch die Gefahr einer Überförderung verringert werden. Grüne Zertifikate können jedoch ein höheres Risiko für Investoren darstellen und langfristige, zurzeit mit hohen Kosten verbundene Techniken benachteiligen. Außerdem sind damit hohe Verwaltungskosten verbunden.

STAND DER FÖRDERUNG

2.2

So, wie die Ausbauziele getrennt nach Strom, Wärme und Kraftstoff zu betrachten sind, stellt sich auch die Förderung angesichts der unterschiedlichen Technologien, Versorgungsnetze und ökonomischen Verhältnisse jeweils anders dar.

STROM, WÄRME UND KRAFTSTOFFE

2.2.1

In den europäischen Ländern sind meist mehrere Förderinstrumente gleichzeitig etabliert. So wird die Erzeugung von erneuerbarem Strom in der Regel parallel durch zwei bis drei Instrumente gefördert (Tab. 9).

Größte Bedeutung haben Einspeisevergütung und Investitionsförderung, die in 19 bzw. 20 der EU-25-Länder verankert sind. Die durchschnittlichen Vergütungen für Strom aus Biomasse in den europäischen Ländern sind in Abbildung 21 aufgeführt.

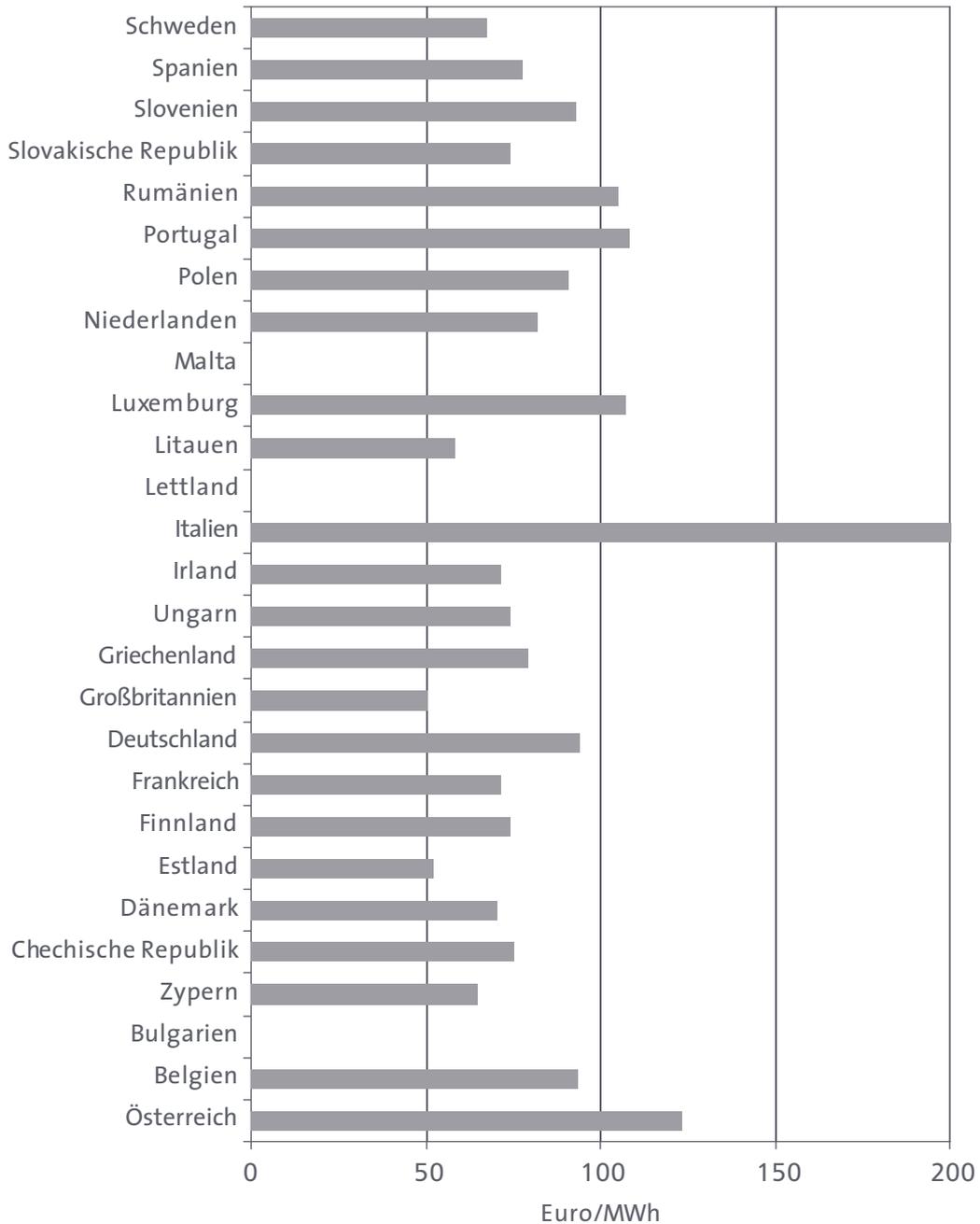
Die Steuervergünstigung stellt dagegen nur für elf EU-Länder das gewählte Förderungsinstrument dar und wird in diesen Ländern meist neben einer Einspeisevergütung und/oder einer Form der Investitionsförderung angewendet. Die Quotenregelung wurde dagegen als relativ neues Instrument erst in wenigen EU-Ländern eingeführt und ist üblicherweise direkt mit dem Zertifikathandel ver-



III. AUSBAUZIELE UND FÖRDERPOLITIKEN

knüpft (Belgien, Großbritannien, Italien, Schweden, Polen, Rumänien). Eine Ausnahme stellen die Niederlande dar, wo das System der grünen Zertifikate direkt mit der Einspeisevergütung verbunden ist.

ABB. 21: DURCHSCHNITTLICHE VERGÜTUNG/PREISE VON STROM AUS BIOMASSE IN DEN EU-25-LÄNDERN



Quelle: IE 2007, S.81

Die *Wärmeerzeugung* wird vielfach über Investitionshilfen und Steuervergünstigungen gefördert. Die Förderung erfolgt auf Landes- bzw. Bundesstaatebene oder teilweise auch in vielfältigen regionalen Programmen, wodurch es erschwert wird, einen vollständigen Überblick zu erhalten. Auch ist zu beachten, dass Wärme aus Biomasse beim gegenwärtigen Preis fossiler Energieträger häufig bereits ohne Förderung wirtschaftlich ist, sodass – anders als bei Strom- oder Kraftstoffen – der Ausbau der Erzeugung nicht allein von der Förderung abhängt.

In der EU werden verschiedene Überlegungen zur Verbesserung der Situation im Wärmebereich angestellt. Hierzu gehören Initiativen für erneuerbare Energien zu Heiz- und Kühlanwendungen oder zur besseren Ausnutzung des Potenzials moderner Biomasseheizungen, Verpflichtung von Heizöl- und Gaslieferanten zur Erweiterung der Produktpalette zum Beispiel von Holzpellets und Biogas. Diskutiert wird auch eine Wärmedirektive, die umweltfreundliche Wärme (moderne Technik, Nahwärmesysteme) aus Holz fördern soll. Schließlich könnten sich auch durch eine klarere Regelung der Einspeisung von biogenen Gasen weitere Effekte auf den Wärmemarkt ergeben.

Kraftstoff aus Biomasse wird überwiegend über Steuerbegünstigungen und Quotensysteme gefördert (Tab. 11). Infolge der sehr dynamischen Entwicklung handelt es sich hierbei allerdings um nicht mehr als eine Momentaufnahme.

Im Kraftstoffbereich sind Effekte der Förderung auf die Stoffströme unmittelbar und rasch zu beobachten. So wurde z.B. in Deutschland durch eine komplette Steuerbefreiung von Biokraftstoffen innerhalb von nur drei Jahren ein Biokraftstoffanteil von über 5 % erreicht (mit entsprechend hohen Steuerausfällen), während dieser Anteil nach Reduktion der Steuerbefreiung innerhalb weniger Monate deutlich zurückging (IE 2007, S. 78). Die entsprechenden Folgen für die Biokraftstoffindustrie sind erheblich, zumal durch derartige Effekte auch die Rohstofflieferanten bzw. Agrarmärkte von den Förderpolitiken in erheblichem Umfang betroffen werden.

In der Europäischen Union wie auch in vielen Mitgliedstaaten werden gegenwärtig sogenannte »Nachhaltigkeitsstandards« diskutiert. Durch diese soll sichergestellt werden, dass die gewünschten Effekte der Biokraftstoffförderung (Klimaschutz, Ressourcenschutz und Entwicklungsperspektiven entlang der Bereitstellungskette) tatsächlich erreicht werden und negative Nebeneffekte möglichst gering bleiben (Kap. V.4). Erste Überlegungen zeigen, dass eine isolierte Betrachtung der Biokraftstoffe bzw. Bioenergieenergieträger zu kurz greift und im internationalen Kontext auch grundsätzliche Fragen von Landnutzung und Landnutzungsrechten aufgeworfen werden (IE 2006b).

Fast alle betrachteten Länder gehen davon aus, dass die gegenwärtig geförderten Kraftstoffe Bioethanol und Biodiesel nur eine Übergangslösung auf dem Weg zu



III. AUSBAUZIELE UND FÖRDERPOLITIKEN

den sogenannten Kraftstoffen der zweiten Generation bilden (wie z.B. synthetische Biokraftstoffe BtL, Ethanol aus Lignocellulose, aber auch Biogas, Kap. II.2.3). In einigen Ländern wird die Entwicklung dieser Kraftstoffe zusätzlich unterstützt, z.B. durch erhöhte Steuerbegünstigungen und Investitionshilfen. Auch die EU erwägt zusätzliche Fördermaßnahmen.

TAB. 11 STAND DER FÖRDERPOLITIKEN ZU BIOKRAFTSTOFFEN

| | Einspeise- vergütung | Investitions- förderung | Steuer- vergünst. | Ausschreib./ Vergabe | Quoten/ Zertifikate |
|--|-------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| Belgien | | | X | | |
| Deutschland | | | X | | X |
| Frankreich | | X | X | | |
| Großbritannien | | | X | | X (ab 2008) |
| Irland | | | X | | |
| Italien | | | X | | |
| Lettland | | | X | | |
| Niederlande | | X | X | | |
| Österreich | | | X | | |
| Portugal | | | X | | X |
| Schweden | | X | X | | |
| Slowakei | | | | | X |
| Slowenien | | X | X | | |
| Spanien | | | X | | |
| Tschechische Rep. | | | X | | |
| Ungarn | | | X | | |
| <i>ausgewählte außereuropäische Länder</i> | | | | | |
| Australien | | | | X | |
| Brasilien | | X | X | | |
| China | | X | X ¹ | | |
| Indien | | X | | | |
| Indonesien | | | X | | |
| USA | | | X | | X |

1 nur in ausgewählten Provinzen bzw. Bundesstaaten

Quelle: IE 2007, S. 79

ENERGIEPFLANZENANBAU

2.2.2

Neben der Strom-, Wärme- und Kraftstoffbereitstellung wird in einigen Ländern auch der Energiepflanzenanbau gezielt gefördert. Dies geschieht z.B. im Rahmen der EU-Agrarpolitik durch Zahlung einer Energiepflanzenprämie, unabhängig vom Verwendungsbereich der Energiepflanzen. Darüber hinaus wird in einigen

EU-Staaten die Etablierung bestimmter, neuer Energiepflanzensysteme für die Strom- und Wärmeerzeugung durch Investitionshilfen unterstützt. Eine spezifische Förderung von mehrjährigen Energiepflanzen besteht in Großbritannien und Irland.

In *Großbritannien* wurde das »Energy Crops Scheme (ECS)« durch das »Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra)« mit einer Laufzeit von 2002 bis 2006 eingerichtet. Für diesen Zeitraum ursprünglich mit einer Summe von 29 Mio. britische Pfund ausgestattet, wurde das Förderprogramm in einer zweiten Stufe mit zusätzlichen 47 Mio. britische Pfund aufgestockt. In der ersten Phase des ECS wurden für die Neuanlage von Kurzumtriebsplantagen (Pappel oder Weide) 1.000 britische Pfund/ha und für die Neuanlage von Miscanthuskulturen 920 britische Pfund/ha gezahlt. Momentan werden die Förderhöhen neu angepasst, die Mittel werden voraussichtlich ab Sommer 2007 abrufbar sein. Damit wird eine Erweiterung der Energiepflanzenfläche um 60.000 ha angestrebt. Für die Inanspruchnahme der Fördermittel muss eine ganze Reihe von Anforderungen erfüllt sein. So darf die angebaute Biomasse ausschließlich in Heizanlagen, Heizkraftwerken oder BHKW verwendet werden, sie darf in Abhängigkeit von der Anlagengröße nicht über bestimmte Höchstdistanzen auf der Straße transportiert werden, es müssen Abnehmerverträge für die Biomassenutzung vorliegen, und es müssen mindestens drei ha Energiepflanzenfläche neu angelegt werden. Weiterhin muss ein 5-Jahres-Vertrag mit dem DEFRA abgeschlossen werden, durch den sich der Antragsteller u.a. verpflichtet, Umweltmindeststandards einzuhalten und die Kultur nach den Richtlinien der DEFRA anzubauen. (DEFRA 2007a, DEFRA 2007b)

In *Irland* hat das »Department of Agriculture and Food« in sehr ähnlicher Form wie Großbritannien einen »BioEnergy Scheme« (BES) für die Neuanlage von Weiden- und Miscanthuskulturen mit einem Mittelvolumen von 8 Mio. Euro aufgelegt, welches zum 6. Februar 2007 in Kraft getreten ist. In der Laufzeit bis 2009 ist das Ziel die Neuanlage von 1.400 ha Weiden- bzw. Miscanthusfläche. Die Förderung beträgt 50 % der Investitionskosten, die bei der Neuanlage einer Kultur entstehen, max. jedoch 1.450 Euro/ha. Zusätzlich wurden 6 Mio. Euro bereitgestellt, um eine Zahlung von 80 Euro/ha für alle Energiepflanzenkulturen bis zum Jahr 2009 zu gewähren, welche zusätzlich zu der EU-Energiepflanzenprämie von 45 Euro/ha erfolgen kann. Die Mindestanbaufläche für Miscanthus- bzw. Weidenkulturen im Sinne des BES muss 4 ha betragen, die max. Größe einer zusammenhängenden Anbaufläche beträgt 20 ha. Pro Antragsteller werden max. 37,5 ha Anbaufläche gefördert. Wesentliche Voraussetzungen sind ein Nachweis über die regionale Verwertung der Biomasse zur Produktion von Energie, eine Mindestnutzung der Kultur von sieben Jahren und die Beachtung der Kulturhinweise in entsprechenden »Best Practice Guidelines«. Nach Aussagen des »Department of Agriculture and Food« vom April 2007 wurden 133



Anträge für die Förderung von Miscanthuskulturen und 17 Anträge für die Förderung von Weidenplantagen eingereicht. Damit dürfte das Ziel der Neuanlage von 1.400 ha Energiepflanzenkultur erreicht werden (DAFF 2007, DCENR 2007).

Eine übergreifende Energiepflanzenförderung (vergleichbar der europäischen Energiepflanzenprämie) konnte für die außereuropäischen Länder nicht ermittelt werden, da die international zugänglichen Informationen in diesem Bereich begrenzt sind. In Indien erfolgt eine Unterstützung des Jatrophaanbaus. Künftig könnten insbesondere die gegenwärtig diskutierten Nachhaltigkeitsstandards für Biokraftstoffe einen entscheidenden Einfluss auf Art und Umfang des Energiepflanzenanbaus haben.

AUSWIRKUNGEN DER FÖRDERPOLITIKEN

3.

Die genannten Fördermaßnahmen sind zumeist erst seit kurzer Zeit in Kraft. Eine Analyse ihrer Folgen in Bezug auf die Erreichung der Ausbauziele oder in Bezug auf andere Effekte kann daher nur mit großer Vorsicht erfolgen. Dies geschieht im Folgenden in Hinblick auf den Beitrag zum Ausbau des Anteils erneuerbarer Energieträger (Kap. III.3.1), auf den Flächenbedarf für Biomasse (Kap. III.3.2), auf Konkurrenzen von Strom, Wärme und Kraftstoffen untereinander (Kap. III.3.3) und auf entstehende Märkte (Kap. III.3.4).

ERHÖHUNG DES ANTEILS ERNEUERBARER ENERGIEN

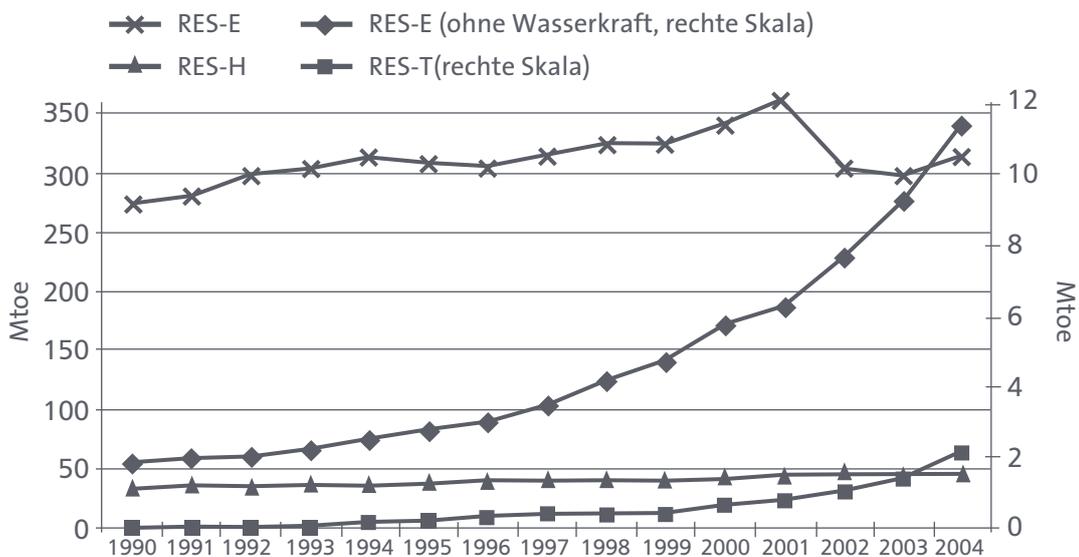
3.1

Auswertungen der Effekte der Förderpolitik beziehen sich zumeist auf die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien allgemein und damit nur indirekt auf den Einsatz von Biomasse. Auch ergeben die vorliegenden Auswertungen kaum Hinweise auf singuläre Effekte einzelner Instrumente oder Fördersätze, sondern zeigen eher die Notwendigkeit des erfolgreichen Zusammenspiels verschiedener Elemente für eine effiziente Förderung auf. Als ein wesentlicher Erfolgsfaktor wird die Risikominimierung gesehen, die zum einen die Kapitalbeschaffungskosten reduziert, zum anderen auch kleinen und mittleren Unternehmen einen Marktzugang ermöglicht. Gerade diese werden zumindest in Europa als Investitionsmotoren verstanden.

Die Entwicklung der Nutzung erneuerbarer Energien in Europa zeigt Abbildung 22. Die Stromerzeugung aus Biomasse spielt bislang eine eher untergeordnete, wenngleich zunehmende Rolle. Die Wärmeerzeugung ist über die Jahre hinweg ungefähr stabil. Hingegen erlebte die Erzeugung von Biokraftstoffen in den vergangenen Jahren in Europa einen erheblichen Boom, der vor allem von Deutschland getragen wurde. Ausgelöst wurde dieser durch eine sehr hohe Steu-

erentlastung bei gleichzeitig hohem Rohölpreis. Ein Großteil der Biokraftstoffe wurde über den Reinkraftstoffmarkt (B100) abgesetzt. Zu Beginn 2007 wurde die Steuerbefreiung reduziert und ein ergänzendes Quotensystem eingeführt, das eine zeitlich gestaffelte Steigerung des Anteils biogener Kraftstoffe am Gesamtkraftstoffverkauf fordert.

ABB. 22 BEITRAG DER ERNEUERBAREN ENERGIEN IM BEREICH STROM (RES-E), TRANSPORT (RES-T) UND WÄRME (RES-H) 1990–2004



Quelle: IE 2007, S.94

Da infolge der reduzierten Steuerbefreiung Biokraftstoffe gegenüber fossilen Kraftstoffen nur noch eingeschränkt wettbewerbsfähig sind, bestehen gegenwärtig große Absatzprobleme für die heimische Biodieselproduktion. Mit den vorhandenen erheblichen Überkapazitäten lassen sich rechnerisch bereits die Ausbauziele für 2010 erfüllen. Eine weitergehende Beurteilung der Effektivität der Kraftstoffförderung ist jedoch gegenwärtig noch nicht möglich.

Da für den Energiepflanzenanbau (mit Ausnahme von Großbritannien und Irland) keine detailliert definierten Ziele bestehen, lässt sich die Effektivität nur eingeschränkt messen. Hinsichtlich der europäischen Energiepflanzenprämie kann festgestellt werden, dass sie ohne zusätzliche Fördermechanismen aus dem Energiebereich (z.B. Steuererleichterung für Biokraftstoffe oder besondere Vergütungen für Strom aus nachwachsenden Rohstoffen) bislang keinen nennenswerten Effekt erzielt (IE 2007, S. 103).

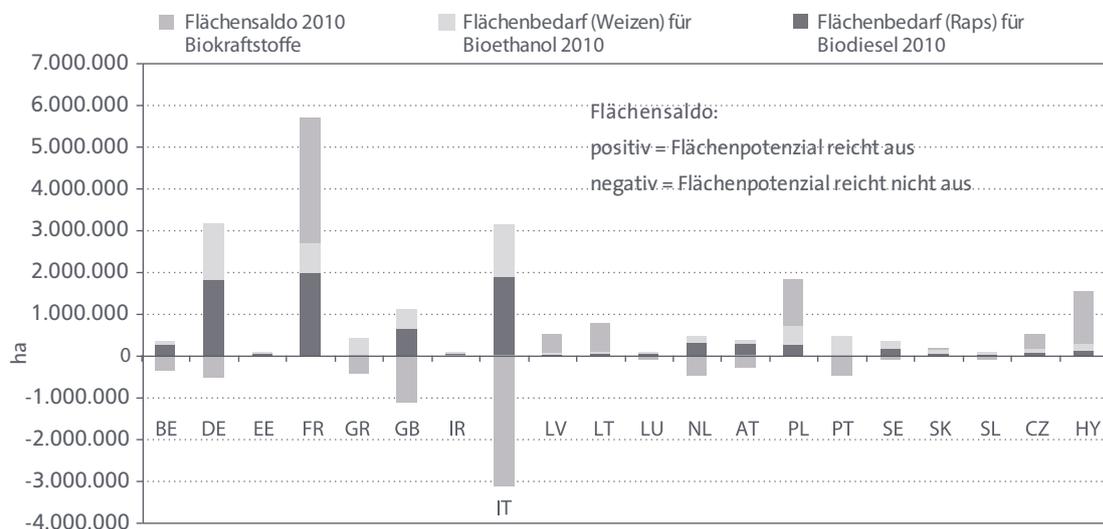
FLÄCHENPOTENZIALE UND FLÄCHENBEDARF

3.2

Die gegenwärtige Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse findet vor allem auf der Basis von Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen statt, für die kein landwirtschaftlicher Flächenbedarf besteht (Altholz, Wald[rest]holz, Gülle, Rückstände der Lebensmittelverarbeitung etc.). Eine Ausnahme bildet der in den letzten Jahren verstärkt realisierte Einsatz von Energiepflanzen zur Stromerzeugung aus Biogas in Deutschland, der einen heimischen Flächenbedarf von etwa 400.000 bis 500.000 ha/a zum Anbau von Biogassubstraten nach sich zieht.

Da sich für die Produktion von Biokraftstoffen über Energiepflanzen nur einige wenige Agrarprodukte eignen und es zudem einen direkten Zusammenhang zwischen Menge und Art des Rohstoffes und der Menge des daraus hergestellten Biokraftstoffs gibt, können direkte Rückschlüsse von anvisierten Produktionsmengen auf die dafür benötigten landwirtschaftlichen Flächen gezogen werden. In Abbildung 23 wird für Europa (d.h. alle EU-Länder mit nationalen Ausbauzielen) der Flächenbedarf für Biokraftstoffe 2010 mit dem Flächenpotenzial (verfügbare Flächen) verglichen. Einen Vergleich für die ausgewählten außereuropäischen Länder zeigt Abbildung 24.

ABB. 23 FLÄCHENBEDARF FÜR BIOKRAFTSTOFFE 2010 (BIODIESELPRODUKTION AUF DER BASIS VON RAPS, ETHANOLPRODUKTION AUS WEIZEN)

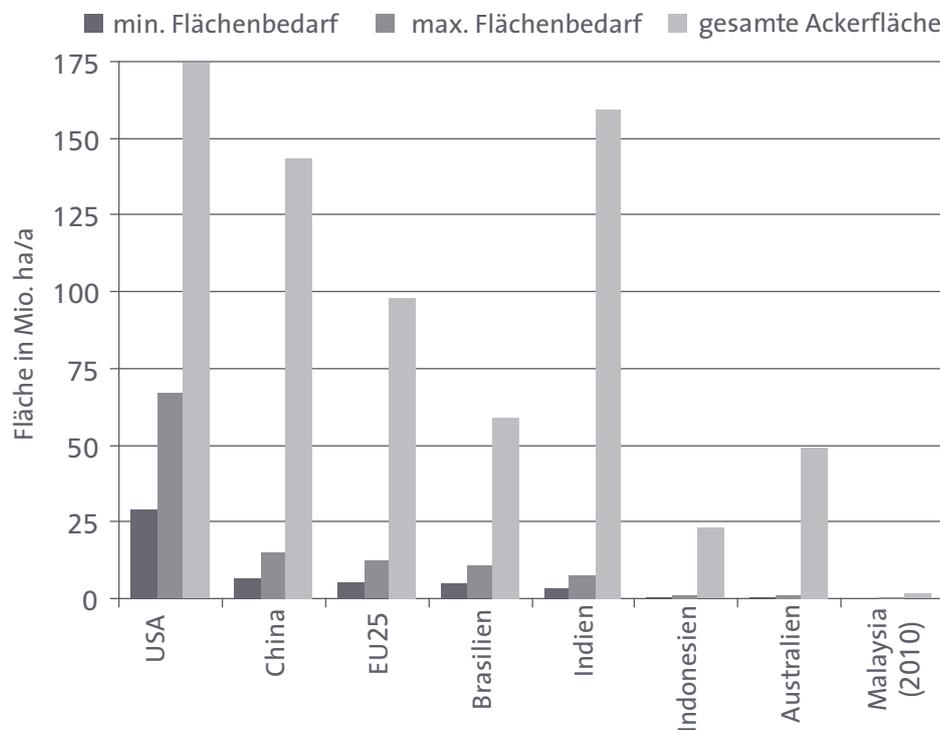


Quelle: IE 2007, S. 16

Das Flächenpotenzial ergibt sich aus nicht mehr benötigten Landwirtschaftsflächen. Es wurde unter der Annahme verschiedener Entwicklungstendenzen, für die Produktivität in der Agrarproduktion, der Bevölkerung, des Nahrungsmittelverbrauches sowie der Verfügbarkeit von festgelegten Flächenstilllegungsflächen,

errechnet. Steigende Produktivität bei stagnierender Nahrungsmittelnachfrage führt in Europa dazu, dass immer weniger Flächen für die Nahrungsmittelversorgung benötigt werden. Zieht man den Flächenbedarf für Biokraftstoffe vom Flächenpotenzial ab, so erhält man das noch übrige Flächenpotenzial (Flächen-saldo). Ist es positiv, bestehen selbst nach Erfüllung der Zielvorgabe noch weitere Potenziale zum Ausbau der Bioenergieproduktion. Ist es negativ, so reicht das Flächenpotenzial nicht aus, die Biokraftstoffzielvorgabe aus eigener Kraft zu erfüllen, und stellt so fehlendes Flächenpotenzial dar (IE 2007, S. 86).

ABB. 24 ABSCHÄTZUNG DES FLÄCHENBEDARFS FÜR DEN ANBAU VON ENERGIEPFLANZEN DURCH BESTEHENDE AUSBAUZIELE FÜR BIOKRAFTSTOFFE IM JAHR 2015/2020 UND VERGLEICH MIT DER JEWEILIGEN GESAMTEN ACKERFLÄCHE



Quelle: IE 2007, S.91

Die reale Entwicklung hingegen unterliegt noch weiteren, hier nichtberücksichtigten Faktoren, wie z.B. dem internationalen Handel mit Agrarprodukten. Dieser Handel führt nicht zu weniger Flächenbedarf, sondern zu einer internationalen Verlagerung von Flächenbedarf. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse in der Abbildung 23 nur als grober Rahmen zu verstehen.

Erste Abschätzungen zeigen, dass in der EU-28 das Flächenpotenzial zumindest dann nicht zur Deckung der Nachfrage für Strom, Wärme und Kraftstoffe aus-



reicht, wenn gleichzeitig ambitionierte Ziele beim Klimaschutz und beim Umwelt- und Naturschutz verfolgt werden (Thrän et al. 2005 u. Kap. IV.2.3).

Für die außereuropäischen Länder ist der *gegenwärtige* Flächenbedarf mit Ausnahme von Brasilien gering. Dies wird sich jedoch rasch ändern, da Indien, China und die USA eine Vervielfachung der Kraftstoffnutzung bis 2020 anstreben. Daher ist es sinnvoll, den allein durch diese Ausbauziele verursachten Flächenbedarf zu berechnen (Abb. 24), der damit eine *Mindestgröße* dargestellt, weil durch Strom- und Wärmenutzung von Biomasse weiterer Flächenbedarf anzunehmen ist. Bei einem künftigen mittleren Kraftstoffenertrag von 1.500 bis 5.000 l/ha (in Abhängigkeit von den unterschiedlich hohen Flächenerträgen der Kulturarten Raps, Soja und Palmöl für Biodiesel und Weizen, Mais, Zuckerrüben und Zuckerrohr für Bioethanol in den verschiedenen Ländern) würde der Flächenbedarf zur Deckung der Kraftstoffziele in den betrachteten Ländern im Jahr 2020 in der Größenordnung von 50 bis 120 Mio. ha/a liegen.

KONKURRENZ VON STROM, WÄRME UND KRAFTSTOFFEN 3.3

Bisher laufen die Bereiche Strom, Wärme und Kraftstoffe am Markt sowie in den Ausbauanstrengungen und Fördermaßnahmen parallel nebeneinander. Die EU sieht dies im Aktionsplan Biomasse als sinnvoll an, da alle Bereiche verschiedene Vorteile aufweisen: der Kraftstoffsektor hat die höchste Beschäftigungsintensität, Strom aus Biomasse erzielt den größten Klimanutzen und Biomasse im Wärmemarkt ist derzeit am wirtschaftlichsten. Wenigstens bis 2010 werde kein bedeutender Wettbewerb um Biomasse als Rohstoff aufkommen, da sich Biokraftstoffe auf die Nutzung landwirtschaftlicher Pflanzen stützen, während Strom und Wärme hauptsächlich aus forstwirtschaftlicher Biomasse und Abfällen erzeugt wird (EC 2005). In der praktischen Umsetzung in den EU-Mitgliedstaaten sind die Erfahrungen jedoch z.T. widersprüchlich.

In *Deutschland* steht dem vorhandenen Potenzial von 1.000 bis 1.300 PJ/a im Jahr 2005 die Nutzung von mindestens 490 PJ/a an Energie aus Biomasse gegenüber. Für einzelne Biomassesortimente (z.B. Altholz, Raps) ist z.T. bereits eine weitgehende Erschließung eingetreten. Als Energiepflanzen werden zurzeit vor allem Raps und Biogassubstrate (d.h. Energiemais) auf einer Fläche von rund 1,2 Mio. ha/a angebaut, was ca. 10 % der deutschen Ackerfläche entspricht (IE 2007, S. 115 f.).

Weiterhin verarbeitet die chemische Industrie gegenwärtig rund 2 Mio. t/a nachwachsende Rohstoffe, von denen ca. die Hälfte importiert und die andere Hälfte in Deutschland auf ca. 0,5 Mio. ha produziert wird. Die Flächen, auf denen stofflich genutzte Biomassen angebaut werden, sind damit deutlich geringer



als die, welche mit energetisch genutzten Pflanzen belegt sind. Sie fokussieren sich aber auf ähnliche Kulturen (z.B. Ölpflanzen).

Unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen ist kurzfristig insbesondere der weitere Ausbau von Bioethanol und Biogas zu erwarten. Die weitere Entwicklung der Wärmenutzung hängt sowohl vom fossilen Energiepreinsniveau (u.a. Preis für leichtes Heizöl) als auch von der Setzung weiterer Anreize (z.B. Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz) ab, die gegenwärtig nur schwer abgeschätzt werden können. Weiterhin ist Biomasse für die voraussichtlich ab 2012 bis 2015 verfügbaren »neuen Technologien« der Biomassevergasung und Aufbereitung zu flüssigen bzw. gasförmigen Sekundärenergieträgern (BtL, Bio-SNG) bereitzustellen. Hierfür wird die verstärkte Etablierung von Kurzumtriebsplantagen erwartet. Auch der Anbau nachwachsender Rohstoffe zur stofflichen Nutzung (TAB 2007) wird zunehmen, wenn auch mit erwarteten 15 % für den Zeitraum 2000 bis 2010 nur vergleichsweise moderat. Die dafür benötigte Ackerfläche beträgt im Jahr 2010 dann etwa 20 % bezogen auf den Flächenbedarf für die energetische Nutzung.

Vor dem Hintergrund wachsender Biomassemärkte – und der damit zunehmenden Potenzialerschließung – ergeben sich notwendigerweise Konkurrenzen, sowohl um Anbauflächen als auch um Biomasse bzw. schließlich um die bereitgestellten Bioenergieträger. Die gegenwärtige Diskussion um Nutzungskonkurrenzen kann wie folgt in die vorangegangenen Untersuchungen eingeordnet werden:

- › Nutzungskonkurrenzen führen nicht zwangsläufig zu einem Mangel an Anbauflächen oder Biomasse. Die Konkurrenzen können vielfältige Reaktionen (u.a. Produktionsausweitung, Importe, Substitutionen, Effizienzgewinne) auslösen, die derzeit schwierig abzuschätzen sind.
- › Da die Nachfrage nach Biomasse und Energiepflanzen durch die staatliche Rahmensetzung forciert wird, hängt es maßgeblich von der Ausgestaltung der Förderpolitiken ab, dass die mit dem Bioenergiemarkt gekoppelten Märkte für Nahrungsmittel, Futtermittel und nachwachsende Rohstoffe zur stofflichen Nutzung (z.B. Holz) nicht nachhaltig gestört und die ausgelösten Preisadjustierungen möglichst gering gehalten werden. Mögliche Preissteigerungen werden voraussichtlich dann gering bleiben, wenn die Nachfragesteigerung (bei der Bioenergie) etwa dem Angebotszuwachs (durch frei werdende Flächen) entspricht.

Die Förderpolitik sollte ein forciertes technisches Lernen ermöglichen und eine möglichst schnelle Entwicklung (energie-)effizienter Systeme unterstützen, damit einerseits die (begrenzt) vorhandene und wertvolle Biomasse möglichst effizient genutzt und andererseits die noch vorhandenen Kostenreduktionspotenziale zügig erschlossen werden können. Dabei ist die Erschließung einer breiten Rohstoffbasis notwendig.



Hinsichtlich der Nutzungskonkurrenzen zum Nahrungsmittelbereich sind erste Abschätzungen verfügbar, die vor allem steigende Agrarpreise vorhersagen. Insgesamt sind Nutzungskonkurrenzen jedoch nur unzureichend untersucht. Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf.

MARKTENTWICKLUNG

3.4

Die Nachfrage nach Biomasse und den daraus gewonnenen Energieträgern kann über einen internationalen Markt überregional gedeckt werden, wenn die Bioenergieträger transportwürdig sind. Geeignete Rohstoffeigenschaften sind insbesondere für holzartige Biomassen und Saaten sowie Biokraftstoffe gegeben, wobei letztere sich infolge der hohen Energiedichte besonders günstig darstellen. Zusammen mit der auf eine überregionale Versorgung ausgelegten Infrastruktur der Kraftstoffproduktion und -verteilung können hier voraussichtlich nicht nur europäische, sondern auch globale Versorgungsstrukturen erwartet werden.

Märkte für Biokraftstoffe haben sich in den letzten Jahren entsprechend weltweit etabliert. Auch wenn die bisherigen Handelsströme eher gering sind, wird doch einhellig ein starker Ausbau dieser Märkte erwartet. Für Bioethanol bestehen Kostenvorteile für Zuckerrohr, während bei der Biodieselproduktion Kostenvorteile für Palmöl erwartet werden.

Damit regt insbesondere der Biokraftstoffbereich mit den hohen Ausbauzielen, den gegenwärtig in der Implementierung befindlichen Förderinstrumenten und den gut etablierten internationalen Märkten in vielen Regionen der Welt einen verstärkten Energiepflanzenanbau an – sowohl zur heimischen Nutzung als auch zum Export. Grundsätzlich günstige Bereitstellungskosten sind vor allem in den tropischen und subtropischen Regionen zu erwarten, sodass hier der Energiepflanzenanbau absehbar erheblich zunehmen dürfte. Bisher ist allerdings nicht sichergestellt, dass dies in einer »nachhaltigen« Weise geschieht.

FAZIT

4.

Die Zielvorgaben und Förderinstrumente für die unterschiedlichen energetischen Nutzungen der Biomasse und den Energiepflanzenanbau sind infolge unterschiedlicher Politiken einerseits und technischer Möglichkeiten andererseits sehr unterschiedlich gestaltet.

Die *Stromerzeugung* aus erneuerbaren Energien kann durch verschiedene Energieträger erfolgen und beinhaltet hohe Klimagasreduktionspotenziale. Ausbauziele bestehen in fast allen untersuchten Ländern. Entsprechende fördernde In-

strumente hierzu sind in den letzten zehn Jahren vor allem auf europäischer Ebene etabliert worden.

Die regenerative *Wärmeerzeugung* erfolgt hauptsächlich auf der Basis von Wald(rest)holz in dezentralen Systemen und ist häufig wirtschaftlich, weswegen sie ohne eine übergeordnete Förderpolitik »überlebt«. Ausbauziele bestehen weder auf EU-Ebene und den einzelnen Mitgliedstaaten noch in den ausgewählten außereuropäischen Ländern. Definierte Ziele, eine umfassende Förderung und ein verbessertes Monitoring der Entwicklung bilden die Voraussetzung für den Ausbau der Wärmeerzeugung aus Biomasse, die im Sinne vielfältiger, dezentraler Anwendungsoptionen und geringer CO₂-Verrmeidungskosten als empfehlenswert angesehen wird.

Alternative *Kraftstoffe* können absehbar nur auf Basis von Energiepflanzen produziert werden und sind in erster Linie aus energiepolitischen Gründen interessant, weswegen dieser Bereich in der jüngeren Vergangenheit eine privilegierte Bedeutung – sowohl bei den Zielvorgaben als auch bei der Förderung – erhalten hat. In der EU soll der Mengenananteil der Biokraftstoffe bis 2010 auf 5,75 % und bis 2020 auf 10 % gesteigert werden. Die USA streben einen Biokraftstoffanteil von 15 % in zehn Jahren an. Die Etablierung der Instrumente ist noch im Fluss und eine Auswertung der Effekte daher momentan kaum möglich. Für Biokraftstoffe – anders als für Strom und Wärme – besteht die Möglichkeit, sehr große Mengen in sehr kurzer Zeit über internationale Märkte zu beziehen.

Eingeleitete Fördermechanismen sind vor allem Einspeisevergütungen, Investitionsbeihilfen, Quotenregelungen und Kombinationen dieser Instrumente. Hierzu lässt sich angesichts der gegenwärtigen Situation folgendes Fazit ziehen:

- › *Einspeisevergütungsregelungen* mit festgelegter Laufzeit und sicherer Abnahme zu fixen Tarifen sind in der Lage, die Risiken bei der Investitionsentscheidung zu reduzieren. Die Förderung innovativer Technologien war bisher jedoch nur bei marktnahen Technologien, die faktisch als technisch ausgereift bezeichnet werden können, erfolgreich.
- › Mit *Quotenregelungen* wird ein Mindestanteil erneuerbarer Energien an der Energieerzeugung erreicht. Quotensysteme im Bereich Strom und Biokraftstoffe können technische Entwicklungen durch politisch vorgegebene Mengenbeschränkungen bremsen. Bei Mindestpreissystemen dagegen schaffen technologische Entwicklungen höhere Profite, wodurch Innovationen angeregt werden.
- › *Investitionshilfen* sind auch ein guter Katalysator für neue Technologien. Dennoch wird dieses Instrument in vielen EU-Ländern unzureichend genutzt. Das geeignete *Zusammenspiel verschiedener Fördermechanismen* zur Risikominimierung wird als der Schlüsselfaktor für eine erfolgreiche und effiziente Einführung der erneuerbaren Energien gesehen.



III. AUSBAUZIELE UND FÖRDERPOLITIKEN

In den Zielvorgaben zum Ausbau der Biokraftstoffnutzung bleibt vielfach unklar, woher diese kommen sollen und wie dies in Einklang mit der Nahrungsmittelversorgung gebracht werden soll. Auch sind konkrete *Umwelt- und Nachhaltigkeitskriterien* in allen betrachteten Bereichen kaum etabliert. Die vor kurzem begonnenen Debatten um Nutzungskonkurrenzen könnten zu einer zunehmenden Berücksichtigung führen. Erste Hinweise dahingehend liefert die gegenwärtige Diskussion um Nachhaltigkeitsstandards für Biokraftstoffe in den EU-Mitgliedstaaten.

Schließlich lässt sich für das bessere Verständnis der Zielvorgaben und Förderpolitiken ein deutlicher *Forschungsbedarf* formulieren, der insbesondere folgende Aspekte beinhaltet:

- › Das nationale, europäische und weltweite Monitoring der Bioenergienutzung und des Energiepflanzenanbaus sollte ausgeweitet werden. Dazu sollte eine regelmäßige Berichterstattung des Nutzungsstandes erfolgen. Neben den zugebauten Kapazitäten sollten dabei auch qualitative Parameter berücksichtigt werden (z.B. wer baut an, wer finanziert, welche Flächen werden genutzt etc.).
- › Die Zielvorgaben und Förderpolitiken sollten neben Mengenzielen auch Umwelt- und Effizienzziele enthalten. Diese können nur entlang der gesamten Nutzungskette sinnvoll etabliert werden mit Blick auf die genutzten Flächen, die Anbaumethoden, die Konversionsverfahren und die Endenergienutzung.
- › Parallel sind künftig in stärkerem Maße begleitende Untersuchungen der Nebeneffekte des Bioenergieausbaus notwendig. Hier sind insbesondere die zunehmend internationalen Biokraftstoffmärkte zeitnah zu begleiten. Zu erwarten sind Auswirkungen auf die Landnutzung, Landrechte und Grundversorgung mit Nahrungsmitteln.

FORSCHUNGSSTAND UND AUSWERTUNG VON SZENARIENSTUDIEN

IV.

Im Folgenden werden eine Analyse des Forschungsstandes und eine Auswertung von Szenarienstudien vorgelegt. Zunächst wird ein Überblick über Studien gegeben, die den derzeitigen Kenntnisstand zusammenfassen und mehr oder weniger auf Politikberatung ausgerichtet sind (Kap. IV.1). Bei der Auswertung der Szenarienstudien (Kap. IV.2) werden dann ihre Zielsetzungen und Grunddaten dargestellt, die in ihnen enthaltenen Kernaussagen zu erneuerbaren Energien, Bioenergie und Energiepflanzen herausgearbeitet, die abgeschätzten Flächenpotenziale für Energiepflanzen analysiert sowie die ermittelten Energiepotenziale und Beiträge zur erneuerbaren Energieversorgung diskutiert. Im nächsten Schritt werden wichtige Erkenntnisse zu den Umweltwirkungen der Energiepflanzen zusammengestellt (Kap. IV.3). Unter ökonomischen Wirkungen einer verstärkten Nutzung von Bioenergie und Energiepflanzen werden sowohl Fragen der Wirtschaftlichkeit als auch der volkswirtschaftlichen Effekte behandelt (Kap. IV.4). Das Kapitel schließt wiederum mit einem Fazit (Kap. IV.5).

STUDIEN ZU BIOENERGIE UND ENERGIEPFLANZEN

1.

Es gibt eine sehr große Zahl von fachwissenschaftlichen Veröffentlichungen zu Bioenergie und Energiepflanzen, die einzelne Aspekte der Technikentwicklung, des Einsatzes und der Folgewirkungen behandelt. Mittlerweile gibt es aber auch eine ganze Reihe von Studien, die den derzeitigen Kenntnisstand zusammenfassen und mehr oder weniger auf Politikberatung ausgerichtet sind. Sie haben erneuerbare Energien, Bioenergie, Energiepflanzen oder bestimmte Produktlinien bzw. Nutzungsbereiche zum Gegenstand.

Der *Überblick wichtiger vorliegender Studien* wird strukturiert nach (Tab. 12):

- > *Studien mit Potenzialabschätzungen und Ausbaustrategien*, welche die zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten erneuerbarer Energien bzw. eines Teilbereiches für Deutschland bzw. Europa untersuchen;
- > *Monitoringstudien*, welche die Wirkungen von Förderpolitiken (z.B. des Erneuerbaren-Energie-Gesetzes – EEG) analysieren;
- > *Studien zu spezifischen Problemfeldern*, bei denen einerseits Fragen der Flächen- bzw. Nutzungskonkurrenz und andererseits Fragen der Chancen und Barrieren sowie der Auswirkungen der Bioenergiepolitik im Mittelpunkt stehen;
- > *Studien zu spezifischen Produktlinien*, wobei die meisten Studien zu Biokraftstoffen (bzw. bestimmten Produktlinien der Biokraftstoffe) vorliegen, gefolgt von Biogas.



IV. FORSCHUNGSSTAND/AUSWERTUNG VON SZENARIENSTUDIEN

TAB. 12 WICHTIGE STUDIEN ZU BIOENERGIE UND ENERGIEPFLANZEN

| Titel | Auftrag- geber | Publika- tions- jahr |
|---|-------------------|----------------------------|
| Studien mit Potenzialabschätzungen und Ausbaustrategien (Szenarien) | | |
| <i>für Deutschland</i> | | |
| »Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland« (Fischedick/Nitsch 2002) | UBA | 2002 |
| »Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland« (Nitsch et al. 2004a + b) | BMU | 2004 |
| »Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse« (Fritsche et al. 2004) | BMU | 2004 |
| »Leitstudie 2007 – Ausbaustrategie Erneuerbare Energien – Aktualisierung und Neubewertung bis zu den Jahren 2020 und 2030 mit Ausblick bis 2050« (Nitsch 2007) | BMU | 2007 |
| <i>für Europa</i> | | |
| »Bio-energy's role in the EU energy market. A view of developments until 2020« (Siemons et al. 2004) | EU-Kom. | 2004 |
| »Nachhaltige Biomassennutzungsstrategien im europäischen Kontext« (Thrän et al. 2005) | BMU | 2005 |
| »FORRES 2020: Analysis of the renewable energy sources' evolution up to 2020« (Ragwitz et al. 2005) | EU-Kom. | 2005 |
| »How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?« (EEA 2006) | EEA | 2006 |
| Monitoringstudien | | |
| »Monitoring des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse« (1. und 2. Zwischenbericht, Endbericht) (IE 2005, IE 2006, IE 2007) | BMU | 2005 2006 2007 |
| Ausbau Erneuerbarer Energien im Stromsektor bis zum Jahr 2020. Vergütungszahlungen und Differenzkosten durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (Nitsch et al. 2005) | BMU | 2005 |
| »Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung« (Zwischenbericht) (Müller-Langer et al. 2006) | UBA | 2006 |
| »Monitoring und Bewertung der Förderinstrumente für Erneuerbare Energien in EU Mitgliedstaaten« (Ragwitz et al. 2006) | UBA | 2006 |
| Studien zu spezifischen Problemfeldern | | |
| <i>Flächenkonkurrenz</i> | | |
| »Flächenkonkurrenz bei der weltweiten Bioenergieproduktion« (Schütz/Bringezu 2006) | Forum U+E | 2006 |
| »Regenwald für Biodiesel? Ökologische Auswirkungen der energetischen Nutzung von Palmöl« (WWF 2007) | WWF | 2007 |

TAB. 12 FORTSETZUNG WICHTIGE STUDIEN ZU BIOENERGIE UND ENERGIEPFLANZEN

| <i>Chancen und Barrieren, Bioenergiepolitik</i> | | |
|---|----------------|------|
| »Bioenergy in Europe – Opportunities and Barriers« (VTT 2006) | Bioenergy NoE | 2006 |
| »Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe« (FNR 2006b) | FNR | 2006 |
| »Thesen zur Bioenergie-Politik in Deutschland« (Isermeyer/Zimmer 2006) | FAL | 2006 |
| »Klimaschutz durch Biomasse« (SRU 2007) | SRU | 2007 |
| Studien zu spezifischen Produktlinien | | |
| <i>Biokraftstoffe</i> | | |
| »Bioethanol in Deutschland« (Schmitz 2003) | FNR | 2003 |
| »Biokraftstoffe – eine vergleichende Analyse« (FNR 2006a) | FNR | 2006 |
| »Rohstoffverfügbarkeit für die Produktion von Biokraftstoffen in Deutschland und in der EU-25« (Zeddies 2006) | - | 2006 |
| »Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond« (EC 2006d) | EU-Kom. | 2006 |
| »Biofuels for Transportation. Global potenzial and implications for sustainable agriculture and energy in the 21 st century« (Worldwatch Institute 2006) | BMVEL | 2006 |
| »Biomass to Liquid – BtL. Realisierungsstudie« (dena 2006) | dena | 2006 |
| »Strategische Bewertung der Perspektiven synthetischer Kraftstoffe auf Basis fester Biomasse in NRW« (Arnold et al. 2006) | MWME | 2006 |
| »Ökobilanzen zu BTL: Eine ökologische Einschätzung« (Reinhard et al. 2006) | BMELV | 2006 |
| »Biofuels – At What Cost? Government support for ethanol and biodiesel in the United States« (Koplow 2006) | GSI | 2006 |
| »Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen« (Zah et al. 2007) | BFE, BAFU, BLW | 2007 |
| <i>Biogas</i> | | |
| »Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse« (Wuppertal-Institut 2006) | BGW, DVGW | 2006 |
| »Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz« (Hofmann et al. 2006) | FNR | 2006 |
| »Ökologische Analyse einer Biogasnutzung aus nachwachsenden Rohstoffen« (Scholwin et al. 2006) | FNR | 2006 |
| »Möglichkeiten einer europäischen Biogaseinspeisungsstrategie« (Teilbericht I: Thrän et al. 2007, Teilbericht II: Fritsche et al. 2007) | Grüne | 2007 |

Bioenergy NoE – Network of Excellence »Overcoming Barriers to Bioenergy«
 BAFU – Schweizerisches Bundesamt für Umwelt
 BFE – Schweizerisches Bundesamt für Energie
 BGW – Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft
 BMELV – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
 BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
 BLW – Schweizerisches Bundesamt für Landwirtschaft



IV. FORSCHUNGSSTAND/AUSWERTUNG VON SZENARIENSTUDIEN

BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
dena – Deutsche Energie-Agentur
DVGW – Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches
EEA – European Environment Agency
EU-Kom. – Europäische Kommission
FAL – Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
Forum U+E – Forum Umwelt und Entwicklung
Grüne – Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen
GSI – Global Subsidies Initiative of the Internationale Institute for Sustainable Development
UBA – Umweltbundesamt
MWME – Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrh.-Westf.
SRU – Rat von Sachverständigen für Umweltfragen
WWF – World Wildlife Fund Deutschland

Quelle: eigene Zusammenstellung

Die folgende, vergleichende Auswertung konzentriert sich auf die Studien mit Potenzialabschätzungen und Ausbaustrategien, und dabei insbesondere auf die Abschätzung der Energiepflanzennutzung (Kap. IV.2). Wichtige Erkenntnisse aus den anderen Studien werden in die Analyse einbezogen.

AUSWERTUNG VON SZENARIENSTUDIEN

2.

Zielsetzung der vergleichenden Auswertung ist, Kernaussagen der Studien zusammenzutragen, die Abschätzung des zukünftigen Energiepflanzenanbaus zu vergleichen sowie wichtige Erkenntnisse zu den ökologischen und ökonomischen Wirkungen im Überblick darzustellen. In die vergleichende Analyse werden folgende Studien einbezogen (Tab. 13) (Kurztitel):

- › Ökologisch optimierter Ausbau EE (Nitsch et al. 2004a u. b)
- › Nachhaltige Biomassenutzung (Fritsche et al. 2004)
- › Leitstudie 2007 (Nitsch 2007)
- › Europäische nachhaltige Biomassenutzung (Thrän et al. 2005)
- › EU Bioenergy (Siemons et al. 2004)
- › FORRES 2020 (Ragwitz et al. 2005)
- › Environmentally-compatible bioenergy (EEA 2006)

ZIELSETZUNGEN UND GRUNDDATEN DER SZENARIENSTUDIEN 2.1

Zur Einordnung der Studienergebnisse werden in diesem Kapitel zunächst Kontexte und Zielsetzungen der Studien sowie die Untersuchungsbereiche und Szenarienansätze kurz vorgestellt (Tab. 13 u. 14).

TAB. 13 CHARAKTERISIERUNG DER AUSBAUSTUDIEN (DEUTSCHLAND)

| | Ökologisch optimierter Ausbau EE | Nachhaltige Biomassennutzung | Leitstudie 2007 |
|-----------------------------|--|--|---|
| Titel | Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland | Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse | Leitstudie 2007 – Ausbaustrategie Erneuerbare Energien – Aktualisierung und Neubewertung bis zu den Jahren 2020 und 2030 mit Ausblick bis 2050 |
| Erscheinungsjahr | 2004 | 2004 | 2007 |
| Auftraggeber | BMU | BMU | BMU |
| Hintergrund/ Zielsetzung | <ul style="list-style-type: none"> > Langfristiger Ausbau erneuerbarer Energien zur Hauptenergiequelle > Potenzielle Konflikte zwischen Klima- und Naturschutz > »Dachstudie« zum Forschungsverbund »Umwelt und EE« des BMU | <ul style="list-style-type: none"> > Beitrag von Biomasse zur nachhaltigen Energieversorgung > Optimierte Ausbaustrategie für Bioenergie > Ökologische Bewertung und Wirtschaftlichkeit zahlreicher Technologien | <ul style="list-style-type: none"> > Zielorientiertes Szenario zur Erreichung der Klimareduktionsziele > Aktualisierung von Ausbauszenarien |
| Vorgehensweise | <ul style="list-style-type: none"> > Abschätzung der Technologie- und Kostenentwicklungen > Umweltwirkungen (Ökobilanzen und Naturschutzaspekte) > Bestimmung der (Biomasse-)Potenziale > Szenarien eines ökologisch optimierten Ausbaus > Analyse der Szenarienergebnisse > Ableitung erfolgreicher Politikrahmen | <ul style="list-style-type: none"> > Erstellung einer Technologiedatenbasis > Systematische Erfassung der Stoffströme > Potenziale zur energetischen Biomassennutzung > Szenarien zur energetischen Biomassennutzung > Analyse der Szenarienergebnisse > Empfehlungen zur nationalen Politikgestaltung | <ul style="list-style-type: none"> > Bisherige Entwicklung der erneuerbaren Energien > Szenarienaktualisierung zum Leitszenario 2006 > Ergebnisse des Leitszenarios > Ökonomische Wirkungen des EE-Ausbaus > Szenarienvarianten |
| Quelle | Nitsch et al. 2004a u. b | Fritsche et al. 2004 | Nitsch 2007 |



IV. FORSCHUNGSSTAND/AUSWERTUNG VON SZENARIENSTUDIEN

TAB. 13 FORTSETZUNG CHARAKTERISIERUNG DER AUSBAUSTUDIEN (EUROPA)

| | Europäische nachhaltige Biomassenutzung | EU Bioenergy | FORRES 2020 | Environmentally-compatible bioenergy |
|-----------------------------|--|--|--|---|
| Titel | Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext | Bio-energy's role in the EU energy market. A view of developments until 2020 | FORRES 2020: Analysis of the renewable energy sources' evolution up to 2020 | How much bio-energy can Europe produce without harming the environment? |
| Erscheinungsjahr | 2005 | 2004 | 2005 | 2006 |
| Auftraggeber | BMU | EU Kommission | EU Kommission | EEA |
| Hintergrund/ Zielsetzung | <ul style="list-style-type: none"> > Strategien einer verstärkten Biomassenutzung im europäischen Kontext > Berücksichtigung der deutschen, europäischen und weltweiten Gegebenheiten und Zusammenhänge | <ul style="list-style-type: none"> > Abschätzung des Beitrags von Bioenergie zur Energieversorgung > Identifizierung neuer Ansätze zur Förderung einer positiven öffentlichen Wahrnehmung von Bioenergie | <ul style="list-style-type: none"> > Monitoring der Fortschritte beim Ausbau der EE > Evaluation der nationalen Umsetzung der EU-Vorgaben > Entwicklung realistischer Ziele für die Periode bis 2020 | <ul style="list-style-type: none"> > Abschätzung der Biomassepotenziale, die ohne erhöhte Umweltbelastungen verfügbar sind |
| Vorgehensweise | <ul style="list-style-type: none"> > Europäische Rahmenbedingungen durch Energie-, Forst- und Agrarpolitik > Potenzialanalyse europäisches Biomasseangebot > Bereitstellungsketten und ihre ökonomische und ökologische Bewertung > Bilanzierung von Biomasseangebot und -nachfrage mittels Szenarien > Beschreibung und Bewertung wesentlicher Biomassemärkte > Schlussfolgerungen hinsichtlich politischer Maßnahmen | <ul style="list-style-type: none"> > Analyse der Technologien und ihrer Anwendungen > Abschätzung des Biomasseangebots > Treibhausgasbilanzen > Entwicklung von Szenarien > Analyse der Szenarienergebnisse > Schlussfolgerungen | <ul style="list-style-type: none"> > Stand der EE Nutzung in der EU-25 > Evaluation der Politikinstrumente zum EE Ausbau > Entwicklung von Szenarien > Analyse der Szenarienergebnisse und Perspektiven bis 2020 | <ul style="list-style-type: none"> > Analyse potenzieller Umweltprobleme > Elemente/Annahmen für umweltfreundliche Landwirtschaft > Abschätzung der verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche > Bestimmung eines umweltfreundlichen Energiepflanzenmixes > Abschätzung der Bioenergiepotenziale |
| Quelle | Thrän et al. 2005 | Siemons et al. 2004 | Ragwitz et al. 2005 | EEA 2006 |

Quelle: eigene Zusammenstellung

TAB. 14 KERNELEMENTE DER AUSBAUSTUDIEN (DEUTSCHLAND)

| Kurztitel | Ökologisch optimierter Ausbau EE | Nachhaltige Biomassenutzung | Leitstudie 2007 |
|------------------|--|--|---|
| räumlicher Bezug | Deutschland | Deutschland | Deutschland |
| Energieträger | Erneuerbare Energien gesamt | Bioenergie | Energiesystem gesamt/Erneuerbare Energien |
| Zeithorizont | 2050 | 2030 | 2030 (Ausblick 2050) |
| Szenarien | 3 Szenarien (Basis, Naturschutz I, Naturschutz II) mit jeweils 2 Varianten | 4 Szenarien (Referenz, Umwelt, Biomasse, Nachhaltig) | 1 Szenario (Leitszenario 2006) |
| Szenariotyp | normativ | normativ | normativ |

TAB. 14 FORTSETZUNG KERNELEMENTE DER AUSBAUSTUDIEN (EUROPA)

| Kurztitel | Europäische nachhaltige Biomassenutzung | EU Bioenergy | FORRES 2020 | Environmentally-compatible bioenergy |
|------------------|--|---|---|--|
| räumlicher Bezug | EU-28 | EU-15, EU-10+2 | EU-25 (+2) | EU-22 |
| Energieträger | Bioenergie | Bioenergie | Erneuerbare Energien gesamt | Bioenergie |
| Zeithorizont | 2020 | 2020 | 2020 | 2030 |
| Szenarien | 4 Szenarien (current policy, environment u. jeweils für Biomasseangebot und Biomassenutzung) | 2 Szenarien (low sustainability premium, high sustainability premium) u. 3 Szenarien (base case technology, non-subsidised innovation technology, subsidised innovation technology) | 2 Szenarien (business-as-usual, policy) | 1 Szenario (environmentally-compatible scenario) |
| Szenariotyp | normativ | explorativ | normativ | normativ |

Quelle: eigene Zusammenstellung

KONTEXT UND ZIELSETZUNGEN DER SZENARIENSTUDIEN

Die *Studien zu Deutschland* stehen in einem gemeinsamen Kontext und wurden alle vom BMU gefördert. Ausgangspunkt sind die Klimaschutzziele der Bundesregierung, in deren Rahmen die erneuerbaren Energien längerfristig zur Hauptquelle der Energieversorgung werden sollen, mit einem Anteil um 50 % bis etwa zur Jahrhundertmitte. Einbezogen wurden einerseits mögliche Zielkonflikte zwischen den ökologischen Entlastungswirkungen eines deutlichen Ausbaus von erneuerbaren Energien hinsichtlich der Schonung fossiler Energieressourcen und der Verringerung von Treibhausgasemissionen und andererseits mögliche umweltbelastende Wirkungen in den Bereichen Gewässerschutz (Wasserkraft), Eingriffe in die Landschaft (Windkraft) sowie umweltverträgliche Landbewirtschaftung und Berücksichtigung von Naturschutzbelangen (Bioenergie) (Fritsche et al. 2004, S. i; Nitsch et al. 2004a, S. 3). Zielsetzung war also, Strategien für einen »ökologisch optimierten« bzw. umweltverträglichen Ausbau erneuerbarer Energien zu entwickeln. Die »Leitstudie 2007« baut auf den beiden anderen Studien auf und entwickelte ein aktualisiertes, zielorientiertes Szenario zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung.

Die *Studien auf europäischer Ebene* sind heterogener. Die Studie »Europäische nachhaltige Biomassenutzung« wurde ebenfalls vom BMU finanziert und weitet den Blick auf die europäische Dimension. Zielsetzung des Projekts war, mögliche Strategien einer verstärkten Biomassennutzung zur Bereitstellung fester, flüssiger und gasförmiger Bioenergieträger zur Strom-, Wärme- und Kraftstoffbereitstellung im Kontext der deutschen, europäischen und weltweiten Gegebenheiten, Zusammenhänge und Vorgaben zu analysieren und zu bewerten (Thrän et al. 2005, S. 1). Die Studien »EU Bioenergy« und »FORRES 2020« sind im Auftrag der EU-Kommission erstellt worden und hatten das Ziel, den möglichen kurz- bis mittelfristigen Beitrag von Bioenergie bzw. erneuerbaren Energien abzuschätzen. Die erstgenannte Studie sollte außerdem neue Ansätze zur Förderung einer positiven öffentlichen Wahrnehmung von Bioenergie identifizieren, die zweite Studie die nationale Umsetzung der EU-Vorgaben sowie die Fortschritte beim Ausbau der erneuerbaren Energien evaluieren (Ragwitz et al. 2005, S. 3 f.; Siemons et al. 2004, S. 11). Der Report der Europäischen Umweltagentur schließlich widmet sich wiederum möglichen Konflikten zwischen Klima- und Umwelt- bzw. Naturschutz. Zielsetzung dieser Studie war, die Biomassepotenziale, die ohne erhöhte Umweltbelastungen verfügbar sind, abzuschätzen (EEA 2006, S. 6).

ENERGIEBEREICHE UND PRODUKTLINIEN

Die untersuchten *Energiebereiche* unterscheiden sich und reichen vom gesamten Energiesystem über die erneuerbaren Energien bis zur Bioenergie, womit sich der Detaillierungsgrad der Untersuchungen erhöht. Keine der Studien behandelt ausschließlich die Energiepflanzennutzung.

Eine Vielzahl möglicher *Produktlinien* (Kap. II.2) und Technologievarianten sowie ihre Weiterentwicklungen sind ggf. bei einer Abschätzung zukünftiger Entwicklungen der Bioenergie zu berücksichtigen. Ein Teil der Studien arbeitet nicht mit entsprechenden Differenzierungen bzw. legt entsprechende Annahmen zu Technologien und Produktlinien nicht offen. Sie unterscheiden nur zwischen verschiedenen Nutzungsarten der Bioenergie wie z.B. Einzelheizungen, KWK-Wärme und Strom (z.B. Leitszenario 2006; Nitsch 2007, S.23 f.) oder zwischen verschiedenen Kategorien von Bioenergieträgern wie z.B. Biogas und feste Bioenergieträger (z.B. FORRES 2020; Ragwitz et al. 2005, S.57 ff.).

In einzelnen Studien wird eine *Auswahl von repräsentativen Produktlinien und Anlagenkonfigurationen* getroffen. Zugrunde liegt eine Charakterisierung hinsichtlich technischer Daten, ökologischer Indikatoren und der jeweiligen Gesteungskosten (Fritsche et al. 2004, S.44 ff.; Nitsch et al. 2004b, S.19 ff.). Dabei werden auch noch in der Entwicklung befindliche Technologien wie beispielsweise Vergasung (in Kombination mit Heizkraftwerk zur Strom- und Wärmezeugung) oder BtL (auf der Basis Kurzumtriebsplantagen mit Pappeln) einbezogen.

Bei den *Energiepflanzen* werden neben den »traditionellen« Kulturpflanzen (wie Raps, Mais, Getreide) nur in begrenztem Umfang »alternative« Kulturpflanzen einbezogen (Kap. II.2.1), soweit überhaupt eine Differenzierung erfolgt. Als solche neuen bzw. bisher nur marginal angebauten Kulturpflanzen werden Miscanthus und Kurzumtriebsplantagen (KUP) in der Szenarienkonstruktion berücksichtigt (z.B. Nitsch et al. 2004b, S.76).

Der *Anteil verschiedener Energiepflanzen* bei der Nutzung abgeschätzter Flächenpotenziale wird nur in der EEA-Studie »Environmentally-compatible bioenergy« untersucht (EEA 2006, S.22 ff.). Die entsprechenden wünschenswerten Anteile werden in dieser Studie mittels der erzielbaren Energieerträge und der potenziellen Umweltbelastungen als qualitative Kriterien abgeleitet.

ZEITHORIZONTE

Beim betrachteten Zeitraum gibt es deutliche Unterschiede. Ein langfristiger Betrachtungszeitraum bis zum *Jahr 2050* wird in zwei Studien verwendet (»Leitstudie 2007« und Studie »Ökologisch optimierter Ausbau Erneuerbarer Energien [EE]«). Den Zeitraum bis zum *Jahr 2030* untersuchen die dritte Studie für Deutschland (»Nachhaltige Biomassennutzung«) sowie die EEA-Studie für Europa. Die übrigen europäischen Studien haben einen mittelfristigen Betrachtungszeitraum bis zum *Jahr 2020*. Langfristige Betrachtungszeiträume ermöglichen, tiefgreifende Veränderungen im Energiesystem herauszuarbeiten. Die mittelfristige Betrachtung dagegen ist mehr auf die nächsten Schritte ausgerichtet. Da alle Studien Ergebnisse zu Zwischenzeitpunkten in 10-Jahres-Schritten liefern, ist eine Vergleichbarkeit gegeben.

RAUMBEZUG

Bei den Studien für *Deutschland* wird keine regionale Differenzierung vorgenommen, die gerade für Energiepflanzen von Relevanz ist. Regionalisierte Untersuchungen liegen bisher überhaupt nur in sehr geringer Zahl vor. Sie zeigen erhebliche regionale Unterschiede in der Entwicklung des Energiepflanzenanbaus (z.B. Breuer/Holm-Müller 2007; Gömann et al. 2007).

Bei den Studien auf *europäischer Ebene* gibt es gewisse Unterschiede bei der Anzahl der einbezogenen Länder, von EU-22 (ohne Luxemburg, Malta und Zypern) über EU-25 bis zu EU-28 (inkl. Bulgarien, Rumänien und Türkei). Die EEA-Studie benutzt eine Differenzierung von 13 europäischen Umweltzonen (EEA 2006, S.24), wobei die Ergebnisse für diese Zonen aber nicht ausgewiesen werden.

SZENARIENTYPEN

Allen Studien ist gemeinsam, dass sie letztlich *Szenarien zu Bioenergiepotenzialen* beinhalten. Dabei werden in der Regel die *technischen Potenziale* bestimmt – zum Verständnis der verschiedenen Potenzialbegriffe siehe den folgenden Kasten. Damit beschreiben sie nicht, wie sich die wirtschaftlichen Potenziale der Bioenergie unter verschiedenen Rahmenbedingungen zukünftig entwickeln. Ausnahmen bildet die mittelfristigen Studien »FORRES 2020« und »EU Bioenergy«, die unter verschiedenen politischen Rahmenbedingungen mittels technisch-ökonomischer Modellierungen die Marktdurchdringung der erneuerbaren Energien bzw. Bioenergie analysieren.

Die Szenarien sind von klimaschutzpolitischen (und ergänzenden umwelt- bzw. naturschutzpolitischen) Zielsetzungen ausgehend konstruiert. Sie stellen damit *normative Szenarien* dar und analysieren, inwieweit eine gewünschte Zukunft erreicht werden kann. Damit handelt es sich nicht um explorative Szenarien, die das Spektrum der zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten der erneuerbaren Energien bzw. der Bioenergie unter verschiedenen energiewirtschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen beschreiben.

Ein Teil der Studien arbeitet mit einem *Referenzszenario* (für Deutschland: »Basis« bei Nitsch et al. 2004b; »Referenz« bei Fritsche et al. 2004; für Europa: »business-as-usual« bei Ragwitz et al. 2005), als Ausgangspunkt und Vergleichsgröße der Szenarienanalyse. Das energiewirtschaftliche Referenzszenario stellt eine Fortschreibung ohne aktive Politik zu erneuerbaren Energien dar.

Die *Ausbauszenarien* sind so angelegt, dass die entsprechenden klimapolitischen Ziele erreicht werden (für Deutschland Senkung der Treibhausgasemissionen um 40 % bis 2020 und um 80 % bis 2050 gegenüber 1990). Ein Teil der Ausbauszenarien hat die Maximierung des Biomasseangebots zum Ziel, und diese Szenarien sollen eine Obergrenze der Biomassennutzung darstellen. Bei den um-



weltorientierten Ausbauszenarien werden Umwelt- und Naturschutzanforderungen verstärkt berücksichtigt, die zusätzliche Restriktionen für die Bioenergienutzung darstellen.

VERSTÄNDNIS UNTERSCHIEDLICHER POTENZIALBEGRIFFE

Das *theoretische Potenzial* beschreibt das physikalisch nutzbare Angebot an Biomasse und stellt somit eine theoretische Obergrenze des verfügbaren Energieangebots dar.

Das *technische Potenzial* stellt den Anteil des theoretischen Potenzials dar, der unter Berücksichtigung der derzeitigen (bzw. auch zukünftigen) technischen Möglichkeiten nutzbar ist. Im Einzelnen werden Beschränkungen wie die verfügbaren Nutzungstechniken, ihre Wirkungsgrade, die Verfügbarkeit von Standorten (auch im Hinblick auf konkurrierende Nutzungen) sowie strukturelle, ökologische (z.B. Naturschutzgebiete) und weitere nichttechnische Begrenzungen berücksichtigt. Diese Beschränkungen sind erheblich von Annahmen abhängig.

Das *wirtschaftliche Potenzial* ist der Anteil des technischen Potenzials, der im Kontext der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen wirtschaftlich genutzt werden kann. Um die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit eines erneuerbaren Energieträgers bzw. -systems beurteilen zu können, ist für den jeweiligen Einsatzbereich ein Vergleich mit konkurrierenden Energiebereitstellungssystemen notwendig. Das wirtschaftliche Potenzial wird unter anderem von den Preisen fossiler Energieträger, den Kosten konventioneller Energiesysteme und energiepolitischen Rahmensetzungen beeinflusst.

Das *erschließbare Potenzial* schließlich beschreibt einen zu erwartenden tatsächlichen Beitrag einer (Bioenergie-)Option zur Nutzung erneuerbarer Energien. Das erschließbare Potenzial ist im Regelfall kleiner als das wirtschaftliche Potenzial und kann nur über einen längeren Zeitraum realisiert werden, weil noch nichtabgeschriebene Altanlagen, begrenzte Herstellungskapazitäten, unzureichend zugängliche Informationen etc. Restriktionen setzen. Das erschließbare Potenzial kann erhöht werden und sogar höher als das wirtschaftliche Potenzial sein, wenn beispielsweise die betreffende Option zur Nutzung von Bioenergie subventioniert wird (z.B. mittels Markteinführungsprogramm).

Quelle: nach Kaltschmitt/Hartmann 2001, S. 10; Thrän et al. 2005, S. 53)

Eine Studie unterscheidet zwischen *Bereitstellungs- und Nutzungsszenarien* (Thrän et al. 2005), um das Biomasseangebot (Biomassepotenzial) und die Biomassenachfrage (Energieszenarien) vergleichen zu können.



Die *Anzahl der Szenarien* in den Studien ist unterschiedlich. In zwei Studien wird jeweils nur ein *Szenario* untersucht, was als Vorschlag für einen optimalen Weg verstanden werden kann. Ansonsten wird der zukünftige Entwicklungsraum mit *zwei bis vier Szenarien* abgebildet.

BASISANNAHMEN

Den Studien für *Deutschland* ist gemeinsam, dass sie wesentliche demografische und ökonomische Eckdaten aus den Untersuchungen der Enquete-Kommission »Nachhaltige Energieversorgung« bzw. der neueren energiewirtschaftlichen Referenzprognose im Energiereport IV (bei der Leitstudie 2007) übernehmen. In den Szenarien »Referenz« bzw. »Basis« sind die entsprechenden Referenzentwicklungen nachgebildet.

Auf *europäischer Ebene* beruhen die Basisannahmen der EEA-Studie auf den entsprechenden Annahmen des EEA-Berichts »The European Environment – State and Outlook 2005« (EEA 2006, S. 12). Die Nachfrageszenarien (Energieszenarien) der IE-Studie beruhen auf den Ergebnissen der Studie »FORRES 2020« (Thrän et al. 2005, S. 182), wobei hier allerdings die Basisannahmen nicht offen gelegt werden.

In den Studien wird damit nur ein *Ausschnitt der möglichen Energiezukünfte* berücksichtigt. Dies ergibt sich aus den Zielsetzungen der Studien, die Erreichbarkeit von Klimaschutzzielen und von Ausbauzielen für erneuerbare Energien zu untersuchen.

Die Annahmensetzungen bei der Bestimmung der zukünftigen Energiepflanzenpotenziale werden im Kapitel IV.2.3 diskutiert.

KERNAUSSAGEN ZU ERNEUERBAREN ENERGIEN, BIOENERGIE UND ENERGIEPFLANZEN

2.2

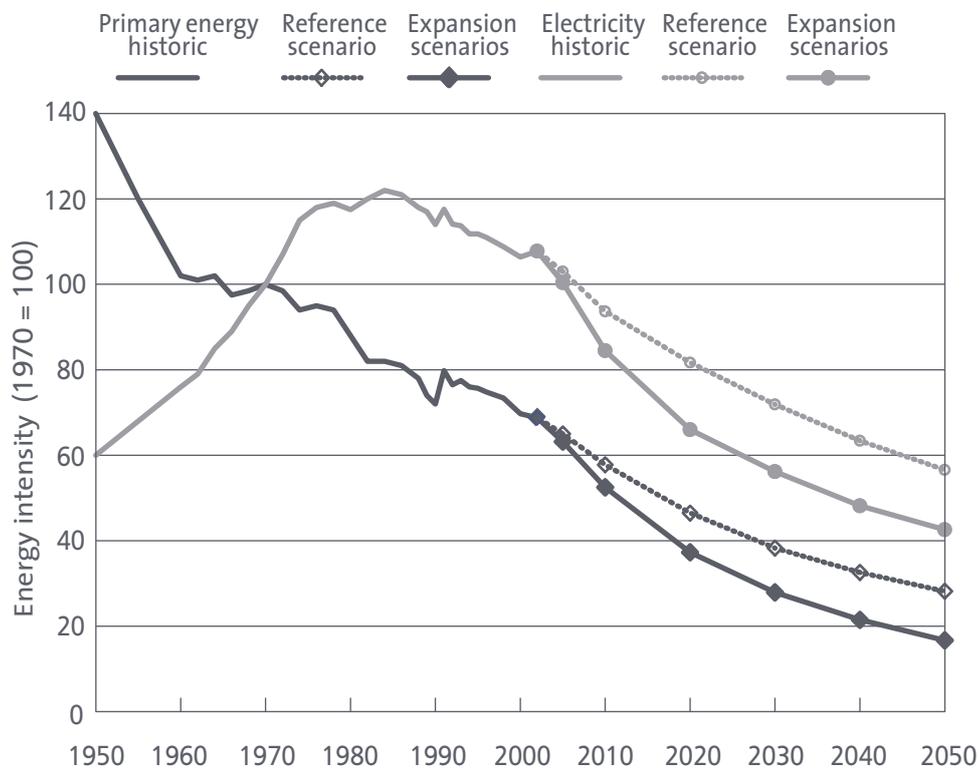
Zunächst werden übergreifende Ergebnisse der ausgewerteten Studien vorgestellt, bevor auf die abgeschätzten Potenziale der Energiepflanzen näher eingegangen wird.

ENERGIEEFFIZIENZ

Die Reduktionsziele für Klimagasemissionen und eine nachhaltige Energieversorgung können nur bei einer deutlichen Steigerung der Umwandlungs- und Nutzungseffizienz aller Energieträger erreicht werden. Die derzeit wirkenden Mechanismen zur Erhöhung der Energieeffizienz, wie Steigerung der Wirkungsgrade von Kraftwerken, strengere Vorschriften für Neubauten, Optimierung industrieller Prozessabläufe sowie generell die autonome Steigerung der Effizienz durch den Ersatz von alten Geräten und Anlagen durch neue reichen nicht aus,

um das Energieverbrauchsniveau substanziell zu senken. Wird der Verringerungstrend der Energieintensität (Primärenergie langjährig 1,4%/a, Strom seit 1984 ca. 0,9%/a) nur geringfügig gesteigert, so steigt der Stromverbrauch sogar noch, und der Primärenergieverbrauch sinkt nur allmählich parallel zur demografischen Entwicklung (Nitsch et al. 2004a, S.26) (Abb. 25).

ABB. 25 VERLAUF DER ENERGIEINTENSITÄT (PRIMÄRENERGIE/BIP, STROM/BIP) IN DEUTSCHLAND SEIT 1950 SOWIE IN REFERENZ- UND AUSBAUSZENARIEN



Primärenergie/BIP (1970) = 9,93 GJ/1.000 Euro₂₀₀₀, Strom/BIP (1970) = 0,787 GJ/1.000 Euro₂₀₀₀, Werte 1970 = 100

Quelle: Nitsch et al. 2004a, S.26

Allerdings sind aus technischer Sicht noch sehr weit reichende Effizienzverbesserungen möglich. Ein wesentliches Element der Ausbauszenarien für erneuerbare Energien ist deshalb eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz gegenüber dem Trend. In der Studie »ökologisch optimierter Ausbau« wird für die Ausbauszenarien eine jährliche Effizienzsteigerung für den Primärenergieverbrauch von 2,6%/a (d.h. eine knappe Verdoppelung gegenüber der langjährigen Vergangenheitsentwicklung) und für den Stromverbrauch von 1,8%/a (d.h. eine Verdoppelung gegenüber der bisherigen Entwicklung) im Jahresmittel 2000 bis 2050

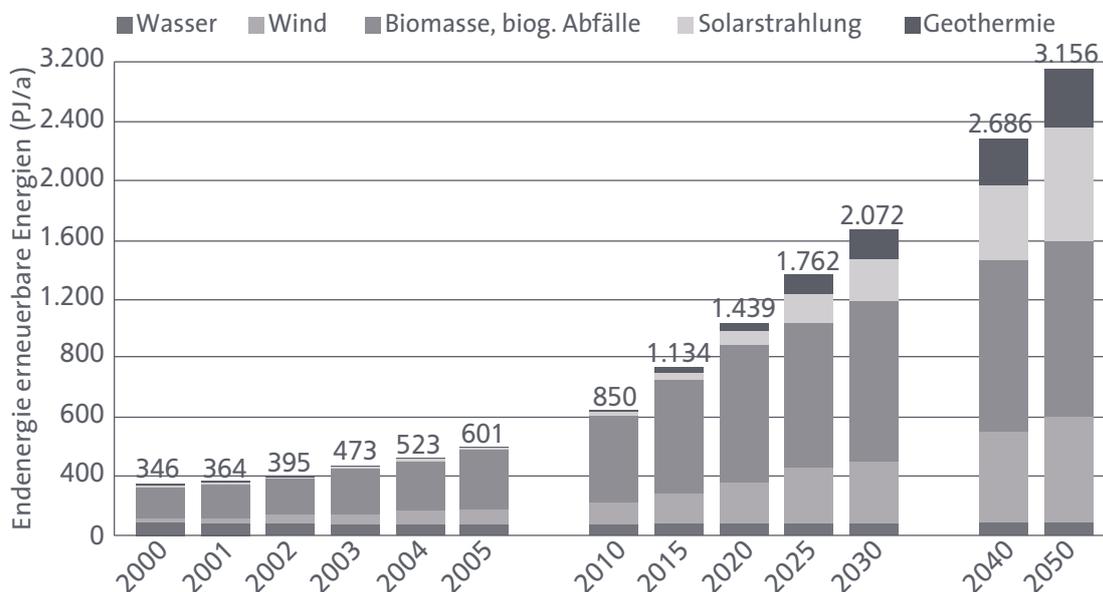
angenommen. Unter diesen Annahmen wird mittels einer Effizienzstrategie etwa ein Drittel des heutigen Primärenergieeinsatzes vermieden (Nitsch et al. 2004a, S.26). Im Leitszenario 2006 ist sogar eine Reduktion des Primärenergieeinsatzes von rund 45 % im Zeitraum 2000 bis 2050 anvisiert (Nitsch 2007, S. 4; ähnlich schon Fishedick/Nitsch 2002, S. 2).

Weiterhin wird herausgearbeitet, dass eine gesteigerte Energieeffizienz auch eine indirekte Kompensation eines Teils der zusätzlichen Differenzkosten für den Ausbau der erneuerbaren Energien bewirken kann, was insbesondere für den Zeitraum 2000 bis 2020 von besonderer Bedeutung ist. Die Schlussfolgerung ist, dass eine wirksame Effizienzstrategie unerlässlich ist, wenn das CO₂-Reduktionsziel für 2050 zeitgerecht und ökonomisch verträglich erreicht werden soll (Nitsch et al. 2004a, S. 27).

ERNEUERBARE ENERGIEN

In Zukunft wird sich der Anteil der verschiedenen Energiequellen an den erneuerbaren Energien deutlich verschieben. Beispielhaft wird dies anhand der Entwicklungen im Leitszenario 2006 dargestellt (Abb. 26).

ABB. 26 ENDENERGIEBEITRAG ERNEUERBARER ENERGIEN IM LEITSZENARIO 2006 NACH ENERGIEQUELLEN BIS ZUM JAHR 2050



Quelle: Nitsch 2007, S.23

Der dominierende Beitrag der Biomasse (68 % im Jahr 2005, einschließlich biogener Abfälle im Müll) bleibt auf absehbare Zeit noch bestehen. Im Jahr 2030 sind es noch 52 %. Danach sind aber die Potenziale weitgehend ausgeschöpft,

sodass ihr relativer Beitrag im Jahr 2050 auf 38 % sinkt. Die Windenergie steigert ihren Beitrag stetig und erreicht 2050 mit 710 PJ/a Endenergie einen Anteil von 23 %. Langfristig übernimmt die Solarenergie (Fotovoltaik, Kollektoren, Solarstrom aus europäischem Verbund) die Wachstumsdynamik. Während ihr relativer Beitrag derzeit mit 2 % noch sehr gering ist und auch bis 2030 »nur« auf knapp 14 % wächst, übertrifft er im Jahr 2050 mit 24 % den Beitrag der Windenergie. Blickt man perspektivisch in die zweite Hälfte des Jahrhunderts und geht von weiter wachsenden Anteilen der erneuerbaren Energien aus, wird nach 2050 die Solarstrahlung, unterstützt durch die Geothermie, im Wesentlichen das weitere Wachstum tragen (Nitsch 2007).

BIOENERGIE

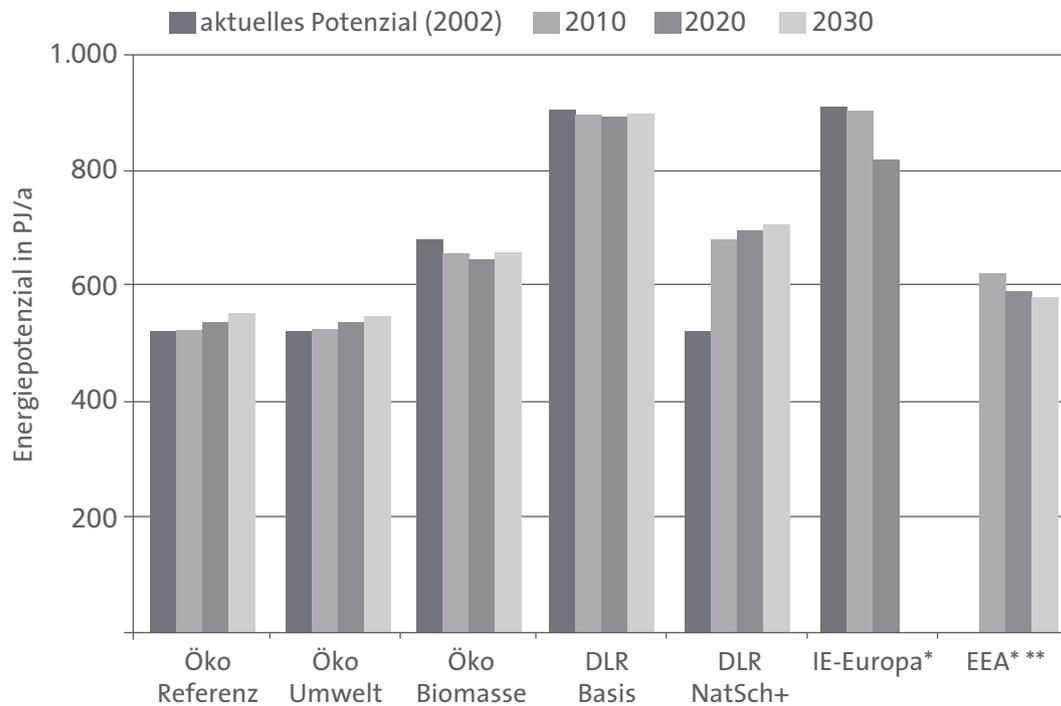
Die Potenziale der Bioenergie aus Nichtenergiepflanzen (also Holz und die verschiedenen biogenen Reststofffraktionen) bleiben langfristig mehr oder weniger konstant (Abb. 27). Wichtige Fraktionen bei den Festbrennstoffen sind Stroh, Wald- und Schwachholz (inkl. zusätzlich erschließbares Waldholz), Landschaftspflegegut, Industrieholz und Altholz sowie beim Biogas tierische Exkremente und organische Siedlungsabfälle. Die größten Unterschiede bei den Studien sind bei den angenommenen Potenzialen für Holz und Stroh zu finden (SRU 2007, S.25).

Energetisch nutzbare biogene Reststoffe sind stark an die land-, forst-, abfallwirtschaftlichen und naturschutzrechtlichen Rahmenbedingungen gekoppelt, die sich je nach Szenario verändern können. Die abgeschätzten Potenziale weisen teilweise erhebliche Differenzen auf und reichen für Deutschland von rd. 500 PJ/a bis rd. 900 PJ/a (Abb. 27). Die größten Unterschiede zwischen den Studien bzw. Szenarien bestehen bei den angenommenen Holzpotenzialen. So wird in der Studie »Europäische nachhaltige Biomassenutzung« und im Basisszenario der Studie »Ökologisch optimierter Ausbau EE« ein Mobilisierungsgrad des Waldrestholzes von 100 % angenommen. Weiterhin gibt es größere Unterschiede bei den unterstellten Nutzungspotenzialen für Stroh, die bis 100 % reichen. Diese hohen Annahmen werden vom Sachverständigenrat für Umweltfragen als unrealistisch und aus ökologischen Gründen als fragwürdig betrachtet (SRU 2007, S.25).

Die Potenziale der Bioenergieträger auf der Basis von Energiepflanzen sind dagegen vor allem von der verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche abhängig, und die Bioenergieerzeugung mittels Energiepflanzen nimmt in den Ausbauszenarien über die Zeit deutlich zu (Kap. IV.2.3). Gleichzeitig bestehen im Bereich der Energiepflanzen bei der mittel- und langfristigen Abschätzung die größten Unsicherheiten, u. a. weil für die zukünftig verfügbare landwirtschaftliche Nutzfläche vielfältige konkurrierende Nutzungsansprüche bestehen.

ABB. 27

ÜBERSICHT ÜBER BIOGENE RESTSTOFFPOTENZIALE IN AUSGEWÄHLTEN SZENARIENSTUDIEN



* keine Aufteilung in Szenarien bei der IE-Studie und der EEA-Studie

** keine Angabe für 2000 bei der EEA-Studie

Öko = Studie »Nachhaltige Biomasseerzeugung« (Fritsche et al. 2004),

DLR = Studie »Ökologisch optimierter Ausbau EE« (Nitsch et al. 2004),

IE = Studie »Europäische nachhaltige Biomassenutzung« (Thrän et al. 2005),

EEA = Studie »Environmentally-compatible bioenergy« (EEA 2006)

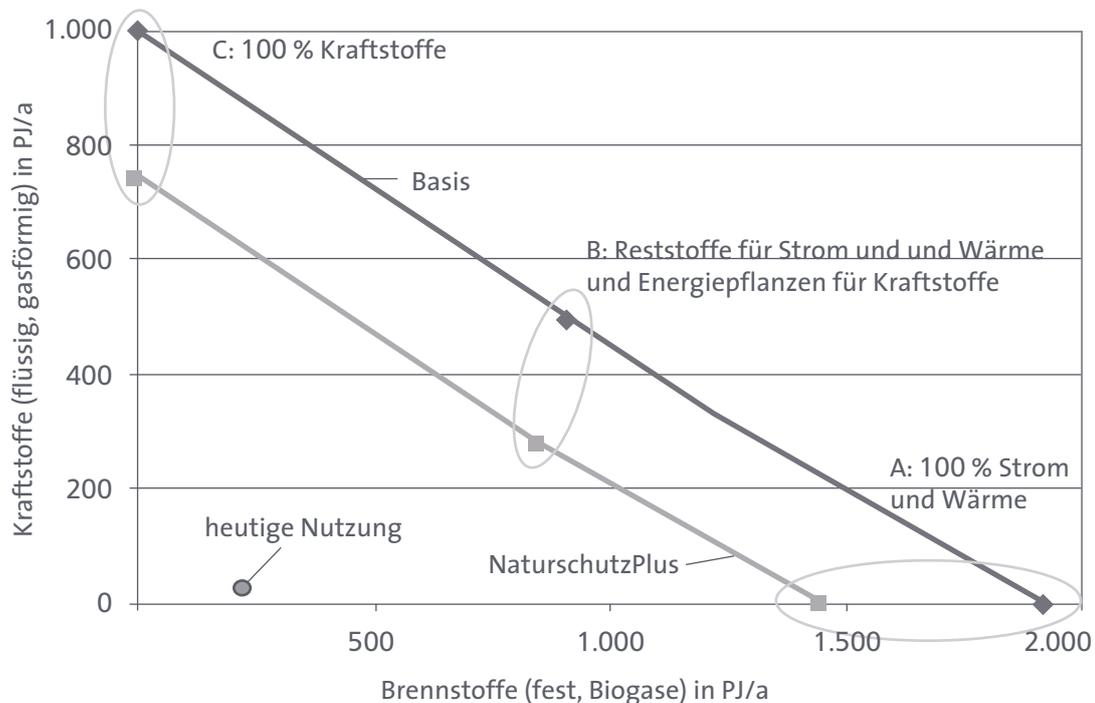
Quelle: SRU 2007, S. 24

Die erzielbaren Energiepotenziale aus den abgeschätzten Flächenpotenzialen für Energiepflanzen weisen erhebliche Unterschiede in Abhängigkeit von den genutzten Produktlinien auf. Aufgrund der unterschiedlichen Effizienz der verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten kann bei einer vollständigen Verwendung des Biomasseaufkommens in stationären Anlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme ein etwa doppelt so hohes Energiepotenzial erschlossen werden wie bei einer ausschließlichen Erzeugung von Biokraftstoffen (Abb. 28). Auf absehbare Zeit weist der stationäre Bereich eine höhere Effizienz bei der CO₂-Minderung und eine günstigere Kostensituation auf (Nitsch et al. 2004, S. 178).

Bei Energiepflanzen führt eine starke Förderung von Biokraftstoffen zur Begrenzung der Potenziale für den Strom- und Wärmebereich – und umgekehrt. Die politische Zielvorgabe des Kraftstoffquotengesetzes, das ab 2010 einen Anteil der Biokraftstoffe von 6,75 % am gesamten Kraftstoffverbrauch in Deutschland

fordert, bedeutet bei einem Anteil von einem Drittel Bioethanol und zwei Drittel Biodiesel an der Quote einen Flächenbedarf von knapp 3 Mio. ha für den Anbau entsprechender Energiepflanzen. Nach Einschätzung des SRU wird die nationale Energiepflanzenproduktion bei Beachtung der umwelt- und naturschutzrechtlichen Anforderungen nicht ausreichen, dieses Ziel zu erreichen (Abb. 29), wobei noch nicht einmal weitere Flächenansprüche für andere Bioenergieformen berücksichtigt sind (SRU 2007, S. 33 f.). Der SRU fordert deshalb, die ehrgeizigen nationalen und europäischen Ausbauziele für Biokraftstoffe kritisch zu überprüfen und die Biokraftstoffquote möglichst nahe am heutigen Niveau einzufrieren (SRU 2007, S. 149 f.).

ABB. 28 POTENZIALE ZUR NUTZUNG VON BIOMASSE IM JAHR 2050 UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON NUTZUNGSKONKURRENZEN



Quelle: Nitsch et al. 2004b, S. 161

Die vorliegenden Ausbauziele für Biokraftstoffe (Kap. III.1) verursachen einen erheblichen Flächenbedarf. Unterstellt man einen künftigen mittleren Kraftstoffenergieertrag von 1.500 bis 5.000 l/ha (in Abhängigkeit von den unterschiedlich hohen Flächenerträgen der Kulturarten Raps, Soja und Palmöl für Biodiesel und Weizen, Mais, Zuckerrüben und Zuckerrohr für Bioethanol in den verschiedenen Ländern), dann würde der Flächenbedarf zur Deckung der Kraftstoffziele in den betrachteten Ländern USA, China, EU-25, Brasilien, Indien, Australien und Malaysia im Jahr 2020 in der Größenordnung von insgesamt 50 bis



120 Mio. ha/a liegen (Abb. 24). Kraftstoffe der zweiten Generation dürften bis dahin nur eine untergeordnete Rolle spielen. In der EU und in den USA würde ein erheblicher Teil der landwirtschaftlichen Nutzfläche beansprucht bzw. ein großer Importbedarf von Bioenergieträgern ausgelöst (IE 2007, S.91). Damit wird außerdem deutlich, dass bei ernster Verfolgung der Kraftstoffziele die verbleibenden Flächenpotenziale für den Anbau von Energiepflanzen für den Strom- und Wärmebereich eher gering sind.

FLÄCHENPOTENZIALE FÜR ENERGIEPFLANZEN

2.3

Bei der Abschätzung der energetischen Potenziale von Energiepflanzen muss zunächst das verfügbare Flächenpotenzial ermittelt werden. Im nächsten Schritt sind Annahmen zu den angebauten Pflanzenarten und ihren zukünftigen Erträgen zu treffen. Schließlich sind Annahmen über die verwendeten Konversionstechnologien und die Nutzungsbereiche notwendig, damit Energiepotenziale bestimmt werden können.

ANNAHMENSETZUNGEN ZUR BESTIMMUNG DER ZUKÜNFTIG VERFÜGBAREN FLÄCHEN

Die zukünftig verfügbaren Flächen für den Anbau von Energiepflanzen sind von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Eine Übersicht zu den Faktoren, die die Entwicklung des Flächenpotenzials für Energiepflanzen bestimmen, gibt Tabelle 15.

Ausgangspunkt ist die insgesamt verfügbare *landwirtschaftliche Nutzfläche bzw. Ackerfläche*. Schon bei den Flächen im Basisjahr 2000 (für Deutschland) gibt es Unterschiede zwischen den Studien, je nachdem, inwieweit bestehende Naturschutzbeschränkungen bei der Basisfläche berücksichtigt werden: 15,78 Mio. ha landwirtschaftlicher Fläche (davon 11,03 Mio. ha Ackerfläche) (Fritsche et al. 2004, S.184) bzw. 17,02 Mio. ha (davon 12,02 Mio. ha Ackerfläche) (Thrän et al. 2005, S.92).

Die landwirtschaftliche Nutzfläche wird sich auch zukünftig durch *Flächenverbrauch für Siedlungs- und Verkehrsflächen* verringern. Dies wird in den Studien berücksichtigt, allerdings mit unterschiedlichen Vorgehensweisen. Beispielsweise wird für Deutschland in der Studie »Europäische nachhaltige Biomassenutzung« die landwirtschaftlich genutzte Fläche um 0,051 %/Jahr reduziert, während in der EEA-Studie »Environmentally-compatible bioenergy« die nicht mehr für die Nahrungsmittelproduktion benötigte Fläche pauschal um 2 % verringert wird. Teilweise werden die Annahmen nicht offengelegt. Insgesamt dürfte der Einfluss dieses Faktors auf die Flächenpotenziale eher gering sein.

TAB. 15 EINFLUSSFAKTOREN FÜR DIE ENTWICKLUNG DES FLÄCHENPOTENZIALS FÜR ENERGIEPFLANZEN

| Wirkungskategorie | Einflussfaktor |
|--|--|
| Flächenverfügbarkeit | Flächenverbrauch (für Siedlungs-, Verkehrsflächen, etc.) Brachflächen Flächen für Naturschutz Flächen für stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe Überschüsse/Defizite bei Marktordnungsprodukten (Selbstversorgungsgrad) Leistungsentwicklung in der Tierproduktion (Futtermittelverwertung) |
| Flächenproduktivität | Ertragsentwicklung in der Pflanzenproduktion Beschränkungen durch Umwelt- und Naturschutzaufgaben Entwicklung des ökologischen Landbaus |
| Flächenbedarf für Nahrungsmittelversorgung | Bevölkerungsentwicklung Ernährungsmuster (Nahrungsmittelverbrauch und -zusammensetzung) |

Quelle: eigene Zusammenstellung

Brachflächen umfassen obligatorisch stillgelegte Flächen, die nicht zur Produktion nachwachsender Rohstoffe genutzt werden, und freiwillig stillgelegte Flächen, für die Direktzahlungen der EU gewährt werden. Im Durchschnitt der Jahre 2000/2003 betragen die Grün- und Schwarzbrachflächen in Deutschland rund 862.000 ha (Henze/Zeddies 2007). Diese Brachflächen gehen als potenzielle Anbauflächen für Energiepflanzen in die Flächenpotenzialabschätzung ein.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Flächenpotenziale haben die *Annahmen zum Umwelt- und Naturschutz*, die in den Studien szenarienabhängig sind. Beispielsweise reduziert sich in der Studie »Ökologisch optimierter Ausbau EE« die für Energiepflanzen verfügbare Fläche im Jahr 2010 um rund 2,3 Mio. ha, wenn die drei Ziele »Nachhaltigkeitsziele der Bundesregierung wie Ausweitung des Ökolandbaus«, »Bereitstellung von Flächen zum Biotopverbund gemäß § 3 und § 5 des Bundesnaturschutzgesetzes« und »Bepflanzung aller erosionsgefährdeten Ackerstandorte mit mehrjährigen Kulturen« berücksichtigt werden (Nitsch et al. 2004a, S.20). Differierende Annahmensetzungen in den Szenarien tragen hier wesentlich zu den unterschiedlichen Flächenpotenzialen für Energiepflanzen bei (s.u.). Der SRU kritisiert, dass bei den biomassebezogenen Szenarien die derzeit bestehenden natur- und umweltrechtlichen Regelungen nicht ausreichend berücksichtigt wurden (SRU 2007, S.29).

Der *Flächenbedarf für die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe* steht ebenfalls nicht für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung. Allgemein wird erwartet, dass sich die stoffliche Nutzung nur langsam ausweiten wird. Eine Abschätzung geht davon aus, dass sich der Flächenbedarf für die Verwendungsbereiche Chemierohstoffe und Werkstoffe in Deutschland von 261.000 ha im Jahr 2004 über 312.000 ha im Jahr 2010 auf 381.000 ha im Jahr 2020 erhöhen wird (Nusser et al. 2007). In den analysierten Studien werden mögliche Annahmen zur stofflichen Nutzung nicht offengelegt.

Einen wesentlichen Beitrag zu den Flächenpotenzialen liefert der angenommene *Abbau von Überschüssen*. Agrarflächen, auf denen Überschüsse sogenannter Marktordnungsprodukte (Getreide, Zucker, Ölfrüchte, Einweißpflanzen, Milch, Rindfleisch u.a.) erzeugt und überwiegend auf den Weltmarkt exportiert werden, werden als potenzielle Flächen für Bioenergieträger angesehen (Thrän et al. 2005, S. 72). Es wird angenommen, dass die Nettoexportüberschüsse (d.h. Saldo der Exporte und Importe) abgebaut und die mit ihrer Erzeugung gebundenen Produktionsflächen zukünftig zur Verfügung stehen werden. Damit wird ein *Selbstversorgungsgrad von 100 %* angenommen. Für Deutschland ergibt sich eine Fläche von rd. 1,5 Mio. ha (Henze/Zeddies 2007). Eine Ausnahme bildet die Veredelungsproduktion der Schweine- und Geflügelfleischerzeugung, bei der für Deutschland ein Importüberschuss besteht. Da hier von komparativen Kostennachteilen Deutschlands gegenüber den Ländern mit Exportüberschüssen (wie Dänemark, Niederlande, Übersee) ausgegangen wird, werden diese Defizite in der Flächenabschätzung nicht berücksichtigt. Ebenso wird bei Agrarprodukten mit defizitärer Selbstversorgung wie z.B. Soja unterstellt, dass eine konkurrenzfähige Eigenerzeugung nicht erfolgen kann und diese Importe weiter getätigt werden, d.h. keine zunehmende Selbstversorgung angestrebt wird, die zulasten der Energiepflanzenpotenziale gehen müsste (Thrän et al. 2005, S. 72).

Dahinter steht faktisch das *agrarpolitische Szenario einer weiteren Liberalisierung* der europäischen Agrarpolitik und internationalen Agrarmärkte. Damit wird der bisherige Trend der Reformen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) fortgeschrieben und im Rahmen der WTO eine erfolgreiche internationale Handelsliberalisierung erwartet (EEA 2006, S. 19). Somit wird ein spezifischer Entwicklungsweg aus dem Spektrum zukünftiger agrarpolitischer Entwicklungsmöglichkeiten zugrunde gelegt.

Ein wichtiger Faktor für die energetisch nutzbaren Flächenpotenziale ist die *zukünftige Nahrungsmittelnachfrage*. Der gesamtwirtschaftliche Nahrungsmittelverbrauch wird durch die Bevölkerungsentwicklung (Bevölkerungszahl) und die Entwicklung der Ernährungsgewohnheiten (Nahrungsmittelverbrauch pro Kopf) bestimmt. Bis 2010 wird für Deutschland eine unveränderte Bevölkerung bzw. eine leicht zunehmende Bevölkerung erwartet, danach eine Abnahme der Bevölkerungszahl, wobei die langfristige Abschätzung größere Unterschiede aufweist (Tab. 16).

TAB. 16 ABSCHÄTZUNG DER BEVÖLKERUNGSENTWICKLUNG IN DEUTSCHLAND (IN MIO.)

| Studie | Jahr | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|
| | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Ökologisch optimierter Ausbau EE | 82,2 | 82,1 | 80,8 | 77,9 | 73,3 | 67,8 |
| Nachhaltige Biomasse-nutzung | 82,2 | 82,1 | 80,8 | 77,9 | – | – |
| Leitstudie 2007 | 82,2 | 82,4 | 81,4 | 79,4 | 77,3 | 75,1 |
| Europäische nachhaltige Biomasse-nutzung | 82,2 | 83,1 | 80,7 | – | – | – |

Quelle: Nitsch et al. 2004; Fritsche et al. 2004; Nitsch 2007; Thrän et al. 2005

Während für die Bevölkerungsentwicklung Abschätzungen (von Statistischem Bundesamt, Europäischer Kommission und UNO) vorliegen, gibt es für die Entwicklung des Nahrungsmittelverbrauchs pro Kopf keine verwendbaren Prognosen. In der Studie »Europäische nachhaltige Biomassenutzung« ist aus der Vergangenheitsentwicklung (von 1994 bis 2002) die zukünftige Verbrauchsentwicklung abgeschätzt worden. Danach steigt für Deutschland der Verbrauch pro Kopf bis 2010 um 2,1 %, für den Zeitraum 2010 bis 2020 wird keine Veränderung unterstellt (Thrän et al. 2005, S. 76 ff.). In den anderen Studien werden keine Angaben zu veränderten Ernährungsmustern gemacht und vermutlich keine entsprechenden Annahmen getroffen. Der zukünftige Pro-Kopf-Verbrauch ist äußerst schwierig einzuschätzen (Henze/Zeddies 2007). Insbesondere Veränderungen beim Fleischkonsum hätten allerdings einigen Einfluss auf die Flächenpotenziale.

Ein ganz wesentlicher Faktor bei den Energiepflanzenpotenzialen ist schließlich die *Produktivitätssteigerung in der Landwirtschaft*. Die Produktivitätserhöhung führt einerseits dazu, dass für die Erzeugung der gleichen Nahrungsmittelmenge weniger Land benötigt wird. Die Produktivitätssteigerung in der Pflanzenproduktion bedeutet andererseits, dass beim Energiepflanzenanbau steigende Energieerträge pro Fläche erzielt werden können. Die Studien gehen von einer Ertragssteigerung in der Pflanzenproduktion entsprechend den Entwicklungen der letzten Jahre aus. Die erwarteten Ertragssteigerungen sind ein wesentlicher Bestimmungsfaktor für die zukünftig zur Verfügung stehenden Flächenpotenziale. Auch die Produktivitätssteigerung in der Tierproduktion führt zu Flächenfreiset-

zungen, da durch eine bessere Futtermittelverwertung weniger Fläche für die Futtermittelproduktion benötigt wird. Die Studie »Europäische nachhaltige Biomasse-nutzung« geht für den gesamten Zeitraum von 2000 bis 2010 von einem durchschnittlichen jährlichen Ertragszuwachs von 1,516 % aus, was pro Jahrzehnt zu einem zusätzlichen Flächenpotenzial von 2,58 Mio. ha führt (Thrän et al. 2005, S. 75, 86). Damit haben die Annahmen zur zukünftigen Ertragsentwicklung entscheidenden Einfluss auf die Potenzialabschätzungen. Es lassen sich sowohl Argumente für optimistischere als auch für pessimistischere Annahmen anführen (Henze/Zeddies 2007).

Die zukünftige *Entwicklung des ökologischen Landbaus* hat ebenfalls Auswirkungen auf Flächenpotenziale für Energiepflanzen. Die geringeren Erträge des ökologischen Landbaus bewirken einen höheren Flächenbedarf für die gleiche Nahrungsmittelnachfrage. Nur in einer Studie (»Nachhaltige Biomasse-nutzung«) sind Annahmen zum ökologischen Landbau getroffen worden. Danach wird im Jahr 2030 ein Anteil von 10 % im Pflanzenbau und in der Milchwirtschaft, 20 % für Rindfleisch, 3 % für Schweinefleisch und 15 % für Eier erwartet (Fritsche et al. 2004, S. 185). In der EEA-Studie sind 30 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche für umweltorientierte Bewirtschaftungen reserviert (EEA 2006, S. 6), ohne explizit den ökologischen Landbau auszuweisen.

ERGEBNISSE DER ABSCHÄTZUNG VON FLÄCHENPOTENZIALEN

Die Flächenpotenziale für Energiepflanzen, die in den verschiedenen Studien und deren Szenarien für die Jahre 2010, 2020 und 2030 ermittelt wurden, sind in Abbildung 29 zusammengestellt. Den Abschätzungen ist gemeinsam, dass Flächenpotenziale über den Betrachtungszeitraum deutlich zunehmen. Zwischen den Studien bestehen allerdings deutliche Unterschiede.

Bei den *Ausbauszenarien mit einer Ausrichtung auf ein maximales Biomasseangebot* (Tab. 17 oberer Teil u. Abb. 29) reichen die Flächenpotenziale für Energiepflanzen im Jahr 2010 von rd. 1,72 bis 3,54 Mio. ha und im Jahr 2020 sogar von rd. 2,03 bis 5,55 Mio. ha. Die ansteigenden Flächenpotenziale werden maßgeblich bestimmt durch die Einbeziehung bisheriger Brachflächen, durch eine angenommene Liberalisierung der Agrarmärkte und einen dadurch bewirkten Preisverfall, der zur Freisetzung von Ackerland aus der Nahrungsmittelproduktion führt, sowie durch zukünftige Ertragssteigerungen in der Pflanzenproduktion.

Die Flächenpotenziale sind deutlich niedriger, nehmen aber ebenfalls im Laufe der Zeit zu, wenn die Restriktionen berücksichtigt werden, die von Umwelt- und Naturschutzzielen ausgelöst werden. Die *Ausbauszenarien mit Berücksichtigung von Umwelt- und Naturschutzanforderungen* (Tab. 17 unterer Teil u. Abb. 29) weisen noch größere Unterschiede auf, mit Flächenpotenzialen für Energiepflanzen im Jahr 2010 von rd. 0,15 bis 2,87 Mio. ha und im Jahr 2020 von rd. 1,1 bis 4,71 Mio. ha.

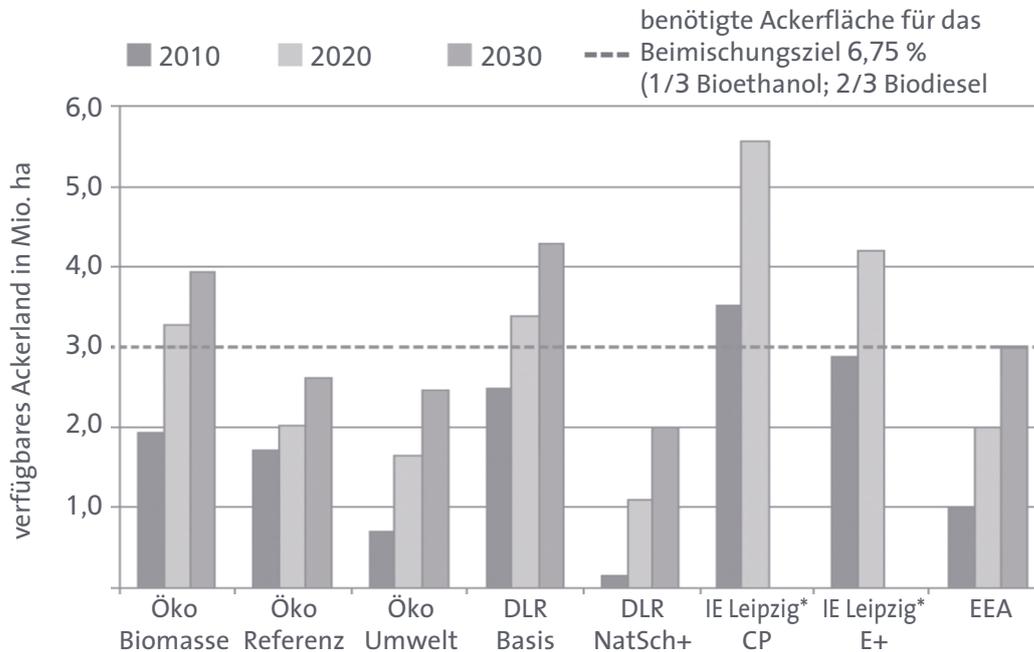
TAB. 17 POTENZIELLE ANBAUFLÄCHEN FÜR ENERGIEPFLANZEN IN DEUTSCHLAND
(IN MIO. HA ACKERFLÄCHE)

| Studie | Szenario | Jahr | | | |
|--|--------------------------------------|------|------|------|------|
| | | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 |
| <i>Ausbauszenarien mit maximalem Biomasseangebot</i> | | | | | |
| Ökologisch optimierter Ausbau EE | Basis | – | 2,50 | 3,40 | 4,30 |
| Nachhaltige Biomassenutzung | Referenz | – | 1,72 | 2,03 | 2,61 |
| Europäische nachhaltige Biomassenutzung | Biomasse | – | 1,94 | 3,26 | 3,94 |
| Europäische nachhaltige Biomassenutzung | Current Policy | 2,06 | 3,54 | 5,55 | – |
| <i>Ausbauszenarien mit Umwelt- und Naturschutz einschränkungen</i> | | | | | |
| Ökologisch optimierter Ausbau EE | Naturschutz + | – | 0,15 | 1,10 | 2,00 |
| Nachhaltige Biomassenutzung | Umwelt | – | 0,70 | 1,65 | 2,47 |
| Europäische nachhaltige Biomassenutzung | Environment + | 1,80 | 2,87 | 4,71 | – |
| Environmentally-compatible bioenergy | Environmentally-compatible bioenergy | – | 1,00 | 2,00 | 3,00 |

Quelle: EEA 2006, S.22; Fritsche et al. 2004, S.190; Nitsch et al. 2004, S.131, 149; Thrän et al. 2005, S.100 u. 107

Die Unterschiede beruhen darauf, in welchem Umfang Begrenzungen durch Umwelt- und Naturschutzanforderungen in die Szenarien einbezogen wurden. So werden beispielsweise die NATURA-2000-Schutzgebiete und die gesetzliche Vorgabe von 10 % Biotopverbundfläche bezogen auf die Gesamtfläche von Deutschland (§ 3 BNatSchG) je nach Studie unterschiedlich berücksichtigt. Nach Einschätzung des SRU sind die Szenarien mit einer Ausrichtung auf ein maximales Biomasseangebot nach dem heutigen natur- und umweltrechtlichen Rahmen nicht realistisch und sollten nicht als Datengrundlage für politische Entscheidungen dienen. Selbst in den umwelt- und naturschutzorientierten Szenarien wird aus Sicht des SRU den Naturschutzbelangen nicht ausreichend Rechnung getragen, und weiterführende naturschutzfachliche Forderungen werden nicht abgebildet (SRU 2007, S.29).

ABB. 29 FLÄCHENPOTENZIALE FÜR DEN ANBAU VON ENERGIEPFLANZEN (OHNE GRÜNLAND) IN DEUTSCHLAND IN DEN JAHREN 2010, 2020 UND 2030



* IE-Studie: keine Angabe für 2030

Öko = Studie »Nachhaltige Biomasseerzeugung« (Fritsche et al. 2004),
 DLR = Studie »Ökologisch optimierter Ausbau EE« (Nitsch et al. 2004),
 IE = Studie »Europäische nachhaltige Biomassenutzung« (Thrän et al. 2005),
 EEA = Studie »Environmetally-compatible bioenergy« (EEA 2006)

Quelle: SRU 2007, S. 27

ZUM VERGLEICH: ERGEBNISSE DER »LAND-USE-CHANGE«-SZENARIEN

Zukünftige Veränderungen der Landnutzung (land use change) sind in einigen großen Projekten und Studien auf globaler Ebene und für Europa untersucht worden. Diese Studien arbeiten ebenfalls mit Szenarien. Da in den bisher analysierten Szenariestudien die Flächenpotenziale für Energiepflanzen eine zentrale Rolle spielen, können aus einem Vergleich einige interessante Hinweise zur Aussagekraft der Szenariestudien zur Bioenergie bzw. Energiepflanzen gewonnen werden.

Die Methodik und Szenarien »Land-use-Change«-Untersuchungen werden hier nicht im Einzelnen vorgestellt. Vielmehr sollen nur vier Punkte herausgestellt werden, die für Abschätzungen zu Energiepflanzen besonderer Relevanz sind:

- › *Szenariobildung*: Die Szenariestudien zur Landnutzungsänderung arbeiten mit explorativen Szenarien, die alternative gesellschaftliche, politische und ökonomische Entwicklungen (teilweise inklusive agrarpolitischer Alternativen)

beschreiben. In der Regel wird der SRES-Ansatz des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) als Ausgangspunkt genutzt. Diese Szenarien bilden die beiden Spannungsfelder »Eigeninteresse (Liberalisierung) und Solidarität« und »globale und regionale Orientierung« ab. Daraus ergeben sich vier Typen von Szenarien, und zwar »Globaler Markt«, »Globale Gesellschaft«, »Kontinentale Barrieren« und »Regionale Nachhaltigkeit« (Busch 2006, S. 124). Die Ausformulierung und Quantifizierung dieser Szenarien weist in den einzelnen Studien jeweils spezifische Unterschiede auf, die hier aber nicht von Interesse sind. Wichtig ist, dass damit ein deutlich weiteres Spektrum zukünftiger Entwicklungsmöglichkeiten herausgearbeitet wird, als bei der Nutzung normativer Szenarien für Energiepflanzen berücksichtigt wird.

- › *Entwicklung der zukünftigen Landnutzung*: Die Szenarienanalyse ergibt nicht nur erhebliche Unterschiede zwischen den Szenarientypen, sondern für einen Szenarientyp weisen unterschiedliche Studien teilweise entgegengesetzte Richtungen der Landnutzungsänderung auf. Nicht in allen Fällen kommt es zu einer Freisetzung landwirtschaftlicher Flächen, wie sie in den Potenzialabschätzungen für Energiepflanzen unterstellt werden. Beispielsweise kommt es in einigen Szenarien zu einer Zunahme der genutzten Ackerfläche, bedingt durch geringe Produktivitätssteigerungen und den Ausbau der exportorientierten Nahrungsmittelerzeugung, teilweise aber auch durch die Ausdehnung der Biokraftstoffproduktion (Busch 2006, S. 132). Damit bestehen erhebliche Unsicherheiten, in welchem Umfang zukünftig landwirtschaftliche Flächen für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung stehen werden.
- › *Technische Entwicklung und zukünftige Ertragsentwicklung*: Technische Fortschritte sind entscheidend für erzielbare Ertragssteigerungen (die wiederum den zukünftigen Flächenbedarf erheblich beeinflussen) und schwierig abzuschätzen. Die technische Entwicklung ist von sozioökonomischen Entwicklungen abhängig. Beispielsweise wird unterschiedlich beurteilt, ob die technische Entwicklung am schnellsten voranschreitet in einer globalisierten Welt (u.a. aufgrund der schnellen Verbreitung von Informationen) oder in einer regionalisierten Welt (u.a. aufgrund der Konkurrenz zwischen den Regionen). Insgesamt differieren die Annahmen zur Ertragsentwicklung zwischen den Studien erheblich (Busch 2006, S. 131), entgegen der Fortschreibung von Ertragsentwicklungen in den Flächenpotenzialabschätzungen für Energiepflanzen.
- › *Liberalisierung und Flächennutzung*: In den Energiepflanzenpotenzialabschätzungen wird davon ausgegangen, dass eine Liberalisierung zum Abbau von Exportüberschüssen und in deren Folge zur Flächenfreisetzung führt. Bei den Landnutzungsstudien wird dagegen teilweise angenommen, dass Produktionssteigerungen, die über die Nachfrage hinausgehen, und der Abbau des Außenschutzes, der einen Abbau nichtwettbewerbsfähiger Agrarproduktion bewirkt, zumindest teilweise zu einer Extensivierung anstelle einer Freisetzung landwirtschaftlichen Produktionsfläche für neue Nutzungen führt. Die Be-

gründung ist, dass bei sinkenden Agrarpreisen (beispielsweise infolge einer Liberalisierung) die landwirtschaftlichen Betriebe versuchen, ihre Betriebsfläche auszudehnen und zu extensivieren, um ihre Wirtschaftlichkeit bei sinkendem Gewinn pro Produkteinheit zu wahren (Meijl et al. 2006; Rounsevell et al. 2005). Dies zeigt, dass es unterschiedliche Einschätzungen gibt, wie sich veränderte agrarpolitische Rahmenbedingungen auf die Flächenpotenziale auswirken.

FLÄCHENPOTENZIALABSCHÄTZUNGEN FÜR EINZELNE BIOENERGIETRÄGER

Neben den Studien zu den Ausbaustrategien gibt es eine ganze Reihe von *Studien zu einzelnen Bioenergieträgern*, insbesondere zu den Biokraftstoffen und zu Biogas. Diese enthalten teilweise ebenfalls Abschätzungen der Flächenpotenziale (Tab. 18). Die ermittelten Flächenpotenziale haben die gleiche Größenordnung wie die der Ausbaustrategien. Problematisch ist aber, dass die ermittelten Potenziale ausschließlich einem Nutzungsbereich – d.h. den Biokraftstoffen bzw. dem Biogas – zugeordnet werden. Mit dieser Vorgehensweise werden die bestehenden Nutzungskonkurrenzen nicht beachtet (TAB 2006, S.18). Der potenzielle Beitrag zur Kraftstoffversorgung wird überschätzt, wenn nicht der gleichzeitige Ausbau der Energiepflanzennutzung für Strom und Wärme berücksichtigt wird.

TAB. 18 POTENZIELLE ANBAUFLÄCHEN FÜR ENERGIEPFLANZEN IN DEUTSCHLAND, ERGEBNISSE AUS STUDIEN ZU BOKRAFTSTOFFEN BZW. BIOGAS (IN MIO. HA ACKERFLÄCHE)

| Studie | Szenario | Jahr | | | | |
|--|-----------------------------------|------|------|------|---------|---------|
| | | 2000 | 2005 | 2010 | 2020 | 2030 |
| Rohstoffverfügbarkeit Biokraftstoffe (Zeddies 2006) | theoretische Flächenpotenziale | 0,98 | – | 2,47 | 5,22 | – |
| BtL-Realisierungsstudie (dena 2006) | Umweltszenario | – | 1,1* | – | – | 2,8 |
| | Biomasseszenario | – | 1,1* | – | – | 4,2 |
| Biomassenutzung – Schwerpunkt Biogas (Wuppertal Institut 2006) | Flächenpotenziale Energiepflanzen | – | 1,5 | – | 2,0 | 2,65 |
| Biogaseinspeisung (Hofmann et al. 2006) | Flächenpotenzial | – | – | – | ca. 2,0 | ca. 2,6 |

* Stilllegungsfläche Jahr 2003

Quelle: dena 2006, S.9; Hofmann et al. 2006, S.94; Wuppertal Institut 2006, S.14; Zeddies 2006, S.11 f.

ENERGIEPOTENZIALE UND BEITRAG ZUR ERNEUERBAREN ENERGIEVERSORGUNG

2.4

Bei der Abschätzung der Energiepotenziale, die sich aus den entsprechenden Flächenpotenzialen für Energiepflanzen ergeben, ist wiederum eine ganze Reihe von Annahmen notwendig. Tabelle 19 gibt einen Überblick über wichtige Faktoren, die die Energiepotenziale auf der Basis von Energiepflanzen beeinflussen.

Zunächst müssen Annahmen zur Flächennutzung getroffen werden, z. B. zu den Flächenanteilen der verschiedenen Energiepflanzenarten unter Beachtung bestehender Fruchtfolgerestriktionen, den zukünftig möglichen Ertragssteigerungen und der Intensität des Energiepflanzenanbaus. Dann sind die in die Abschätzung einzubeziehenden Produktlinien auszuwählen, wobei in der Regel neben den heute verfügbaren Konversionstechnologien auch neue, noch in der Entwicklung befindliche Technologien berücksichtigt und Effizienzfortschritte bei der Konversion angenommen werden. Schließlich wird die Abschätzung der Energiepotenziale maßgeblich dadurch geprägt, welche Möglichkeiten der Endenergienutzung mit welchen Anteilen einbezogen werden.

TAB. 19 EINFLUSSFAKTOREN FÜR DIE ENTWICKLUNG DES ENERGIEPOTENZIALS AUF DER BASIS VON ENERGIEPFLANZEN

| Wirkungskategorie | Einflussfaktor |
|-------------------|--|
| Flächennutzung | Anteil einzelner Energiepflanzenarten an der Flächennutzung Fruchtfolgerestriktionen Ertragsentwicklungen Intensität der Flächennutzung |
| Produktlinien | berücksichtigte Konversionstechnologien Effizienzfortschritte bei Konversion Einführung neuer Konversionstechnologien |
| Nutzungsbereiche | Anteil der verschiedenen Endenergienutzungen (Strom/Wärme und Kraftstoff) |

Quelle: eigene Zusammenstellung

Die *Energieerträge von Energiepflanzen pro Flächeneinheit* weisen in Abhängigkeit von Produktlinie und Nutzungsbereich erhebliche Unterschiede auf. Die Nutzung von Festbrennstoffen wie Holz von Kurzumtriebsplantagen zur Wärme- bzw. Kraft-Wärme-Nutzung sowie die Kraft-Wärme-Nutzung von Biogas und Pflanzenöl ergeben wesentlich höhere Energieerträge/ha als die Nutzung von Energiepflanzen zur Herstellung von Kraftstoffen sowie zur alleinigen Stromnut-

zung. Bei den Kraftstoffen ergeben sich bei der Nutzung von Biogas höhere Energieerträge als bei der Nutzung flüssiger Biokraftstoffe wie Biodiesel, Bioethanol oder BtL (SRU 2007, S. 30).

Die analysierten Szenariestudien arbeiten mit unterschiedlichen Annahmen und legen nicht alle Annahmen offen, was die Nachvollziehbarkeit und den Vergleich erheblich erschwert. Außerdem ist bei einem Teil der Studien der Anteil der Energiepflanzen am Bioenergiepotenzial nicht ausgewiesen. Trotz dieser Einschränkungen werden die vorliegenden Abschätzungen der *Energiepotenziale für Deutschland* vorgestellt (Tab. 20). Bei den Angaben handelt es sich teilweise um Nachfragepotenziale und teilweise um Angebotspotenziale. Die Nachfragepotenziale ergeben sich aus den Ausbaustrategien und den entsprechenden energiewirtschaftlichen Annahmen. Die Angebotspotenziale stellen dagegen Abschätzungen ausschließlich auf der Basis der verfügbaren landwirtschaftlichen Flächenpotenziale dar.

Wie die Tabelle 20 zeigt, ist bei den Energiepotenzialen die Schwankungsbreite noch größer als bei den Flächenpotenzialen. Dies ist auf die Unterschiede bei Konstruktion und Annahmen der Szenarien sowie auf die Differenzen bei den zuvor abgeschätzten Flächenpotenzialen zurückzuführen.

Bei den *Referenzszenarien* zeigt sich, dass auch ohne aktive Politik zum Ausbau der erneuerbaren Energien der erwartete Beitrag der Energiepflanzen zum Primärenergiebedarf zunehmen, aber mit 37 PJ bzw. 143 PJ im Jahr 2020 begrenzt bleiben wird.

Die *Ausbauszenarien mit einer Ausrichtung auf ein maximales Biomasseangebot* ergeben deutlich höhere Zuwächse. Der Beitrag der Energiepflanzen zum Primärenergiebedarf liegt im Jahr 2020 zwischen 239 PJ und 519 PJ aus inländischer Erzeugung. In der Studie »EU Bioenergy« sind auch Biomasse- bzw. Bioenergie-trägerimporte kalkuliert worden. Das Ergebnis der entsprechenden Szenarien ist, dass bei hohen CO₂-Zertifikatpreisen (Annahme: 100 Euro/t CO₂-eq.) rund 70 % der Energiepotenziale auf Importen beruhen.

Die *Ausbauszenarien mit Berücksichtigung von Umwelt- und Naturschutzanforderungen* weisen ebenfalls deutliche Differenzen auf, insbesondere in Abhängigkeit davon, in welchem Umfang die Flächenpotenziale durch Begrenzungen zum Umwelt- und Naturschutz verringert wurden.

Die Szenarienergebnisse führen zu unterschiedlichen *Anteilen der Energiepflanzen am zukünftigen Primärenergieverbrauch*. Beispielsweise beträgt in der Studie »Nachhaltige Biomassennutzung« der Anteil der Energiepflanzen am Primärenergiebedarf im Jahr 2020 im Szenario »Umwelt« 1,7 % (bei einem Anteil von 6 % Bioenergie und von 11 % regenerative Energie insgesamt) und im Szenario »Biomasse« 4 % (bei einem Anteil von 9 % Bioenergie und von 14 % regenerative Energie insgesamt) (Fritsche et al. 2004, S.208 f.).

TAB. 20 ENERGIEPOTENZIALE ENERGIEPFLANZEN IN DEUTSCHLAND (IN PJ)

| Studie | Szenario | Jahr | | | |
|--|--|------|--------------|----------------|-------|
| | | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 |
| <i>Referenzszenarien</i> | | | | | |
| Nachhaltige Biomassenutzung (Nachfragepotenziale) | Referenz | 12 | 19 | 37 | 73 |
| Europäische nachhaltige Biomassenutzung (Angebotspotenziale) | Current Policy | 175 | 560 | 1.274 | – |
| EU Bioenergy (Basisszenario) | No Sustainability Premium (in Klammern inkl. Biomasseimport) | 9 | 53 (55) | 143 (210) | – |
| <i>Ausbauszenarien mit maximalem Biomasseangebot</i> | | | | | |
| Nachhaltige Biomassenutzung (Nachfragepotenziale) | Biomasse | 12 | 340 | 519 | 823 |
| EU Bioenergy (Basisszenario) | Low Sustainability Premium (in Klammern inkl. Biomasseimport) | 9 | 122 (159) | 239 (535) | – |
| EU Bioenergy (Basisszenario) | High Sustainability Premium (in Klammern inkl. Biomasseimport) | 9 | 183 (233) | 310 (1.033) | – |
| <i>Ausbauszenarien mit Umwelt- und Naturschutz einschränkungen</i> | | | | | |
| Nachhaltige Biomassenutzung (Nachfragepotenziale) | Umwelt | 12 | 165 | 226 | 354 |
| Nachhaltige Biomassenutzung (Nachfragepotenziale) | Nachhaltig | 12 | 297 | 512 | 821 |
| Europäische nachhaltige Biomassenutzung (Angebotspotenziale) | Environment + | 100 | 185 | 486 | – |
| Environmentally-compatible bioenergy | Environmentally-compatible bioenergy | – | ~ 210 | ~ 580 | ~ 960 |

Quelle: EEA 2006, S. 28; Fritsche et al. 2004, S. 208 f.; Siemons et al. 2004, S. 185; Thrän et al. 2005, S. 135

Schließlich gehen die Einschätzungen auseinander, inwieweit ambitionierte Ausbauziele durch *einheimische Produktion* gedeckt werden können oder einen erheblichen *Importbedarf für Bioenergieträger* auslösen werden. Die aus den klimapolitischen Zielen abgeleiteten Ausbauszenarien sollen den möglichen Beitrag der Bioenergie in Deutschland (bzw. in der EU) zum Ausbau der erneuerbaren Energien beschreiben. Die Potenzialabschätzungen sind daher auf die inländische



Erzeugung beschränkt, wobei ausreichende Potenziale in Deutschland gesehen werden. Teilweise wurde kritisiert, dass diese Einschätzungen zu optimistisch sind und Umwelt- und Naturschutzbeschränkungen nicht ausreichend berücksichtigt wurden. Der SRU kommt zu dem Ergebnis, dass ambitionierte Ziele für die Bereitstellung von Strom, Wärme und Kraftstoffen aus Energiepflanzen und biogenen Reststoffen nicht alleine mit Biomasse nationaler Herkunft zu erreichen sind und somit der Import von Biomasse bzw. Bioenergieträgern – auch aus nichteuropäischen Staaten – forciert werden wird (SRU 2007, S. 34, 36).

OFFENE FRAGEN

2.5

Abschließend und zusammenfassend werden im Folgenden wichtige Unsicherheiten beschrieben, die bei den Potenzialabschätzungen und Ausbauszenarien identifiziert werden konnten:

- › Es wird in den Szenarienstudien nur der *Bruttoenergieertrag* ausgewiesen. Der Nettoenergieertrag ist niedriger, aber nicht bestimmt. Die Energiebilanz fällt je nach Produktlinie und Nutzungsbereich unterschiedlich aus (Kap. IV.3.1). Insbesondere für bisherige Biokraftstoffe werden teilweise ungünstige Input-Output-Relationen bestimmt, sodass hier der Nettoenergieertrag niedrig ist.
- › Die zukünftigen *agrarpolitische Rahmenbedingungen* wie beispielsweise eine weitere Liberalisierung der Agrarmärkte und der Abbau des Außenschutzes haben einen entscheidenden Einfluss auf die Energiepflanzenutzung. Die Ausbaustrategien für Deutschland bilden als normative Szenarien nicht das gesamte Spektrum agrarpolitischer Entwicklungsmöglichkeiten ab. Die Fragen des Außenschutzes (Kap. IV.4.3) und des Imports von Bioenergieträgern werden teilweise nicht ausreichend behandelt. Die Potenzialabschätzungen enthalten tendenziell eine Inkonsistenz, weil im Rahmen einer weiteren Liberalisierung der europäischen Agrarpolitik und der internationalen Agrarmärkte einerseits eine Freisetzung von Agrarflächen für den Energiepflanzenanbau durch den Abbau von Überschüssen und subventionierten Exporten erfolgen soll (Kap. IV.2.3), andererseits aber der Import von Bioenergieträgern aus Ländern außerhalb der EU mit kostengünstigeren Produktionsbedingungen nicht zugelassen wird, was ebenfalls zu liberalisierten Märkten gehören würde.
- › Unstrittig ist, dass *umwelt- und naturschutzpolitische Anforderungen* die Flächenverfügbarkeit und -produktivität für den Energiepflanzenanbau beschränken. Es gibt aber eine kritische Diskussion und unterschiedliche Einschätzungen, ob in den umwelt- und naturschutzorientierten Szenarien die bestehenden rechtlichen Anforderungen und weitergehende Zielsetzungen ausreichend berücksichtigt sind. Die *Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion* und mögliche Konflikte mit der globalen Ernährungssicherung sind bisher unzureichend untersucht, werden aber voraussichtlich an Relevanz gewinnen.



- › Die *Produktivitätsentwicklung in der Landwirtschaft* bestimmt entscheidend mit, welche Flächenpotenziale zukünftig für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung stehen. In den Szenarienstudien wird in der Regel eine Fortschreibung der Vergangenheitsentwicklung vorgenommen. Die zukünftige Ertragsentwicklung ist aber unsicher, wobei es Argumente sowohl für einen niedrigeren als auch für einen höheren Ertragszuwachs gibt. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die landwirtschaftliche Produktion durch die Wirkungen des nicht mehr zu verhindernden Klimawandels einen entsprechenden Anpassungsbedarf zu bewältigen hat.
- › Die Effizienzentwicklung bei den Konversionstechnologien ist ein weiterer wichtiger Einflussfaktor. Auch hier bestehen Unsicherheiten, sowohl im Hinblick auf den benötigten Zeitraum bis zur Einführung neuer Konversionstechnologien (z. B. BtL) als auch bei den Effizienzfortschritten schon verfügbarer Technologien. Dies trägt dazu bei, dass die abgeschätzten Energiepotenziale für die Energiepflanzenutzung erhebliche Schwankungen aufweisen (Kap. IV.2.4).
- › Die *Ausgestaltung der Förderpolitik* hat Einfluss auf die Erfolgsaussichten der verschiedenen Produktlinien und beeinflusst wesentlich, ob Energiepflanzen für die Endenergienutzungsbereiche Strom und Wärme oder Kraftstoffe eingesetzt werden. Ambitionierte Ziele für Biokraftstoffe führen zwangsläufig zur Einschränkung der Potenziale für den Strom- und Wärmebereich. Die Ausrichtung der Förderpolitik beeinflusst, welche Energiesubstitutionen und CO₂-Einsparungen erzielbar sind, welche Umweltwirkungen auftreten und wie die Kostenentwicklung sich gestaltet.

ÖKOLOGISCHE WIRKUNGEN

3.

Die vorhergesagte Knappheit an fossilen Energieträgern, steigende Energiepreise, der Klimawandel und die Suche nach neuen Einkommens- und Beschäftigungsmöglichkeiten für ländliche Räume haben dazu geführt, dass die Energiegewinnung aus Biomasse an Bedeutung in der politischen Diskussion gewonnen hat. Die an biogene Energieträger gerichteten Erwartungen als umweltfreundliche Lieferanten für Kraftstoffe, Strom und Wärme sind hoch. Das zeigen die energiepolitischen Ziele auf nationaler und europäischer Ebene. Der EU-Aktionsplan für Biokraftstoffe sieht vor, dass bis 2010 5,75 % und bis 2020 10 % des Kraftstoffverbrauchs durch Biokraftstoffe gedeckt werden sollen (Kap. III.1.2). Angesichts dieser ambitionierten Ziele gibt es – insbesondere von den Umweltverbänden – immer mehr Stimmen, die befürchten, dass biogene Energieträger – insbesondere Biokraftstoffe – mehr Umweltprobleme hervorrufen als beseitigen (Greenpeace 2006; WWF 2007). Andererseits besteht die Hoffnung, dass durch Zertifizierung und Nachhaltigkeitsstandards für Bioenergie unerwünschte öko-



logische (und soziale) Auswirkungen im außereuropäischen Ausland begrenzt werden können.

Die Bewertung von Bioenergie aus Umweltsicht erfolgt meist auf der Basis von Ökobilanzen. Ökobilanzen sind ein Instrument, mit dem die Umweltauswirkungen eines Produktes über dessen Lebensweg hinweg – von der Rohstoffgewinnung bis zur Nutzung und ggf. Entsorgung – erfasst und bewertet werden können. Aus technologiespezifischen Ökobilanzen kann abgeleitet werden, wie die Bioenergieträger im Vergleich untereinander und zur fossilen Referenz abschneiden. Das Ergebnis wird von der definierten Prozesskette und der Referenz beeinflusst. Die ökologischen Effekte einer Bioenergienutzung hängen jedoch auch davon ab, welche Energiepflanzen wo angebaut und in welchem Ausmaß organische Reststoffe wie Stroh genutzt werden. Dies zeigt der von der Europäischen Umweltagentur veröffentlichte Bericht, in dem der Frage nachgegangen wird, wie viel Bioenergie in Europa produziert werden kann, ohne der Umwelt zu schaden (EEA 2006). Außerdem gibt es Umweltaspekte, die in Ökobilanzen nicht erfasst und bewertet werden können.

Vor diesem Hintergrund wird in diesem Kapitel erläutert, was Ökobilanzen sind, wie die Ökobilanzergebnisse für verschiedene Bioenergieträger aussehen und wo die Grenzen der Aussagekraft von Ökobilanzen liegen. Danach werden Effekte einer ausgedehnten Energiepflanzenproduktion diskutiert, die nicht in Ökobilanzen betrachtet werden. Dazu gehören die Wechselwirkungen des Energiepflanzenanbaus mit dem Naturschutz, sein Einfluss auf die Nutzung nichterneuerbarer Phosphatressourcen, den Wasserhaushalt und die Kulturlandschaft.

BIOENERGIEÖKOBILANZEN

3.1

Eine Abschätzung und Bewertung ökologischer Auswirkungen von Produkten auf die Umwelt erfolgt durch das Aufstellen einer Ökobilanz bzw. einer Lebenszyklusanalyse (engl. Life-Cycle-Assessment [LCA]) auf der Basis von Stoff- und Energieströmen. In ihr werden potenzielle Umweltauswirkungen des gesamten Produktlebensweges untersucht und bewertet. Dazu werden In- und Outputströme des Produktes von der Herstellung über die Verwendung bis hin zur Entsorgung in einer Sachbilanz zusammengestellt (Abb. 30 u. 31).

Zur vollständigen ökologischen Bewertung werden verwendbare Produkte, die neben dem Hauptprodukt entstehen, als Kuppelprodukte dem jeweiligen Produktsystem gutgeschrieben. Konkret erfolgt eine *Ökobilanzierung in vier Schritten*:

- > Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens;
- > Erstellung eines Flussdiagramms für den Lebensweg eines Produktes und Ermittlung der Input-Output-Flüsse entlang dieses Lebensweges (sogenannte Sachbilanz);

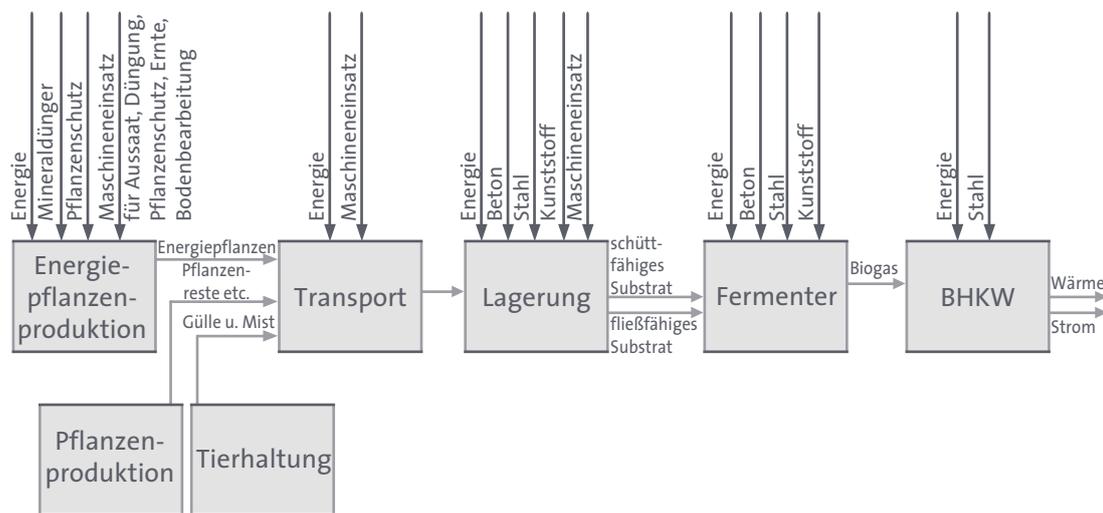
3. ÖKOLOGISCHE WIRKUNGEN



- › Abschätzung und Gewichtung der potenziellen Umweltauswirkungen in verschiedenen Bereichen, sogenannten Wirkungskategorien (z.B. Treibhauseffekt, Eutrophierung, Versauerung etc.);
- › Bewertung: Vergleich von verschiedenen Produkten untereinander und Aufzeigen von Optimierungsmöglichkeiten.

Das methodische Vorgehen bei der Ökobilanz erfolgt gemäß der international gültigen Normen DIN EN ISO 14040 sowie den darauf aufbauenden DIN EN ISO 14041, 14042 und 14043.

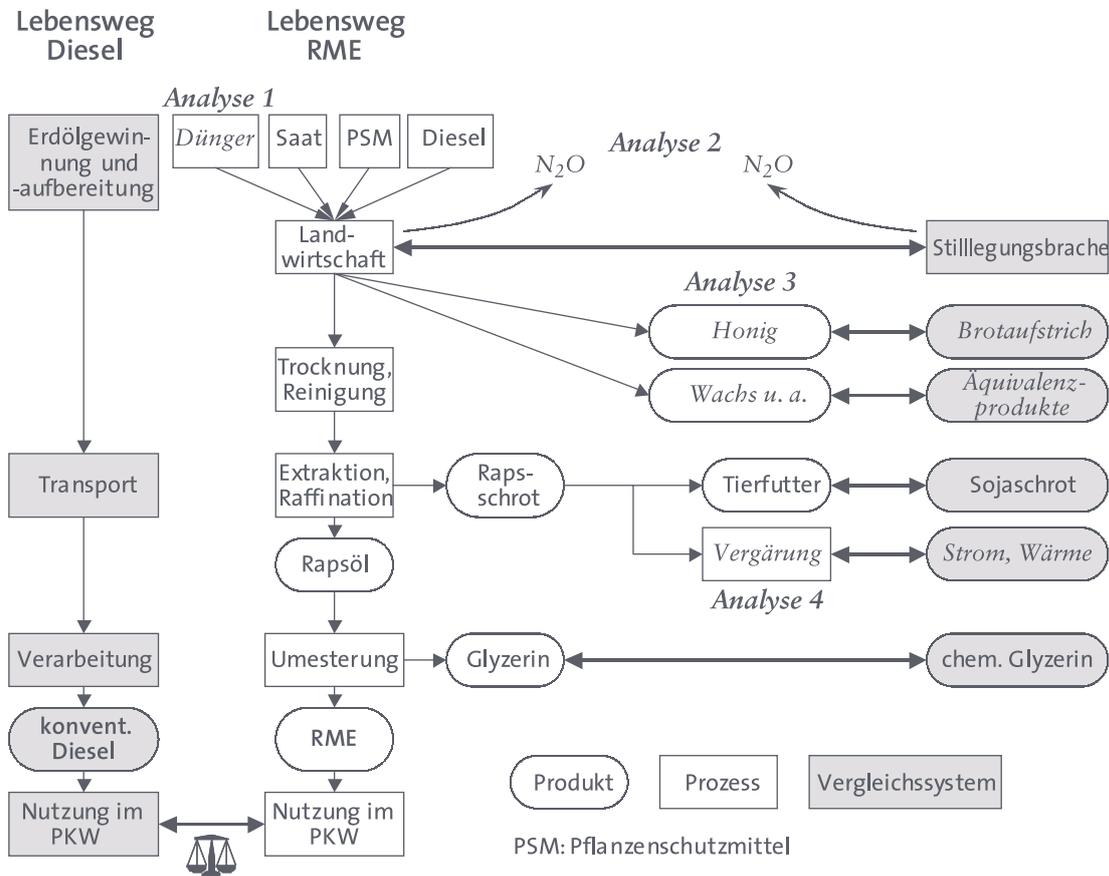
ABB. 30 ENERGIEBEREITSTELLUNG: SCHEMA EINER ÖKOBILANZ DER STROM- UND WÄRMEPRODUKTION AUS BIOGAS



Quelle: Plöchl/Schulz 2003, S.2

Die Ökobilanzergebnisse werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst, beispielsweise ob es sich um biogene Reststoffe oder Energiepflanzen handelt, welche Energiepflanzen wie angebaut werden, welche Nutzenergie aus Biomasse erzeugt wird, welches Verfahren dabei angewandt und wie das Referenzverfahren definiert wird. Die Resultate sind darüber hinaus abhängig von der Tiefe und Genauigkeit der Erfassung aller beteiligten Produkte. Deshalb ist es bei der Erstellung von Ökobilanzen notwendig, sinnvolle Systemgrenzen festzulegen, um alle relevanten Wechselwirkungen mit überschaubarem Aufwand zu analysieren. Zur Interpretation der in der Sachbilanz ermittelten Daten werden diese den jeweils zutreffenden Wirkungskategorien, wie beispielsweise Ressourcenverbrauch, Treibhauseffekt oder Versauerungspotenzial, zugeordnet. Eine Bewertung erfolgt über aus Gewichtungsfaktoren ermittelte Wirkungsindikatoren.

ABB. 31 DARSTELLUNG DER PROZESSKETTEN VON RAPSÖLMETHYLESTER (RME) UND DIESEL MIT ANGABE VON VERGLEICHSSYSTEMEN



Quelle: Gärtner/Reinhardt 2003, S.3

Bereits zu Beginn der 1990er Jahre erschienen erste Ökobilanzen, die sich mit dem Vergleich von fossilen Energieträgern mit Bioenergieträgern auseinandergesetzt haben. Seitdem ist die Anzahl der untersuchten Bioenergieträger und der berücksichtigten Parameter kontinuierlich angestiegen, und auch die Untersuchungsmethodik ist verbessert worden. Dennoch ist eine umfassende ökologische Betrachtung der energetischen Biomassenutzung mittels Ökobilanzen nach Meinung des SRU (2007) bisher nicht erfolgt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Ökobilanzen sehr komplex sind (Reinhardt et al. 2006) und die Forschung mit den Entwicklungen in der Praxis meist nicht Schritt halten kann (Herrmann/Taube 2006; Rode et al. 2005). Dazu kommt, dass die vorliegenden Ergebnisse von Ökobilanzen nicht immer miteinander vergleichbar sind, weil die zugrundegelegten Annahmen wie Bezugsjahr und Systemgrenzen divergieren können. Zudem wurden in vielen Untersuchungen die durch den Energiepflanzenanbau bedingten Klimagasemissionen nicht berücksichtigt (SRU 2007), obwohl die dabei entstehenden Emissionen von Lachgas (N₂O) und Methan (CH₄)

einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis haben können. Deshalb können die Ergebnisse von Ökobilanzen nur bedingt bzw. unter bestimmten Voraussetzungen verallgemeinert werden.

ERGEBNISSE VON BIOENERGIEÖKOBILANZEN

3.1.1

Bioenergieträger gelten als besonders umweltfreundlich, sind sie doch – zumindest auf den ersten Blick – CO₂-neutral und substituieren fossile Rohstoffe. Betrachtet man aber mithilfe der Ökobilanz den gesamten Lebensweg von der Biomasseproduktion über die Umwandlung bis zur energetischen Nutzung, so müssen die genannten Vorteile relativiert werden: So werden beispielsweise für die Produktion von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln wie auch für den eigentlichen landwirtschaftlichen Anbau zum Teil erhebliche Mengen an fossilen Energieträgern verwendet. Durch diesen Verbrauch und die Freisetzung anderer klimarelevanter Gase als CO₂ während der Biomasseerzeugung verschlechtert sich die Klimagasbilanz.

Durch die Anwendung mineralischer Düngemittel kann aus Agrarökosystemen zusätzliches Distickstoffoxid (N₂O) entweichen. Die Mengen sind zwar gering, aber der Einfluss auf die Klimagasbilanz ist aufgrund des hohen Treibhauspotenzials (300mal so hoch wie von CO₂) sehr groß. Die Bilanzierung von N₂O-Emissionen ist schwierig, da es enorme Variationen gibt, abhängig von Klima, Bodenart, Bearbeitung, Kulturpflanzen und Düngung. Meist werden in den Ökobilanzen deshalb die Werte der IPCC (1996) verwendet.

Es gibt eine große Zahl von Veröffentlichungen zu Bioenergieökobilanzen, die einzelne Kulturpflanzen und Konversionstechnologien behandeln. Darüber hinaus gibt es Studien, die verschiedene Energiepflanzen und biogene Rest- und Abfallstoffe sowie unterschiedliche Pfade der Energieumwandlung vergleichend darstellen. Die folgende Auswertung konzentriert sich auf aktuelle Ökobilanzen vom Worldwatch Institute (2006), EPEA (2007), Zah et al. (2007), EUCAR/JRC/CONCAWE (2007), Nitsch (2007), Ramesohl et al. (2006) und Kalies et al. (2007). Wichtige Erkenntnisse aus anderen Studien wurden ebenfalls in die Betrachtung einbezogen. Die Analyse der Ökobilanzergebnisse beschränkt sich auf die Energie- und Klimagasbilanzen. Darüber hinaus wird kurz auf die bei der thermochemischen Umwandlung von Biomasse in Nutzenergie freiwerdenden Staubemissionen eingegangen, da diese eine hohe humantoxische Wirkung haben und im Zentrum der aktuellen Umweltdiskussion über die Nutzung fester Biomasse (z. B. Holz, Stroh) in dezentralen Anlagen stehen.

ENERGIEBILANZEN

Die Ergebnisse sämtlicher Ökobilanzen von Bioenergieträgern zeigen gegenüber fossilen Referenzsystemen Vorteile bei Energieverbrauch und Emission von

Treibhausgasen (Worldwatch Institute 2007). Allerdings sind einige Biokraftstoffprozessketten effizienter als andere. Bei Bioethanol aus Zuckerrüben, Getreide und Mais ist der *kumulierte nichterneuerbare Energieaufwand* (KEA), also der Energieinput, der aufgewendet werden muss, um eine gewünschte Endenergiemenge zu erzeugen, nahe 1,0 (Abb. 32).

Das bedeutet, dass die Produktion dieser Biokraftstoffe nahezu 100 % der Energiemenge benötigt, die bei der Verbrennung des Kraftstoffs genutzt werden kann. Dieses schlechte Ergebnis ist bedingt durch einen geringen Flächenertrag und einen hohen Energiebedarf zur Produktion der Biomasse. Auch mit Biodiesel werden nur geringe Energieeinsparungen erzielt. Bei den Bilanzen kommt es jedoch darauf an, was mit den anfallenden Reststoffen bzw. Kuppelprodukten geschieht, ob diese zusätzlich energetisch oder stofflich genutzt werden oder nicht. Eine Ganzpflanzennutzung – wie sie durch die in der Entwicklung befindlichen neuen Verfahren wie BtL oder Ethanol aus Lignocellulose angestrebt wird – führt grundsätzlich zu einer deutlich günstigeren Energiebilanz.

Die Energiebilanzen tropischer Pflanzen sehen deutlich besser aus als die heimischer Pflanzen, weil die Wachstumsbedingungen (Lichteinstrahlung und Wasserversorgung) dort günstiger sind als in gemäßigten Klimazonen. Der Nettoenergiegewinn bei der Erzeugung von Biodiesel aus Raps liegt bei rd. 25 GJ/ha (EPEA 2007; Abb. 33). Werden dagegen Ölpalmen auf tropischen Brachen angebaut, so können zwischen 130 und 150 GJ/ha eingespart werden (EPEA 2007; WWF 2007). Da die Transportenergie nur einen sehr kleinen Teil an der Energiebilanz ausmacht, erscheint aus Gründen der Energieeffizienz der Import tropischer Biokraftstoffe sinnvoller als die heimische Produktion.

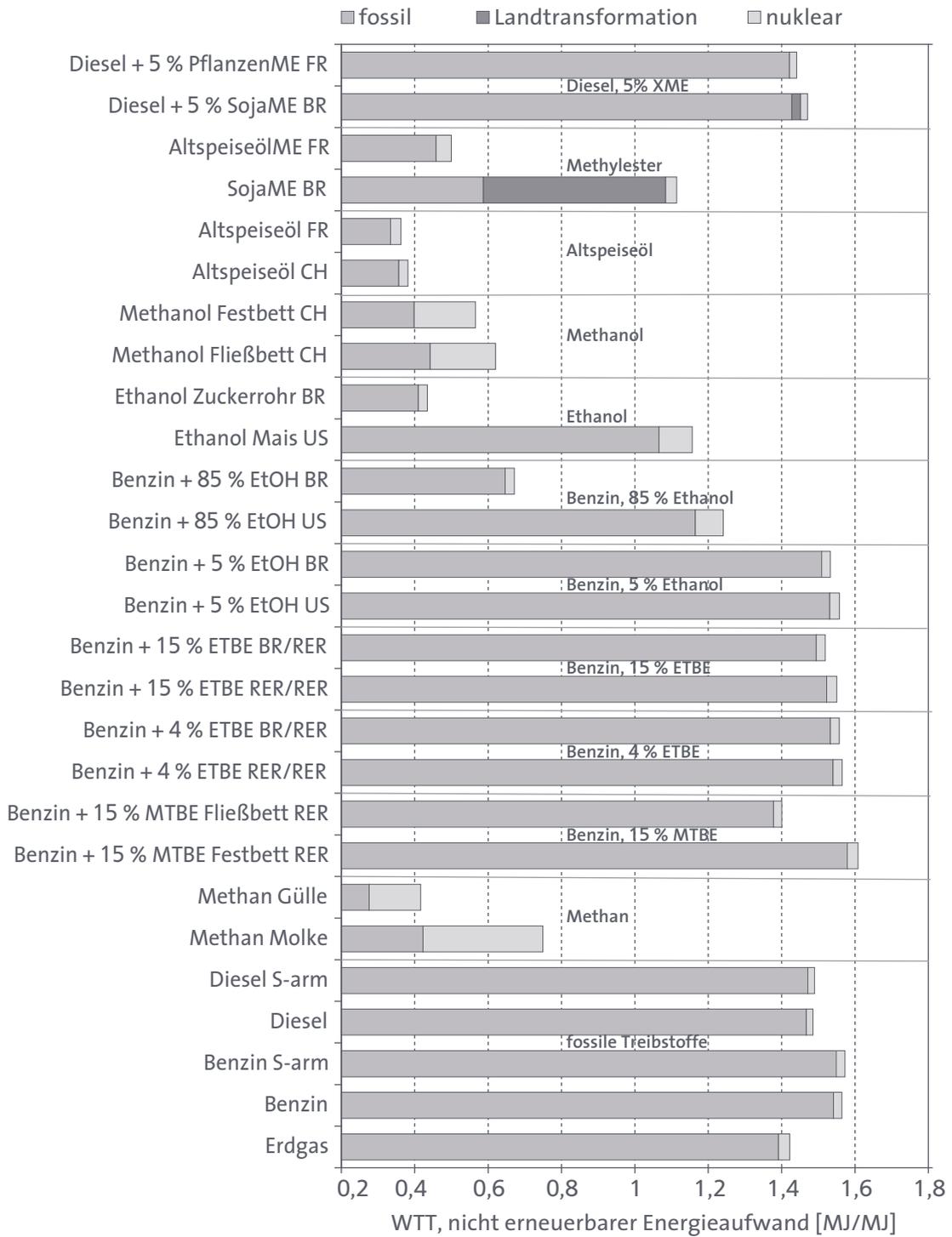
KLIMAGASBILANZEN

Bei der Erzeugung von Energiepflanzen können über die Düngung und Bodenbearbeitung Distickstoffoxid(N_2O)- und Methanemissionen erfolgen und bewirken, dass die Klimagasbilanzen von Bioenergieträgern teilweise nicht besonders gut ausfallen (wie z.B. beim Energieraps; Feehan/Petersen 2004) oder sogar negativ werden. Nach Feehan/Petersen (2004) werden durch die Stickstoffdüngerausbringung 1,25 % des enthaltenen Stickstoffs direkt über Lachgas (N_2O) freigesetzt. Bei weiterer Umsetzung des Düngers entweichen etwa 10 % des enthaltenen Stickstoffs über Lachgas, Ammoniak und andere Stickoxide.

Über die Ethanolgewinnung aus Zuckerrohr oder cellulosehaltige Biomasse sowie die Herstellung von Biodiesel aus Abfallprodukten wie Tierfett und gebrauchtem Speiseöl können die Klimagasemissionen im Vergleich zu Benzin und Diesel spürbar, das heißt bis über 80 %, gesenkt werden (Zah et al. 2007). Alle anderen konventionellen Methoden zur Produktion von Biotreibstoffen senken die Emissionen nur um rund 40 % oder weniger – ohne Berücksichtigung der Emissionen durch eine mögliche Rodung.

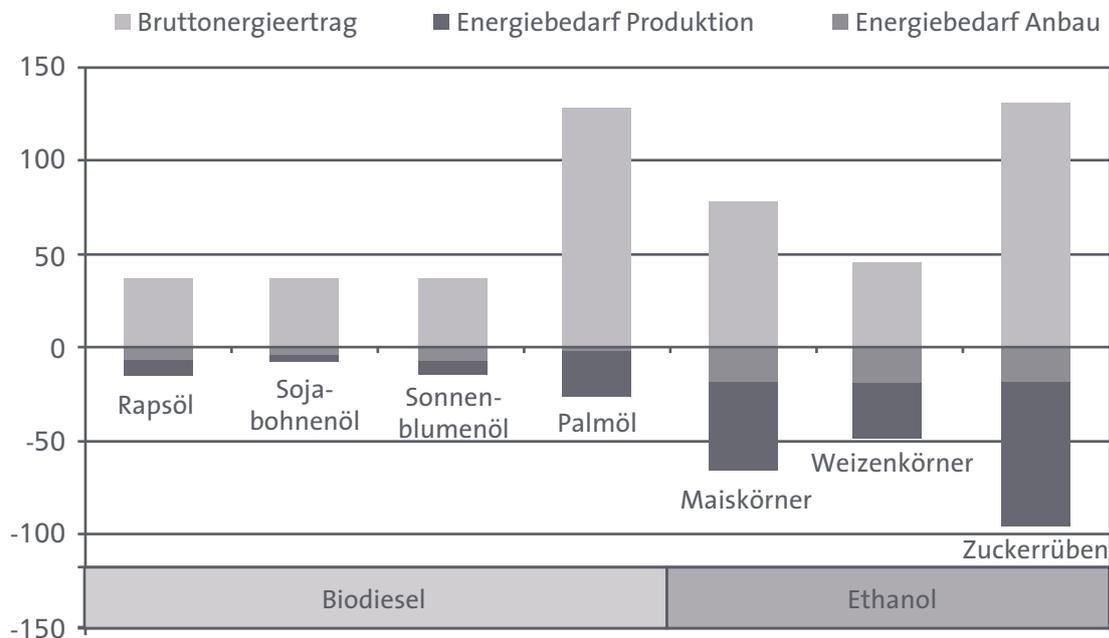


ABB. 32 KUMULIERTER ENERGIEAUFWAND VON KRAFTSTOFFEN AN EINER SCHWEIZER TANKSTELLE



Quelle: Zah et al. 2007, S.70

ABB. 33 BRUTTOENERGIEERTRÄGE BEI DER HERSTELLUNG VON BIOKRAFTSTOFFEN UND DER BEDARF AN PROZESSENERGIE (GJ/HA)



Quelle: EPEA 2007, S.28

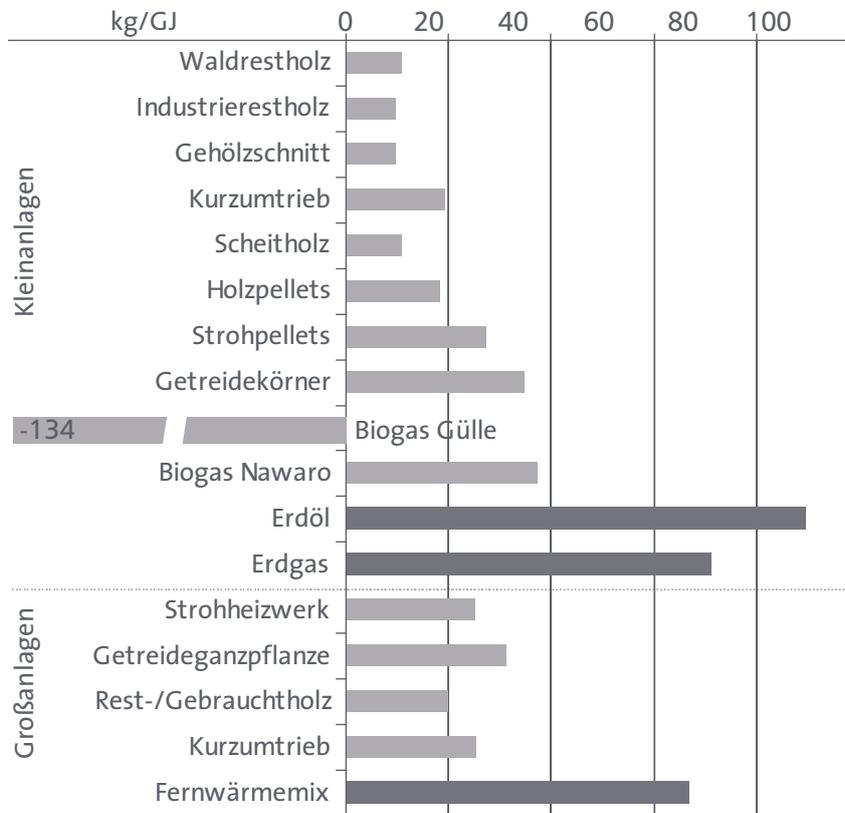
Die größten Klimagasreduktionen lassen sich durch die Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Strombereitstellung erzielen (EUCAR/JRC/CONCAWE 2007; Nitsch 2007; Ramesohl et al. 2006). Bei der Wärmebereitstellung mit Biomasse weisen die auf Holz basierenden Bioenergieträger in der Regel die geringsten Klimagasemissionen auf, da hier die Düngung nur eine geringe Rolle spielt. Die energetische Nutzung von Gülle weist sogar »negative« Klimagasemissionen auf, weil dadurch die Methanfreisetzung aus Gülle bei der Lagerung und Ausbringung verhindert wird (Ramesohl et al. 2006). So werden durch die Güllevergärung die Methanemissionen um circa 90 % verringert und auch die Lachgasemissionen deutlich reduziert (FAL 2004).

Eine Biomassenutzung in Kleinanlagen weist tendenziell geringere Klimagasemissionen auf als der Einsatz von Biomasse in Großanlagen (Kalies et al. (2007; Abb. 34).

Im Vergleich mit den Nutzungstechnologien auf Basis fossiler Energieträger können mit der Biomassenutzung zur Wärmeerzeugung etwa 40 bis 90 % der Klimagasemissionen vermieden werden. Bei den Ergebnissen ist jedoch auch der Einfluss des Referenzsystems zu berücksichtigen.

ABB. 34

KLIMAGASEMISSIONEN DER WÄRMEBEREITSTELLUNG IN 2010



Quelle: Kalies et al. 2007, S. 113

Bei der Substitution von CO₂-intensiven fossilen Energieträgern und Konversionstechniken wie zum Beispiel der Kohlenutzung ist die Klimagaseinsparung am höchsten (EUCAR/JRC/CONCAWE 2007). Mit der Nutzung von Biomasse zur Herstellung von Biokraftstoffen kann deshalb ein wesentlich kleinerer Beitrag zur Verlangsamung des Klimawandels geleistet werden als durch eine verstärkte Nutzung der Biomasse für die Bereitstellung von Strom und Wärme (EC 2005). Grundsätzlich wirkt sich die Verwendung der bei der Verstromung anfallenden Wärme immer positiv auf die Ergebnisse einer Ökobilanz aus. Allerdings sind der Wärmenutzung strukturelle Grenzen gesetzt. Außerdem ist bei steigenden Energiepreisen damit zu rechnen, dass der Wärmebedarf aufgrund verstärkter Wärmedämmung zurückgehen wird. Im Gegensatz dazu nimmt der Bedarf an Kraftstoffen weiter zu.

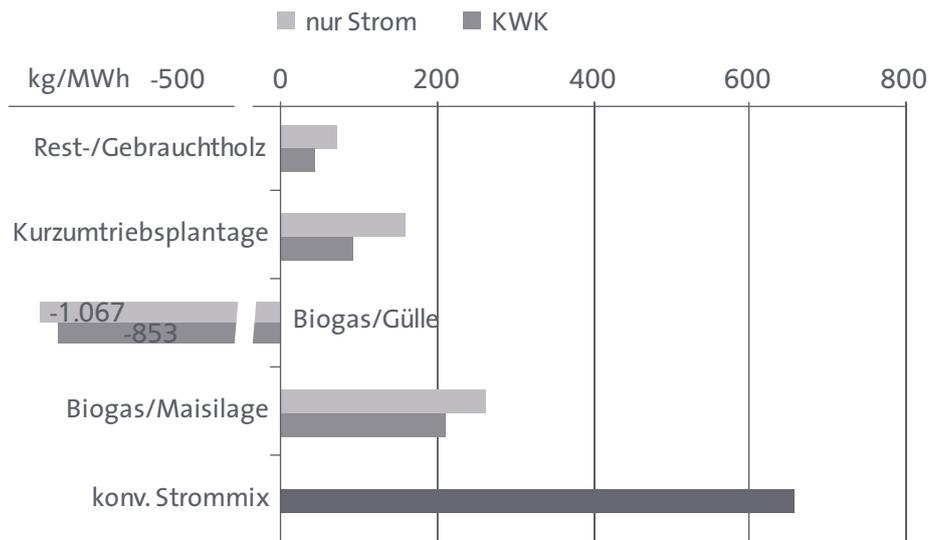
Die energetische Nutzung von Biomasse mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) führt zu den geringsten Klimagasemissionen (Abb. 35). Die Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz und dessen Nutzung in KWK-Anlagen in Verbrauchernähe führen zu weiteren Klimagaseminderungen, da hierbei ein größerer Anteil an Wärme genutzt werden kann (Kalies et al. 2007). Im Vergleich zum deutschen



IV. FORSCHUNGSSTAND/AUSWERTUNG VON SZENARIENSTUDIEN

Strommix liegen die Klimagasemissionen bei der Biomassenutzung zur Stromerzeugung um 50 bis 90 % niedriger als bei der Strombereitstellung auf Basis fossiler Energieträger.

ABB. 35 KLIMAGASEMISSIONEN DER STROMBEREITSTELLUNG (ABSCHÄTZUNG FÜR DAS JAHR 2010)



Quelle: Kalies et al. 2007, S. 115

Den in der Entwicklung und Demonstration befindlichen Verfahren zur Erzeugung von BtL-Biokraftstoffen wird ein deutlich größeres Potenzial zur Substitution fossiler Energieträger und zur Verringerung zusätzlicher Klimagasemissionen zugesprochen. Auch die in der Entwicklung befindlichen Verfahren zur Umwandlung cellulosehaltiger Materialien (Holz, Stroh etc.) in Ethanol versprechen attraktivere Energie- und Klimagasbilanzen.

Einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis von Klimagasbilanzen haben Flächennutzungsänderungen, die durch den Anbau von Energiepflanzen ausgelöst werden. Dies wird in Ökobilanzen jedoch meist nicht berücksichtigt. Die Regelungen der Europäischen Union im Rahmen von Cross Compliance erlauben die Umwandlung von Grünland in Ackerfläche bis zu einem festgelegten Prozentsatz. In Mitteleuropa fungiert Grünland jedoch als Kohlenstoffspeicher mit einer mittleren Fixierung von 60 g Kohlenstoff/m² und Jahr (Janssens et al. 2005). Wird für den Anbau von Energiepflanzen Grünland umgebrochen – wofür es im Rahmen der Ausdehnung des Maisanbaus erste Belege gibt (NABU 2007) –, so ergeben sich erhebliche negative Folgen für die Klimagasbilanz. Nach Janssens et al. (2005) würde durch eine Umwandlung von nur 5 % an Flächen mit großen Kohlenstoffanteilen wie Grünland oder Moorböden genauso viel Kohlenstoff freigesetzt wie derzeit jährlich bei der Verbrennung fossiler Energieträger auf

dem gesamten europäischen Kontinent emittiert wird. Je nach angebaute Energiepflanze kann es zwischen 15 und 111 Jahre dauern, bis der aus dem Bodenvorrat freigesetzte Kohlenstoff durch Einsparung fossiler Energie wieder kompensiert ist (EUCAR/JRC/CONCAWE 2007; Vleeshouwers/Verhagen 2002).

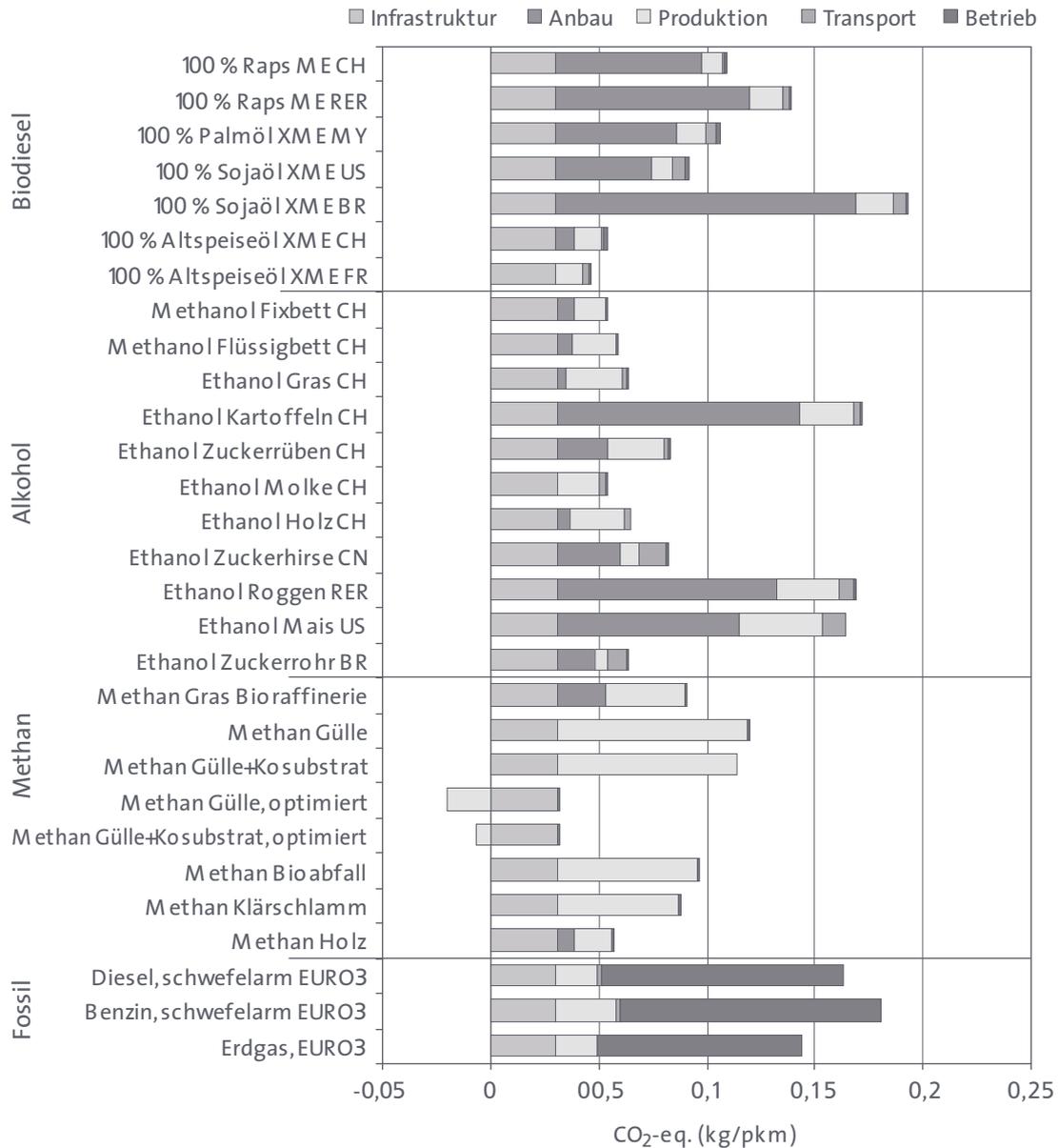
ANDERE UMWELTKATEGORIEN

Bei den in Ökobilanzen betrachteten anderen Umweltkategorien treten tendenziell eher Nachteile auf, z. B. bei den Nährstoffausträgen oder der Versauerung von Böden (Reinhardt et al. 2006). Das liegt daran, dass die gesamte Prozesskette von der Bereitstellung der Biomasse bis zu ihrer Nutzung hinsichtlich dieser Wirkungskategorien meist höhere Emissionen aufweist als die Bereitstellung fossiler Energieträger. Dies gilt insbesondere dann, wenn es sich um eigens dafür angebaute Energiepflanzen handelt. So verursacht die landwirtschaftliche Biomassenerzeugung durch die Düngemittelproduktion und -anwendung beispielsweise erhebliche Mengen an stickstoffhaltigen Verbindungen, die zu Versauerung, Nährstoffeintrag und Ozonabbau beitragen. Die Arbeiten von Zah et al. (2007) und Reinhardt et al. (2006) zeigen, dass die Bereitstellung der Biomasse für die Erzeugung von Biokraftstoffen einen Großteil der Umweltbelastungen verursacht und die Ökobilanzergebnisse signifikant beeinflusst (Abb. 36). Beim Anbau in gemäßigten Klimazonen tragen der niedrige Flächenertrag, die teils intensive Düngung und die mechanische Bodenbearbeitung zu den höheren Umweltbelastungen bei. Handelt es sich dagegen um importierte, in den Tropen erzeugte Biokraftstoffe, so können die Umweltbelastungen ebenfalls hoch sein, wenn für den Anbau von Energiepflanzen Regenwaldflächen gerodet wurden.

Die energetische Nutzung von Abfall- und Reststoffen schneidet hinsichtlich ihrer Ökobilanz gegenüber den fossilen Energieträgern am besten ab, da einerseits die hohen Belastungen aus der Rohstoffbereitstellung wegfallen und gleichzeitig ggf. Umweltemissionen aus der Abfallbehandlung reduziert werden können. Ebenfalls gute Ergebnisse zeigt die energetische Nutzung von Holz, da hier die Umweltauswirkungen bei der Rohstoffbereitstellung sehr gering sind. Mehrjährige lignocellulosehaltige Energiepflanzen (z. B. Pappelkurzumtriebsplantagen) verursachen tendenziell weniger negative Umweltauswirkungen als einjährige Energiepflanzen wie Mais oder Raps, da ihr Bedarf an Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln sowie die aus der Bodenbearbeitung resultierende Gefahr der Bodenerosion geringer sind (EEA 2006). Die Auswirkungen auf den Naturhaushalt können allerdings nicht verallgemeinert werden, da sie auch von den Standortbedingungen abhängig sind. Es ist deshalb erforderlich, beim Vergleich der Ökobilanzen von Bioenergieträgern ein klar definiertes standörtliches Referenzsystem zugrunde zu legen, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten (SRU 2007).

ABB. 36

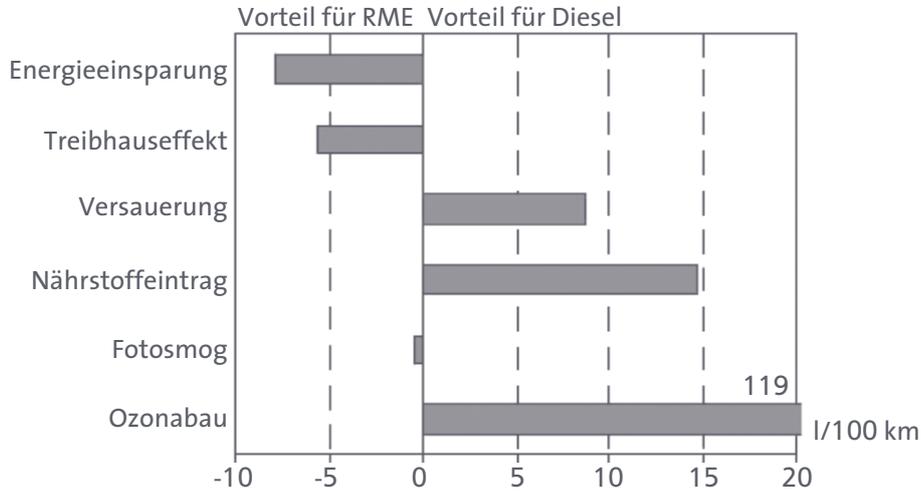
KLIMAGASEMISSIONEN VON BIOKRAFTSTOFFEN IM VERGLEICH MIT FOSSILEN KRAFTSTOFFEN



Quelle: Zah et al. 2007, S.92

Aus Energiepflanzen hergestellte Biokraftstoffe sind in der Gesamtbetrachtung dagegen nicht zwingend umweltfreundlicher als fossile Kraftstoffe (OECD 2007, Zah et al. 2007), da Anbau und Herstellung bei mehreren Umweltindikatoren oft höhere Belastungen als Benzin und Diesel verursachen (Abb. 37).

ABB. 37

 ÖKOBILANZERGEBNISSE FÜR DEN VERGLEICH VON
 BIODIESEL MIT DIESEL


Quelle: Gärtner/Reinhardt 2003, S. 7

Bei der Verwendung beispielsweise von Biodiesel an Stelle von Diesel spart man auf 100 km Fahrstrecke so viel Energie ein, wie die Produktion von 8 l Diesel erfordert (Abb. 37). Das Einsparpotenzial hinsichtlich klimarelevanter Gase entspricht einem Verbrauch von 6 l Diesel. Auf der anderen Seite steht durch den Einsatz von Biodiesel eine Erhöhung der Umweltbelastung durch Versauerung, Nährstoffeintrag und Ozonabbau, die pro 100 km Fahrstrecke einem Dieserverbrauch zwischen neun und 119 l entspricht.

Im Gegensatz zu den fossilen Kraftstoffen lassen sich diese negativen Umweltauswirkungen von Biokraftstoffen (Bioethanol, Biomethanol, Biodiesel und Biogas) jedoch durch gezielte Maßnahmen deutlich verringern. Es ist daher zu erwarten, dass die Optimierung bestehender und die Entwicklung neuer Verfahren in Zukunft bessere Bewertungen ergeben.

Dies soll am Beispiel »Rapsöl« verdeutlicht werden. Das Umweltbundesamt legte 1993 erstmals eine umfassende Bilanzierung der ökologischen Auswirkungen sowie eine ökonomische Bewertung von Rapsöl und Rapsölmethylester (RME oder Biodiesel) im Vergleich zu Dieselmethylester (UBA 1993) vor. Aufgrund der in dieser Studie ermittelten geringen bzw. fehlenden ökologischen Vorteile und der ökonomischen Nachteile für die Volkswirtschaft bei einer Nutzung von Rapsöl lehnte das Umweltbundesamt den Einsatz von RME als Dieselmethylesterersatz ab. Seit dieser Veröffentlichung gab es eine rege wissenschaftliche Diskussion zum Thema Ökobilanzen. Diese hatte zur Folge, dass die Methodik der Bilanzierung ökologischer Effekte weiterentwickelt worden ist.



IV. FORSCHUNGSSTAND/AUSWERTUNG VON SZENARIENSTUDIEN

TAB. 21 ERGEBNISSE DER ÖKOLOGISCHEN BEWERTUNG VON RAPSÖLMETHYLESTER IM VERGLEICH ZU HERKÖMMLICHEM DIESELKRAFTSTOFF

| Wirkungskategorien | Bewertung | Begründung |
|--|-----------|---|
| <i>Ressourcenverbrauch</i> | | |
| mineralisch | - | > hoher Verbrauch von Kalkstein, Phosphaterz, Kali |
| fossile Energien | + | > geringerer Verbrauch von Erdöl |
| Treibhauseffekt | + | > geringere CO ₂ -Äquivalentemissionen |
| Ozonabbau | - | > hohe N ₂ O-Emissionen (Lachgas) |
| Versauerung | - | > höhere NO _x - und NH ₃ - Emissionen (Ammoniak dominiert die Bewertung) > geringere SO ₂ -Emissionen |
| Eutrophierung | - | > sehr hohe Belastungen bei intensivem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln |
| Sommersmog (Fotosmog) | ∅ | > NO _x - und VOC/NMHC-Emissionen ca. gleich hoch |
| Humantoxizität (luftgetragene Schadstoffe) | ∅ | > geringere SO ₂ -Emissionen, z. T. geringere Partikel-, HC- und CO-Emissionen > höhere NO _x -, NH ₃ -, Aldehyd- und Staubemissionen |
| <i>Ökotoxizität</i> | | |
| luftgetragene Emissionen | ∅ | > geringere SO ₂ -Emissionen, z. T. geringere Partikel-, HC- und CO-Emissionen > höhere NO _x -, NH ₃ -, Aldehyd- und Staubemissionen |
| Meere und Binnengewässer | + | > geringere Belastungen durch schnelleren biologischen Abbau bei Leckagen und Havarien > Belastungen bei intensivem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln |
| Boden und Grundwasser | - | > sehr hohe Belastungen bei intensivem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln > geringere Belastungen durch schnelleren biologischen Abbau bei Leckagen und Havarien |
| Naturraumbeanspruchung | - | > Flächenbeanspruchung ohne Möglichkeit zum Biotop- und Artenschutz |

Quelle: UBA 2000

Die darauf und auf eine verbesserte Datenbasis aufbauende »neue« Ökobilanz zu Rapsöl kommt zu »besseren« Ergebnissen (UBA 2000): In einigen Wirkungs-

kategorien ergaben sich größere Vorteile für RME, beispielsweise in der Energie- und CO₂-Bilanz aufgrund des geringeren Düngemittelaufwandes und der höheren Gutschriften für die anfallenden Nebenprodukte (Tab. 21). Dem stehen jedoch Nachteile in verschiedenen anderen Wirkungskategorien (z. B. stratosphärischer Ozonabbau, Versauerung) gegenüber, die in der Ökobilanz von 1993 nicht näher quantifiziert wurden. Zu einer vollständigen ökologischen Beurteilung der Kraftstoffe Rapsöl und RME im Vergleich zu Dieselkraftstoff fehlen jedoch auch in dieser Ökobilanz die Analyse und Bewertung weiterer Umweltwirkungen, beispielsweise über den Abfall- und den Wasserpfad oder auf den Natur- und Artenschutz.

EMISSIONEN AUS DER BIOMASSEUMWANDLUNG IN NUTZENERGIE

Die thermochemische Umwandlung von Biomasse in nutzbare Energie (Kraftstoffe, Strom und Wärme) ist verknüpft mit der Freisetzung von versauernd oder eutrophierend wirkenden Emissionen (Schwefeldioxide und Stickoxide) sowie von Feinstäuben und anderen Schadstoffen. Bei der Verbrennung von fester Biomasse (Kap. II.2.3.1) kommt es durch den hohen Aschegehalt in biogenen Brennstoffen gegenüber fossilen Brennstoffen zu deutlichen Mehremissionen an Staub. Insbesondere Feinstaub mit einer Korngröße von kleiner als 10 µm (PM10) kann sich im ganzen Körper verteilen und die menschliche Gesundheit erheblich beeinträchtigen.⁵

Die Höhe der Mehrbelastungen an Feinstaub durch die Verbrennung von Biomasse im Vergleich zur fossilen Referenz ist abhängig von der Feuerungsanlage und ihrem Betriebszustand sowie vom eingesetzten Brennstoff. Kleinf Feuerungsanlagen emittieren wesentlich mehr Feinstaub als die mit Techniken zur Rauchgasreinigung ausgestatteten größeren Biomasseheiz(kraft)werke (Nussbaumer 2007). In der Summe führt dies dazu, dass die Feuerungsanlagen der privaten Haushalte und Kleinverbraucher⁶ nach den Industrieprozessen die zweitgrößte Emissionsquelle für Feinstaub im Bereich der stationären Anlagen in Deutschland sind. Ihr Beitrag zu den Gesamtemissionen liegt in derselben Größenordnung wie die motorbedingten Emissionen des Straßenverkehrs, bei allerdings deutlich geringerer Toxizität. Fachleute gehen davon aus, dass Feinstaub aus Feuerungsanlagen um den Faktor 5 weniger toxisch ist als der aus Dieselabga-

5 Partikel, die kleiner als 10 µm (tausendstel Millimeter) sind, können mit der Umgebungsluft eingeatmet werden. Sie wirken negativ auf die Atemwege – Husten und die Zunahme asthmatischer Anfälle sind die Folge – sowie auf das Herz-Kreislauf-System. Dies kann die Lebenserwartung vermindern. Außerdem sind an Feinstaub anhaftende organische Substanzen aus unvollständiger Verbrennung krebserregend.

6 Rund 95 % der im Jahr 2004 freigesetzten Feinstaubemissionen im Geltungsbereich der 1. BImSchV (insgesamt ca. 27.000 t Feinstaub [PM10]) wurden durch die Holzverfeuerung verursacht (UBA 2006).



sen, da er zu einem erheblichen Teil aus Salzen besteht. Dieselabgase bestehen dagegen fast ausschließlich aus Ruß (Nussbaumer 2007).

In Stroh und anderen Halmgütern sind die Gehalte an Asche und damit die Staubemissionen deutlich höher als in naturbelassenem Holz. Durch geeignete moderne Verbrennungstechnologien und Staubrückhaltemaßnahmen kann allerdings eine deutliche Verringerung der Feinstaubemissionen erreicht werden (Rösch et al. 2007). Da die Staubemissionen zum Großteil aus Feinstaub bestehen, lassen sich diese nur mit sekundären Entstaubungseinrichtungen⁷ (z. B. Gewebefilter und kleine Elektrofilter, die jedoch mit hohen Investitionskosten verbunden sind) deutlich verringern. Durch technische Neuentwicklungen, wie z. B. der Halmgutpelletkessel der Firma Agroflam, sind jedoch auch Kessel ohne sekundäre Entstaubung in der Lage, beim Einsatz von halmgutartigen Brennstoffen die bestehenden Grenzwerte deutlich zu unterschreiten bzw. teilweise auch die in der ersten Stufe geplanten verschärften Grenzwerte für Staubemissionen (60 mg/m^3) einzuhalten.⁸

ÖKOBILANZ TROPISCHER BIOKRAFTSTOFFE

3.1.2

In den von der Verlagerung der Biokraftstoffherzeugung betroffenen, meist tropischen Ländern kann es zu einer Flächenkonkurrenz mit natürlichen Ökosystemen kommen. Palmöl ist beispielsweise ein wichtiges Nahrungsmittel, Inhaltsstoff für Waschmittel und kann als Kraftstoff für Motoren sowie als Brennstoff zur Strom- und Wärmegewinnung dienen. Derzeit erlebt Palmöl einen Boom als Energieträger, mit dem bereits deutsche und europäische Blockheizkraftwerke betrieben werden. Palmöl gewinnt zudem als Rohstoff für die Biodieselproduktion an Bedeutung. Die wachsende Nachfrage von Palmöl als Lebensmittel und für stoffliche und energetische Nutzungen auf dem Weltmarkt hat in den letzten Jahren dazu geführt, dass für den Anbau von Ölpalmen tropische Naturwälder gerodet und andere Anbaupflanzen (z. B. Kokospalmen) verdrängt wurden (UNEP 2006). Allerdings ist die fortschreitende Zerstörung der Tropenwälder vielschichtig und auch auf strukturelle Probleme wie Bevölkerungswachstum, Armut, Landlosigkeit sowie auf die weltwirtschaftlichen Rahmenbedingungen und institutionelle Defizite zurückzuführen (WWF 2007).

7 Da HCl durch Feinstaub adsorbiert wird, kann durch Staubrückhaltemaßnahmen auch die Gefahr der Freisetzung von HCl und anderen Chloremissionen verringert werden. Diese ist bei der Heuverbrennung aufgrund des erhöhten Chlorgehalts im Brennstoff größer als bei fossilen Brennstoffen. Chloremissionen sind besonders in Form von Dioxinen und Furanen schädlich für die Gesundheit.

8 Viele der marktüblichen, vor allem für den Brennstoff Holz entwickelten Feuerungsanlagen überschreiten beim Einsatz von Halmgütern den derzeit gültigen Grenzwert für Staubemissionen von 150 mg/m^3 Rauchgas (1. BImSchV).

Nach Einschätzung des WWF fällt die Klimagasbilanz beim Anbau von Ölpalmen insgesamt positiv aus – vorausgesetzt, dass die Plantagen ausschließlich auf bereits gerodeten und bislang ungenutzten Brachflächen angelegt werden (WWF 2007). Bei der Umwandlung anderer Plantagen hängt die CO₂-Einsparung von der vorangegangenen Kulturpflanze ab. Eine Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus kann aber auch indirekt zur Abholzung tropischer Wälder führen. Meist entstehen neue Ölpalmen- oder Zuckerrohrplantagen auf existierenden Anbauflächen. Dadurch wird der Nahrungsmittelanbau verdrängt und weicht in bisher nichtbewirtschaftete Gebiete aus.

Große Teile tropischer Wälder befinden sich auf Torfböden, die als große Kohlenstoffspeicher dienen. In Südostasien, vor allem in Indonesien, aber auch in Malaysia, machen Torfböden 10 % der Gesamtfläche aus (entspricht rund 27 Mio. ha). Über ein Viertel der Palmölkonzessionen in Indonesien (existierende und geplante Plantagen) befindet sich auf Torfböden (Hooijer et al. 2006). Eine ähnliche Größenordnung wird für Malaysia angenommen. Diese Plantagen expandieren rasch, getrieben von der weltweit steigenden Nachfrage nach Palmöl für energetische Zwecke. Die Umwandlung dieser Flächen in landwirtschaftliche Nutzflächen durch Brandrodung und Trockenlegung hat zur Folge, dass im Boden gespeicherter Kohlenstoff in Kohlendioxid umgewandelt und in die Atmosphäre freigesetzt wird. Diese CO₂-Freisetzungen aus dem Bodenvorrat können größer sein als die durch Abholzungsmaßnahmen freigesetzten Mengen (Hooijer et al. 2006). Konservativen Schätzungen zufolge wird circa 1 % des in einem Torfboden gebundenen Kohlenstoffs – dies entspricht zwischen 10 und 15 t Kohlenstoff – in Kohlendioxid umgewandelt (Biofuelwatch 1996; Reijnders/Huijbregts 2006). Die Emissionen durch die Degradierung von Torfböden werden zunehmend als problematisch angesehen, da sie die Einsparungen von Klimagasen durch die energetische Nutzung von Palmöl um ein Vielfaches übersteigen können (EPEA 2007). Die Datengrundlage zur Abschätzung der Klimagasemissionen, die aus dem Bodenvorrat freigesetzt werden, ist jedoch sehr schmal. Hier besteht Forschungsbedarf.

GRENZEN DER AUSSAGEKRAFT VON ÖKOBILANZEN

3.1.3

Ökobilanzen erlauben einen Vergleich von Bioenergieträgern unter Berücksichtigung der gesamten Produktionskette. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist jedoch zu beachten, dass die Resultate von verschiedenen Faktoren (Systemgrenzen, Referenzszenario, Allokationsverfahren für Kuppelprodukte etc.) beeinflusst werden. Nachfolgend werden die wichtigsten Einflussfaktoren aufgezeigt.



SYSTEMGRENZEN

Das Ergebnis einer Ökobilanz ist im Wesentlichen von der Tiefe und Genauigkeit der Erfassung aller beteiligten Produkte abhängig. Deshalb ist es notwendig, sinnvolle Systemgrenzen festzulegen, um alle relevanten Wechselwirkungen mit überschaubarem Aufwand zu analysieren. Das Ergebnis wird durch die Auswahl der in der Ökobilanz betrachteten Prozessketten bestimmt. Diese stellen jedoch nur eine Teilmenge aller möglichen Verfahren zur Bioenergieherstellung dar. Die Ökobilanzergebnisse von Biogasanlagen beispielsweise werden maßgeblich von der Anlagengröße bestimmt. Auch die angenommenen Transportdistanzen beeinflussen die Ökobilanzen.

REFERENZSYSTEM

Die Ergebnisse des Anbaus von Energiepflanzen sind von der Festlegung des Referenzsystems abhängig, das heißt davon, welche vorhergehende Flächennutzung und welches fossile Energieerzeugungssystem als Vergleichsvarianten herangezogen werden. Ein Vergleich mit CO₂-reichen Energieträgern wie Kohle führt beispielsweise zu deutlich besseren Ergebnissen als ein Vergleich mit CO₂-armen Energieträgern wie Erdgas. Bei der Bilanzierung der Klimagasemissionen von Biogasanlagen werden meist keine oder negative Werte ausgewiesen (Jungmeier/Spitzer 2001). Dies ist unter anderem auf die verhinderten Emissionen bei der Referenznutzung, das heißt bei der Güllelagerung, zurückzuführen.

SEKUNDÄRE UMWELTAUSWIRKUNGEN WERDEN NICHT ERFASST

In den Bilanzierungen werden meist nur primäre Umweltauswirkungen der Bioenergieprozesskette berechnet, beispielsweise Energieverbrauch und Schadstoffemissionen beim Anbau von Energiepflanzen. In der Regel wird dabei nicht differenziert zwischen der Nutzung von bereits bewirtschafteten Ackerflächen, Änderung der Landnutzung, Stilllegungsflächen oder Brachflächen. Sekundäre Folgen, die durch den Import von zuvor angebauten Nahrungsmitteln auf Ackerflächen, die Umwandlung von Grünland oder die Nutzung von Brachflächen entstehen, können hingegen im Rahmen von Ökobilanzen nicht erfasst werden.

ALLOKATIONSVERFAHREN FÜR KUPPELPRODUKTE

Viele Allokationen werden aufgrund von Verkaufserlösen berechnet. Da aber Erlöse von der Marktdynamik abhängen, werden die Ergebnisse von diesen beeinflusst. Der Gesamtenergieertrag von Raps setzt sich vereinfacht aus dem Energiegehalt des Rapsöls und dem Energiegehalt der Kuppelprodukte (Rapskuchen, Rapsstroh) zusammen. Der Rapskuchen wird jedoch üblicherweise als Tierfutter verwendet. Das Rapsstroh wird nach gängiger Praxis derzeit nicht zu Heizzwecken verwendet, sondern verbleibt auf dem Feld. Wenn eine rein thermische Nutzung von Rapsöl und Presskuchen (unterschiedliche Feuerungswir-



kungsgrade) unterstellt wird, ergeben sich eine Energiebilanz von 1:3,5 und eine CO₂-Bilanz von 1:4,7 (Emberger 2006). Wird zusätzlich eine Strohnutzung und der teilweise Ersatz von Mineraldünger durch Gülle unterstellt, fällt die Energiebilanz mit 1:7,8 und die CO₂-Bilanz mit 1:8,9 deutlich günstiger aus.

KEINE BEURTEILUNG ZUKÜNFTIGER ENTWICKLUNGEN

Die Ökobilanzergebnisse basieren auf vorliegenden Sachbilanzdaten und bestehenden Prozessketten und beziehen sich auf ein bestimmtes Bezugsjahr in der Vergangenheit. Zukünftige Entwicklungen können somit nicht beurteilt werden. Allerdings erlauben Sensitivitätsanalysen Aussagen über zukünftige Entwicklungen und mögliche Optimierungspotenziale. Die Bewertung neuer Pflanzenarten und Konversionstechnologien ist wegen meist unzureichender Datenbasis nur bedingt möglich, die Vergleichbarkeit mit konventionellen Technologien ist eingeschränkt.

AKTUALITÄT DER DATENLAGE

In gewissen Produktionsprozessen erfolgen rasche Fortschritte, zum Beispiel in der Reduktion der Methanverluste bei der Biogasproduktion, oder es kommen neue Produkte auf den Markt wie beispielsweise das Jatropaöl. Deshalb ist eine regelmäßige Aktualisierung der Datenlage vordringlich, um wissenschaftlich korrekte Aussagen machen zu können.

DURCHSCHNITTLICHE VERHÄLTNISSE

Den Sachbilanzen liegen durchschnittliche Verhältnisse in den jeweiligen Produktionsländern (Deutschland, Europa, Brasilien, USA etc.) zugrunde. Daher gelten sie für diese Länder als Ganzes. Die Ergebnisse lassen sich deshalb nicht ohne weiteres auf Entscheidungssituationen in Teilregionen oder bei einzelnen Betrieben anwenden, da die Anbaubedingungen innerhalb Deutschlands und damit das Ertragspotenzial und der Aufwand an Betriebsmitteln für den Anbau von Energiepflanzen regional sehr unterschiedlich sind. Außerdem können die durch die landwirtschaftliche Erzeugung verursachten Umweltauswirkungen in Abhängigkeit von den naturräumlichen Gegebenheiten erheblich von der Durchschnittssituation abweichen.

NICHT ALLE UMWELTEFFEKTE SIND INTEGRIERBAR

Die Ökobilanzierung kann nur einen Teil der ökologischen Folgen aus dem Lebenszyklus eines Bioenergieproduktes erfassen. Mit den heute üblichen Methoden der Wirkungsabschätzung können (noch) nicht beurteilt werden:

- > Schwermetallemissionen
- > Auswirkungen auf das Bodensystem (z. B. Erosion, Verdichtung)
- > Übernutzung von biotischen Ressourcen (Humusabbau)



IV. FORSCHUNGSSTAND/AUSWERTUNG VON SZENARIENSTUDIEN

- › Veränderungen im Wasserhaushalt (z. B. Wasserdargebot, Retentionsfunktion)
- › Auswirkungen auf die Grundwasserqualität (z. B. Eintrag von Pflanzenschutzmitteln [PSM], Nitrat)
- › Veränderung der Gewässerqualität durch Eintrag von PSM und Nährstoffen
- › Effekt auf natürliche Ökosysteme (z. B. Zurückdrängen naturbelassener Flächen, Lebensräume, Biotopfunktion und -entwicklungspotenzial)
- › Folgen der Flächenbelegung (z. B. auf Ressourcenverwendung)
- › Auswirkungen auf Landschafts(erlebnis)funktionen und Kulturlandschaft
- › Auswirkungen auf das Mikro-, Lokal- und Regionalklima
- › Störungen durch Lärm
- › Geruchsbelästigung (Biogasanlagen)

Ebenfalls nicht enthalten in der Bewertung mittels Ökobilanzen sind Auswirkungen, die nicht direkt im Zusammenhang mit der Umwelt stehen, aber in der öffentlichen Diskussion eine wichtige Rolle spielen, wie der Einsatz von gentechnisch veränderten Organismen.

BIOENERGIE UND NATURSCHUTZ

3.2

POSITIVE EFFEKTE DURCH NUTZUNG DES PFLEGESCHNITTS

Bei der Pflege von Naturschutzgebieten und bei Maßnahmen zum Erhalt der Kulturlandschaft fällt Biomasse an, die keine Verwendung mehr in der Tierhaltung findet. Überwiegend handelt es sich hierbei um Grasschnitt aus der extensiven Grünlandpflege, Strauchschnitt aus der Gehölz- und Offenlandpflege sowie Gehölzschnitt. Dieser Pflegeschnitt kann aus technisch-wirtschaftlichen Gründen nur teilweise energetisch genutzt werden. Untersuchungen von Wiegmann et al. (2007) zeigen, dass Landschaftspflegematerial dezentral und in kleinen Mengen anfällt, heterogen zusammengesetzt ist und die »Erntezeitpunkte« von Naturschutzzielen bestimmt werden, weshalb meist keine maximalen Energieerträge möglich sind. Um das Potenzial an Pflegematerial erschließen zu können, müssen organisatorische, logistische, technische und wirtschaftliche Hemmnisse überwunden werden. Die Entwicklung oder Anpassung von Technologien für eine energetische Nutzung problematischer Pflegerückstände, z. B. des Aufwuchses von Naturschutzflächen oder des Rückschnitts von Sträuchern, und eine angepasste Förderpolitik könnten dazu beitragen, die bestehenden Hemmnisse zu überwinden und eine Win-win-Situation für den Klima- und Naturschutz zu schaffen (Reinhardt et al. 2004).

LEBENS-RÄUME AUF STILLEGUNGSFLÄCHEN IN GEFAHR?

Der zunehmende Anbau von Energiepflanzen könnte zu Konflikten mit dem Naturschutz führen, insbesondere dann, wenn dieser auf zuvor extensiv genutzten



oder stillgelegten Flächen stattfindet. Der Trend zur Bioenergie und der Anstieg der Nahrungspreise haben zur Folge, dass die EU-Kommission beschlossen hat für 2008 die Stilllegungsverpflichtung zu streichen (EUROPA 2007). Dies hat, Auswirkungen auf den Naturschutz, da die stillgelegten Flächen Lebensraum für Europas gefährdete Vögel und Insekten bieten. Mit rund 6,5 Mio. ha stillgelegter Fläche in der EU – davon mehr als eine Million in Deutschland – stellt der Lebensraum »Brache« ein großes Potenzial für den Schutz wildlebender Tiere und Pflanzen insbesondere in intensiv genutzten Agrarlandschaften dar. Pilotvorhaben in Bayern, Hessen und Brandenburg zeigen, dass sowohl die langfristige Flächenstilllegung als auch die Rotationsbrache die Agrarlandschaften als Lebensräume wildlebender Tiere deutlich aufwerten, ohne dass damit der Landwirtschaft zusätzliche Belastungen auferlegt werden. Bislang hat die langfristige ökologische Flächenstilllegung (zehn bis 20 Jahre) im Rahmen der Agrarumweltprogramme in Deutschland mit nur rund 3.000 ha allerdings kaum Relevanz. Da die Maßnahme aus Sicht des Naturschutzes als sinnvoll angesehen wird, um Lebensräume für Wildtiere zu schaffen, müssten die Förderkonditionen für die Landwirte und die entsprechende Fachberatung deutlich verbessert werden, um mehr Naturschutz auf Stilllegungsflächen realisieren zu können (Holst 2003). Eine vermehrte Bereitstellung von Mittel ist jedoch nicht zu erwarten, weil in den meisten Bundesländern die Haushaltsansätze für Agrarumweltprogramme rückläufig sind. Es ist deshalb wahrscheinlich, dass es zu einem verstärkten Anbau von Energiepflanzen auf bislang extensiv genutzten oder stillgelegten Flächen kommen wird.

EFFEKTE AUF DIE ARTENVIELFALT IN REGENWÄLDERN

In vielen Ländern der Erde, besonders in den EU-Staaten und den USA, aber auch in Brasilien, China, Indien und einer Reihe anderer Entwicklungs- bzw. Schwellenländer, wird eine Ausdehnung des Anteils an Biokraftstoffen angestrebt (Kap. III.1.2). Selbst unter Berücksichtigung von züchterischen und technischen Fortschritten wird dies mit deutlich steigenden Flächenbeanspruchungen verbunden sein (Kap. III.3.2). In den tropischen Regionen ist die Pflanzenproduktion um ein Vielfaches ertragreicher als unter europäischen Bedingungen. Von 1 ha Palmöl kann beispielsweise die fünffache Menge an Biodiesel erzeugt werden als von 1 ha Raps (IEA 2004). Eine Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus zur Erzeugung von konventionellen Biokraftstoffen (Biodiesel aus Pflanzenölen und Bioethanol aus Zucker oder Stärke) wird daher vor allem in tropischen Ländern wie Brasilien, Indonesien, Malaysia, Indien, Tansania, Brasilien und Argentinien stattfinden (Schütz/Bringezu 2006).

Eine Ausdehnung des Anbaus von Ölpalmen oder Zuckerrohr auf Kosten von Regenwald führt zu einer Bedrohung der Biodiversität. Der brasilianische Regenwald beheimatet ein Fünftel der weltweiten Biodiversität, darunter mindestens 427 Säugetierarten, 1.294 verschiedene Vögel, rund 3.000 Fischarten, 2,5 Mio.



unterschiedliche Insekten und 40.000 Pflanzen. Viele dieser Arten sind endemisch, kommen also nur im Amazonasgebiet vor, einige sind noch nicht einmal bestimmt worden (WWF 2006).

Dem World Conservation Monitoring Centre (WCMC) des Entwicklungsprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) zufolge wird die Ausdehnung der Biokraftstoffproduktion vor dem Hintergrund eines steigenden Bedarfs an Lebens- und Futtermitteln, Holz und Infrastrukturen zwischen 2010 und 2050 zu einer Verringerung der biologischen Vielfalt führen (ten Brink et al. 2006). Die zunehmende energetische Nutzung von Biomasse, insbesondere von Biokraftstoffen, führt danach zu einem Verlust an Biodiversität von rund 1 %. Aber nicht nur die Zerstörung von Ökosystemen (tropische Regenwälder) bedroht die Artenvielfalt. Darüber hinaus werden bei der Rodung von Regenwäldern erhebliche Mengen an klimarelevanten Gasen freigesetzt, die den Klimawandel und die damit einhergehende Veränderung der Lebensbedingungen für Flora und Fauna beschleunigen.

ABBAU NICHTERNEUERBARER PHOSPHATRESSOURCEN

3.3

Der Anbau ertragreicher Energiepflanzen ist mit einem Verbrauch von nichterneuerbarem Phosphat verbunden. Phosphor ist für Pflanzen ein lebensnotwendiges Hauptnährelement, das in ausreichenden Mengen im Boden verfügbar sein muss. Die Landwirtschaft ist deshalb auch weltweit der größte Verbraucher von Phosphor. Schätzungen zufolge sind die weltweiten Phosphorreserven nur noch in den nächsten 50 bis 100 Jahren uneingeschränkt verfügbar (Haneklaus 2003). Auch das schweizerische Bundesamt für Umwelt (BAFU 2006) geht davon aus, dass es weltweit bei konstantem Verbrauch nur noch abbaubare Reserven für die nächsten 80 Jahre gibt. Dazu kommt, dass die vorhandenen Reserven größtenteils erhebliche Mengen an toxischen Schwermetallen, wie Cadmium, Blei und Uran, enthalten. Nur etwa 15 % der bekannten Phosphorreserven gelten mit unter 60 mg Schwermetalle/kg Phosphor als gering belastet. Das bedeutet, dass die gering belasteten Phosphorreserven in weniger als 20 Jahren erschöpft sein werden, wenn das derzeitige Verbrauchstempo von 130 Mio. t weltweit pro Jahr beibehalten oder erhöht wird (EPEA 2007). Mit der Ausdehnung des Anbaus von Energiepflanzen weltweit wird sich der Abbau der Phosphorreserven beschleunigen.

Ein weiterer Effekt der verstärkten Verwendung von mineralischem Phosphatdünger durch die Erzeugung von Bioenergieträgern ist die Verbreitung von Radioaktivität in der Biosphäre. Heute sind Phosphatdünger die Hauptquelle für die Belastung der Umwelt mit Uran, das – wie andere Schwermetalle auch – über eine Anreicherung in Feldfrüchten in die Nahrungskette gelangt (EPEA 2007). Des Weiteren geht die Gewinnung von Rohphosphat meist mit einer erheblichen

Umweltzerstörung und einem gewaltigen Flächenverbrauch einher (Beispiel: Insel Nauru im Südpazifik).

ENERGIEPFLANZEN UND WASSERHAUSHALT

3.4

Obwohl die Erde zu mehr als 70 % damit bedeckt ist, wird Wasser zunehmend ein knappes Gut. Denn gerade einmal 3 % davon sind trinkbares Süßwasser, wovon wiederum nur ein Drittel für die menschliche Nutzung erreichbar ist. Etwa vier Milliarden Menschen haben heute nur ungenügenden oder keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Steigende Bevölkerungszahlen und schlechtes Management der Wasservorräte verschärfen die Situation weiter. Die Ergebnisse einer von 700 Experten durchgeführten Studie über Wassermanagement in den letzten 50 Jahren zeigen, dass bereits ein Drittel der Weltbevölkerung unter Wasserknappheit leidet (Rijsbergman 2006). Auf dem UN-Weltgipfel für Nachhaltige Entwicklung in Johannesburg 2002 wurde das Ziel definiert, die Zahl der Menschen, die keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser haben, bis zum Jahr 2015 zu halbieren.

Süßwasser wird sehr vielseitig verwendet und benötigt. Es ist nicht nur ein wichtiges Lebensmittel, sondern auch für die Industrie als Rohstoff, Reinigungs- oder Kühlmittel wichtig. Der größte Wasserverbraucher weltweit ist jedoch die Landwirtschaft. Besonders wasserintensive und daher meist bewässerte Produkte sind Baumwolle, Reis und Zuckerrohr. Verschmutzung, Verschwendung und Klimaveränderungen bedrohen zudem die Süßwasserreserven der Erde. Wasserprobleme gibt es jedoch keineswegs nur in Entwicklungsländern. Auch in den Industrieländern gibt es Gebiete, in denen die Wasserversorgung schwierig und das Wasser qualitativ schlecht ist. Beispiele dafür sind die Regionen um das Mittelmeer oder der Süden der USA.

Die steigende Nachfrage nach Biokraftstoffen könnte – so die Befürchtungen – die Nachfrage nach Wasser dramatisch erhöhen und in bestimmten Regionen zu einer weiteren Verknappung von Wasserressourcen führen. Der jährliche Wasserverbrauch wird sich nach Angaben des schwedischen Lundqvist-Instituts bis 2045 verdoppeln, wenn die EU und die USA an ihren Ausbauplänen für Biokraftstoffe festhalten (IWR 2007). Im Jahr 2050 müsste dann genauso viel Wasser für den Anbau von Bioenergieerohstoffen verwendet werden wie für die Lebensmittelherstellung. Bisher gibt es allerdings noch keine vollständigen Wasserbilanzen inklusive aller Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. Es ist allerdings zu vermuten, dass auf globaler Ebene die Implikationen eher geringfügig sein dürften. Auf regionaler Ebene kann der großflächige Anbau von Energiepflanzen mit hohem Wasserbedarf – so zum Beispiel intensiv betriebenen Kurzumtriebsplantagen mit Pappeln, Weiden oder Eukalyptus – in Gegenden mit bereits



knappen Wasserressourcen jedoch zu Problemen für den Gebietswasserhaushalt und die Trinkwassergewinnung sowie den Naturschutz führen (EEA 2006).

ENERGIEPFLANZEN UND KULTURLANDSCHAFT

3.5

Landschaften sind Ausdruck eines gemeinsamen Kultur- und Naturerbes, das seinen vielfältigen kulturellen, sozialen, ästhetischen und ökologischen Funktionen entsprechend erhalten, geschützt und entwickelt werden soll. Vielen Menschen gilt in erster Linie der Status quo als der erhaltenswürdige Zustand, der sich jedoch aufgrund der Dynamik von Natur und Kultur und der Wechselwirkungen zwischen naturräumlichen Gegebenheiten und menschlicher Einflussnahme – ein Wesensmerkmal der Kulturlandschaft – prinzipiell nicht konservieren lässt (DRL 2005).

Für den Erhalt der Kulturlandschaft ist die Verlangsamung des Klimawandels ein wichtiges Ziel, da mögliche Klimaänderungen erhebliche Auswirkungen auf das Landschaftsbild haben können. Die energetische Nutzung von Biomasse kann hierzu einen Beitrag leisten. Jedoch kann die Bereitstellung von Biomasse im Allgemeinen und der Anbau schnellwachsender Baumarten in Kurzumtriebsplantagen im Besonderen zu einer Veränderung des Landschaftsbilds führen (Rösch et al. 2007).

Die Effekte perennierender und hoch wachsender Energiepflanzen (beispielsweise Energiemais, der bis zu sechs Meter hoch wird) auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung lassen sich ohne konkreten Standortbezug nur unzureichend bewerten, werden nach Untersuchungen von Wolf/Böhnisch (2004) aber überwiegend negativ beurteilt. Krause (2006) führt dies im Wesentlichen darauf zurück, dass die Energiepflanzenplantagen die Schönheit und Eigenart sowie den Aufbau eines Landschaftsraumes, die Sichtbeziehungen (Aussichten, Ein- und Überblicke) und ästhetischen Genüsse (Kontemplation) sowie die Angebote zum Aufenthalt und zur Bewegung in der Landschaft abändern und charakteristische Erlebnisformen eliminiert werden. In landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten mit geringem Wald- und Gehölzanteil kann die Anpflanzung von Energieholzplantagen dagegen positive Wirkung haben. Durch begleitende Maßnahmen, wie z. B. Einbindung vorhandener Landschaftselemente (z. B. Feldgehölze), Untergliederung in Teilareale und unterschiedliche Nutzungszyklen kann die Einpassung in das Landschaftsgefüge unterstützt werden (Rösch et al. 2007). Untersuchungen zum Feldstreifenanbau zeigen, dass insbesondere Streifen mit Energiehölzern flexibel an unterschiedliche Landschaftsräume und Feldgrößen angepasst werden und dadurch zu einer Belebung der Landschaft führen können, insbesondere wenn es sich dabei um weitgehend ausgeräumte, von großen Ackerschlägen geprägte Landstriche handelt (Röhrich/Ruscher 2004b).

Die Bewertung von Bioenergie aus Umweltsicht erfolgt meist auf der Basis von Ökobilanzen, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Energie- und Treibhausgasbilanzen gelegt wird. Die Ökobilanzergebnisse von Prozessketten zur energetischen Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe schneiden gegenüber den fossilen Energieträgern am besten ab, da hier die teilweise hohen Umweltbelastungen aus der Biomassebereitstellung wegfallen. Ebenfalls gute Ergebnisse zeigt die energetische Nutzung von Holz oder von mehrjährigen lignocellulosehaltigen Energiepflanzen, denn die Bereitstellung dieser Energieträger ist mit vergleichsweise geringen negativen Umweltauswirkungen verknüpft. Mit einer verstärkten Nutzung von Biomasse für die Bereitstellung von Strom und Wärme kann ein größerer Beitrag zur Verlangsamung des Klimawandels geleistet werden als durch die Herstellung von Biokraftstoffen. Allerdings schrumpft der Wärmemarkt und kann auch von anderen regenerativen Energiequellen mit zum Teil günstigeren Ökobilanzen bedient werden. Der wachsende Kraftstoffmarkt hat dagegen bislang keine regenerativen Alternativen außer der Biomasse. Die Ökobilanzen der verwendeten bzw. in der Entwicklung befindlichen Biokraftstoffe unterscheiden sich teilweise deutlich. Biokraftstoffe aus tropischen Ländern sowie in Entwicklung befindliche wie BtL oder Ethanol aus Lignocellulose) haben tendenziell ein größeres Potenzial zur Substitution fossiler Energieträger und zur Verringerung der Klimagasemissionen als bisherige heimische Biokraftstoffe (z.B. Rapsöl, Ethanol aus Mais).

Obwohl Bioenergeträger erneuerbar sind, kann bei ihrem Anbau und ihrer Verarbeitung ein breites Spektrum von Umweltbelastungen entstehen. Dieses reicht von Überdüngung und Versauerung des landwirtschaftlichen Bodens bis hin zur Mehrbelastung an gesundheitsschädigenden Feinstaubemissionen und zum Verlust an Artenvielfalt. Bei den meisten Ökobilanzen zeigt sich ein Konflikt zwischen der Substitution fossiler Energie und der Minimierung der Treibhausgasemissionen einerseits und einer positiven ökologischen Bilanz hinsichtlich anderer Umweltbereiche (z. B. Emissionen an versauernd oder eutrophierend wirkenden Verbindungen oder an Feinstaub) andererseits. Angesichts dieser Vor- und Nachteile in den unterschiedlichen Bewertungskategorien können auf der Basis von Ökobilanzen allein keine abschließenden Aussagen und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Die Schwierigkeit, zu einer wissenschaftlich abgesicherten und verallgemeinerbaren Gesamtbewertung zu kommen, wird durch das Hinzuziehen von Effekten auf andere, nicht in den Ökobilanzen enthaltene Umweltparameter, verschärft. Dies ist jedoch erforderlich, da insbesondere die Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus zu negativen Auswirkungen auf nicht in Ökobilanzen erfasste Umweltkriterien wie Artenvielfalt, Verfügbarkeit von Phosphat, Wasserhaushalt und Kulturlandschaft führen kann. Negative Umweltwirkungen treten insbesondere auf, wenn der Energiepflanzenanbau zur



Umwandlung von Grünland oder Intensivierung bislang extensiv genutzter bzw. stillgelegter Flächen oder zu Regenwaldrodungen und zur Torfbödenutzung in tropischen Ländern führt.

ÖKONOMISCHE WIRKUNGEN

4.

Ökonomische Fragestellungen einer verstärkten Nutzung von Bioenergie bzw. von Energiepflanzen betreffen einerseits ihre Wirtschaftlichkeit und andererseits volkswirtschaftliche Effekte wie beispielsweise die Beschäftigungswirkungen. Die Produktionskosten und die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit unterscheiden sich bei den verschiedenen Produktionslinien und Nutzungsbereichen wie auch hinsichtlich der landwirtschaftlichen Produktionsstandorte. Die Abschätzungen zukünftiger ökonomischer Wirkungen sind mit Unsicherheiten behaftet, da sie auf zahlreichen Annahmensetzungen beruhen.

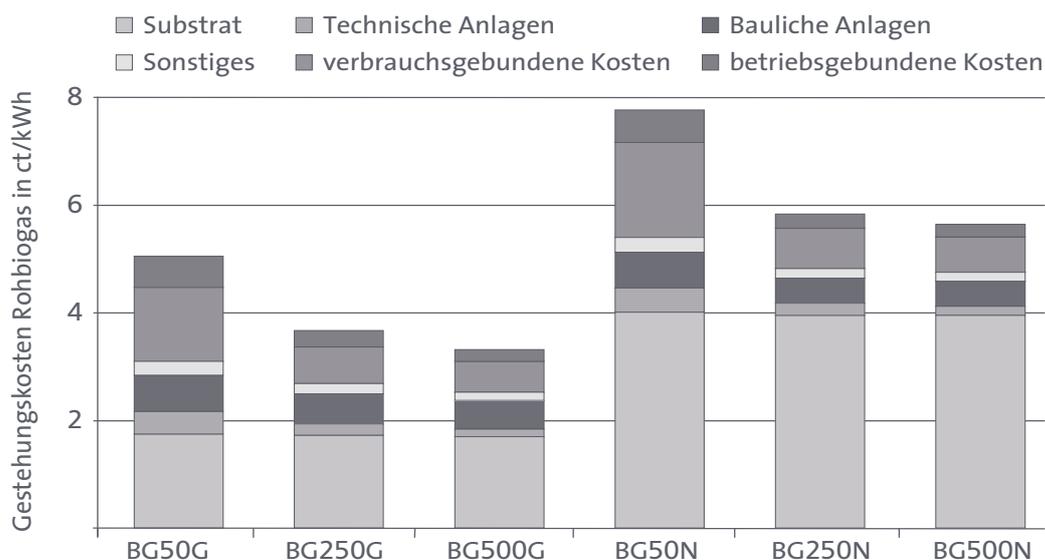
PRODUKTIONSKOSTEN

4.1

Die Kosten der Bioenergieerzeugung setzen sich zusammen aus den Kosten für die Biomassebereitstellung bzw. die landwirtschaftliche Energiepflanzenproduktion, den Transport der Biomasse, die Konditionierung sowie die Konversion zu Sekundär- bzw. Endenergieträgern. Dies wird exemplarisch am Beispiel der Biogaserzeugung beschrieben (Abb. 38).

ABB. 38

PRODUKTIONSKOSTEN VON BIOGAS



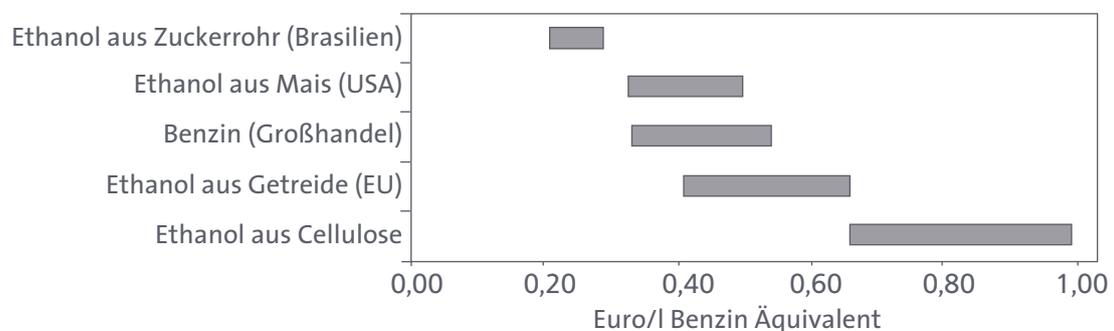
Quelle: Hofmann et al. 2006, S. 142

Auf der linken Seite der Abbildung 38 sind die Biogaserzeugungskosten von Biogasanlagen mit GÜllenutzung und unterschiedlicher Anlagengröße (50 m³/h, 250 m³/h bzw. 500 m³/h Biogas zur Nutzung) und auf der rechten Seite die Biogaserzeugungskosten von Biogasanlagen mit Energiepflanzennutzung und wiederum unterschiedlicher Anlagengröße aufgeführt. Die Vergärung von Gülle stellt mit 5,2, 3,6 bzw. 3,3 ct/kWh je nach Anlagengröße die kostengünstigste Option dar. Dies wird durch die niedrigen Kosten für die Gülle bewirkt. Allerdings ist ein entsprechender lokaler Tierbestand notwendig, da die Transportkosten für Gülle hoch sind. Bei der Biogaserzeugung aus Energiepflanzen liegen die Erzeugungskosten um etwa 2 ct/kWh höher als bei Gülle. Je nach Anlagengröße betragen die Kosten 7,9, 5,8 bzw. 5,7 ct/kWh (Wuppertal-Institut 2006, S. 30). Außerdem wird deutlich, dass die Substratkosten bei den größeren Biogasanlagen rund Dreiviertel der Gesamtkosten ausmachen. Bei Bioethanol liegt der Anteil der Energiepflanzenproduktion an den Gesamtkosten bei 50 bis 70 % und bei Biodiesel bei 70 bis 80 % (Worldwatch Institute 2007, S. 20).

Die *Kosten der Energiepflanzenbereitstellung* haben somit einen erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Energiepflanzennutzung. Deshalb lassen sich über preiswerte Biomasseträger am ehesten die Kosten senken. Die Kosten für die Energiepflanzenproduktion sind allerdings von der Entwicklung der Agrarpreise abhängig, weil diese entsprechende Opportunitätskosten bedeuten.

Während bei Biomasse mit geringer Energiedichte (z.B. Biogassubstrat) die Transportwürdigkeit begrenzt ist und daher eine lokale bzw. regionale Konversion zu Endenergie erfolgen muss, spielen bei Bioenergieträgern mit hoher Energiedichte, wie Biokraftstoffe, die Transportkosten nur eine geringe Rolle. Biokraftstoffe weisen im *internationalen Vergleich der Produktionskosten* erhebliche Unterschiede auf, d.h. die Produktionskosten unterscheiden sich, je nachdem in welchem Land und mit welcher Energiepflanze die Erzeugung erfolgt (Abb. 39).

ABB. 39 PRODUKTIONSKOSTEN FÜR BIOETHANOL UND BENZIN 2006



Quelle: Worldwatch Institute 2007, S. 21

So lagen im Jahr 2004 die Erzeugungskosten für Bioethanol aus Zuckerrohr in Brasilien bei 0,27 Euro/l, aus Mais in den USA bei 0,36 Euro/l und aus Weizen in der EU bei 0,70 Euro/l, wobei für Bioethanol ein Energiegehalt von 67 % eines Liters Benzin unterstellt wurde (Worldwatch Institute 2007, S.21). Die niedrigeren Produktionskosten in tropischen Ländern sind durch hohe Biomasseerträge und niedrige Boden- und Arbeitskosten bedingt.

Die *Kosten für die Konversion* sind von der Anlagengröße abhängig, wobei sich bei zunehmender Anlagegröße teilweise deutliche Kostenreduktionen pro Energieeinheit ergeben. Dies ist auf entsprechende Skaleneffekte zurückzuführen, da die Investitions- und Betriebskosten nicht entsprechend der Leistungszunahme steigen. Mit der Größe der Konversionsanlage steigen allerdings auch die Aufwendungen für den Transport der Biomasse vom Feld zur Konversionsanlage. Für neue Konversionstechnologien wie das zweistufige BtL-Konzept lässt sich derzeit noch nicht eindeutig abschätzen, ab welcher Größenordnung und unter welchen Bedingungen dezentrale Pyrolyseanlagen oder ihre Integration mit der Vergasungs- und Syntheseanlage wirtschaftlich günstiger abschneiden (Leible et al. 2007). Grundsätzlich werden bei der Herstellung von Biokraftstoffen der nächsten Generation bedeutend höhere Kapazitäten pro Anlage als beispielsweise bei der Biogaserzeugung geplant.

Das *Kostenminderungspotenzial bei den Konversionstechnologien* ist bei etablierten Technologien wie beispielsweise Dampfturbinenheizkraftwerken gering. Für in der Entwicklung befindliche Technologien wie die Vergasung, die heute noch relativ kostspielig sind, werden dagegen zukünftig deutliche Kostenreduktionen erwartet (Nitsch et al. 2004b, S.45). Lerneffekte und die Serienherstellung führen zu entsprechenden Kostensenkungen. Da der Anteil der Kosten für die Konversion aber in der Regel nicht dominiert, ist der Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit begrenzt. Außerdem bestehen zwangsläufig Unsicherheiten, welche Kostensenkungen erzielt werden können.

Grundsätzlich gilt weiter, dass die *Bioenergieerzeugung aus Reststoffen* in der Regel kostengünstiger ist als die aus Energiepflanzen. Diese Aussage ist jedoch nur solange gültig, wie kostengünstige Reststoffe für die Bioenergienutzung verfügbar sind. Bei einem schnellen Ausbau der Bioenergienutzung und der Einführung neuer Konversionstechnologien auf der Basis von Reststoffen (z.B. Waldrestholz) werden die Potenziale bei gleichzeitigen umwelt- und naturschutzrechtlichen Beschränkungen in absehbarer Zeit nicht ausreichen (TAB 2007, S.152 ff.). Dies wird zur Verteuerung entsprechender Biomassen führen und die Kostennachteile der Energiepflanzennutzung verringern. Die entsprechenden ökonomischen Zusammenhänge sind aber bisher noch nicht genauer untersucht worden.

WIRTSCHAFTLICHKEIT

4.2

Die *Preise fossiler Energieträger* bestimmen wesentlich die Wirtschaftlichkeit der Energiepflanzennutzung. Für bisherige Biokraftstoffe werden beispielsweise folgende Angaben gemacht: Bioethanol aus Zuckerrohr in Brasilien ist ab einem Rohölpreis über 30 Euro/Barrel wettbewerbsfähig, Bioethanol aus Mais in den USA ab einem Rohölpreis über 45 Euro/Barrel und Bioethanol in der EU ab einem Rohölpreis über 60 bis 80 Euro/Barrel. Die Wettbewerbsfähigkeit von Biodiesel wird ab einem Rohölpreis über 75 Euro erreicht (Worldwatch Institute 2007, S.20). Die Bioethanolproduktion in Deutschland ist auf weitere Kostensenkungen angewiesen, um gegenüber Importen wettbewerbsfähig zu sein (Henniges 2007). Die Differenzen bei der Wettbewerbsschwelle sind durch die unterschiedlichen Produktionskosten bedingt (s. o.).

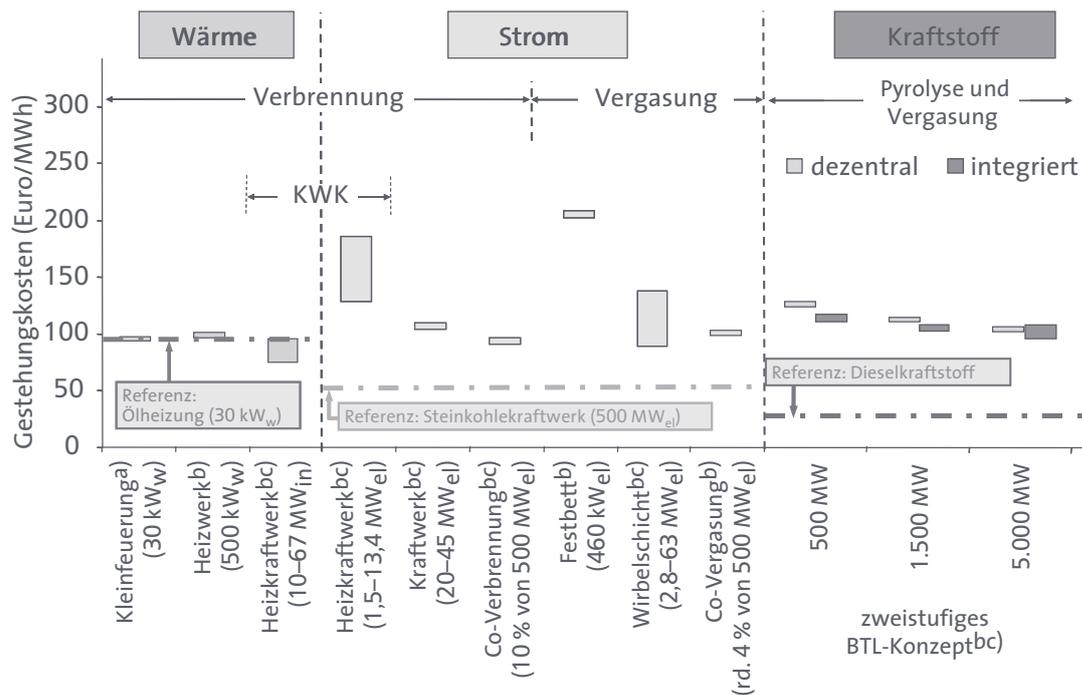
Die niedrigen Produktionskosten von Bioethanol in Brasilien oder von Palmöl für Biodiesel in Südostasien bedeuten allerdings nicht, dass die zukünftige Nachfrage in Deutschland und der EU ausschließlich durch entsprechende Importe gedeckt werden kann, weil entsprechende Produktionsmengen nicht zur Verfügung stehen bzw. zu diesen niedrigen Preis nicht erzeugt werden können, insbesondere wenn die ehrgeizigen Ausbauziele in wichtigen Verbrauchsländern (Kap. III.1) umgesetzt werden.

Für BtL-Kraftstoffe kommen erste Abschätzungen zu dem Ergebnis, dass BtL-Diesel für rund 0,90 bis 1,00 Euro/l frei Anlage (in Abhängigkeit von der Anlagengröße) und ohne Berücksichtigung der Mineralölsteuer bereitgestellt werden kann. Bei einem Rohölpreis von 65 US-Dollar/Barrel liegen bei Diesel die vergleichbaren Bereitstellungskosten frei Raffinerie bei rund der Hälfte, und nur bei einer vollständigen Mineralölsteuerbefreiung würde die Wettbewerbsfähigkeit erreicht (Leible et al. 2007, S. 2).

Der *Wert von Kuppelprodukten* beeinflusst die Wirtschaftlichkeit von Biokraftstoffen aus einer Teilpflanzennutzung. Das bei der Umesterung von Pflanzenöl zu Biodiesel anfallende Glycerin bringt eine Gutschrift von 0,04 bis 0,08 Euro/l. Die Erlöse aus den Koproducten bei der Ethanolherstellung liegen bei 0,025 bis 0,035 Euro/l. Die starke Ausdehnung der Biokraftstoffproduktion führt mittlerweile aber zur Sättigung einiger Märkte für Koppelprodukte, sodass das Potenzial dieser Einnahmekomponente begrenzt ist. Dies gilt beispielsweise für den Glycerinmarkt in Europa (Worldwatch Institute 2007, S. 22). Außerdem beeinflussen sich Märkte von Koppelprodukten verschiedener Energiepflanzenproduktlinien gegenseitig. Das Beiproduct DDG (dried distiller's grain) aus der Bioethanolherstellung kann ebenso in Futtermitteln verwendet werden wie Schrot bzw. Presskuchen von der Biodieselherstellung aus Ölsaaten, sodass es zwischen diesen zu Verdrängungseffekten kommen kann (OECD/FAO 2007, S. 78).

Ein Vergleich verschiedener Konversionstechniken wird anhand eines Beispiels der Reststoffnutzung, und zwar der Erzeugung von Wärme, Strom bzw. Kraftstoff aus Stroh und Waldrestholz, demonstriert (Abb. 40).

ABB. 40 GESTEHUNGSKOSTEN BEI WÄRME, STROM UND KRAFTSTOFF AUS STROH UND WALDRESTHOLZ



- a) Industrierestholz (Pellets, 92 % TS)
- b) Waldrestholz (HS, 50 % TS)
- c) Stroh (Quaderballen, 86 % TS)

Quelle: Leible et al. 2007, S. 102

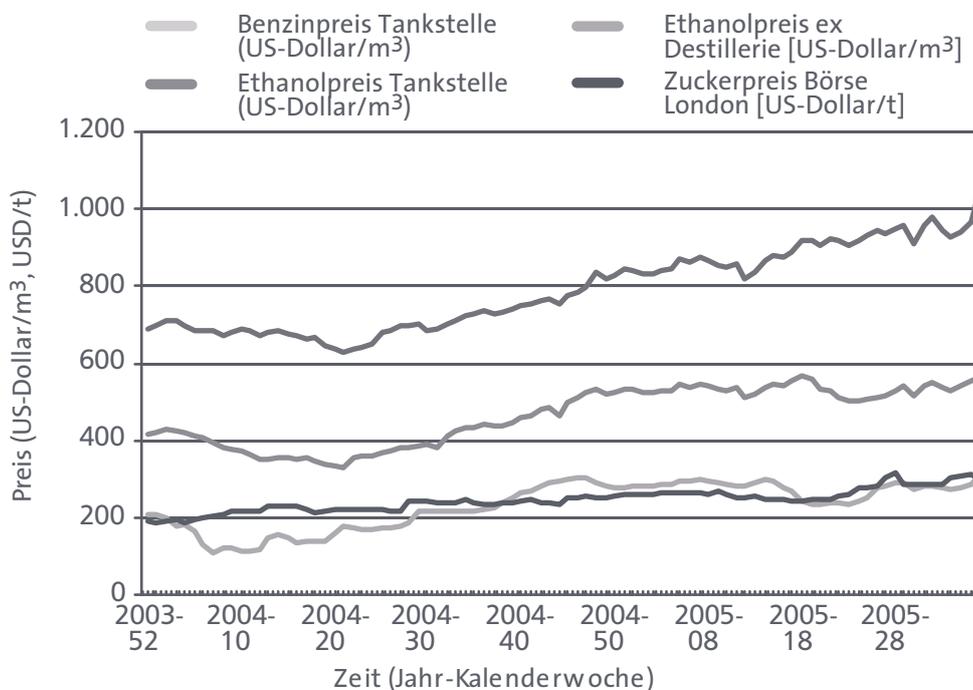
Wie der Vergleich mit den fossilen Referenzen zeigt, liegt die Wärmenutzung nahe an der Wirtschaftlichkeit bzw. hat diese erreicht. Bei der Kraft-Wärme-Kopplung und der alleinigen Stromerzeugung ist die Wirtschaftlichkeit noch nicht erreicht. Ein wirtschaftlicher Betrieb von Biomasseverbrennungsanlagen wird unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen nur erreicht, indem kostengünstige Alt- und Industrieresthölzer mit verbrannt werden. Die derzeit im Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) festgelegte Einspeisevergütung reicht bei einem Biomassekraftwerk mit 20 MW_{el} nicht aus, um beim alleinigen Betrieb mit Waldrestholz oder Stroh wettbewerbsfähig zu sein. Von den betrachteten Modellanlagen zur Stromerzeugung können Biomassekraftwerke mit einer elektrischen Leistung im Bereich 20 bis 45 MW_{el} als erste einen wirtschaftlichen Betrieb erreichen. Bei den noch in der Entwicklung befindlichen Technologien hat die Festbettvergasung im Leistungsbereich unter 500 kW_{el} eher schlechte Per-

spektiven, während die Wirbelschichtvergasung ab 5 MW_{el} Aussichten auf einen wirtschaftlichen Betrieb bietet (Leible et al. 2007, S. 102 ff.).

Grundsätzlich dürften die Vorteile der Vergasungstechnologie damit im Bereich der Stromerzeugung liegen, während Verbrennungstechnologien bei der Bereitstellung von Wärme überlegen sind, insbesondere bei kleinen Heizanlagen und den wärmegeführten Heizkraftwerken. Schließlich zeigt sich, dass neue Produktlinien der Wärme- und Stromerzeugung näher an der Wirtschaftlichkeit sind als die BtL-Herstellung.

Schließlich sind noch die *Zusammenhänge zwischen fossilen Energiepreisen und den Preisen für Bioenergieträger* bzw. der Wirtschaftlichkeit der Bioenergienutzung zu diskutieren. Seit dem Frühjahr 2004 sind steigende Preise für Rohöl am Weltmarkt zu beobachten. Diese Preisänderungen wirken auf die Preise der Biokraftstoffe und der agrarischen Rohstoffe für Bioenergieträger. Dies kann exemplarisch an der Preisentwicklung für Bioethanol in Brasilien gezeigt werden (Abb. 41). Brasilien dominiert den Weltzuckermarkt und ist führend im Export von Zucker und Bioethanol. Aus der Abbildung ist zu erkennen, dass parallel zu dem steigenden Preis für fossiles Benzin die Preise für Bioethanol angestiegen sind. Außerdem wird deutlich, dass mit dem Preisanstieg für Benzin die Zuckerpriese am Weltmarkt angestiegen sind (Thrän et al. 2005, S. 300).

ABB. 41 ENTWICKLUNG DER BIOETHANOL- UND BENZINPREISE IN BRASILIEN



Quelle: Thrän et al. 2005, S. 281

Bei einem dauerhaft höheren Preisniveau für Erdöl am Weltmarkt werden auch *höhere Weltmarktpreise für wichtige agrarische Rohstoffe*, so auch für Zucker, erwartet. Dies gilt derzeit als die wahrscheinlichere Entwicklung. Umgekehrt würde ein deutliches Absinken der Rohöl- und Benzinpreise bedeuten, dass die Bioethanolproduktion an Attraktivität verliert, große Mengen aus Zuckerrohr- und Zuckerrübenproduktion in den Zuckermarkt drängen und dort zu einem erheblichen Preisverfall führen würden (OECD/FAO 2007, S. 92).

Steigende Preise für fossile Energieträger bedeuten allerdings nicht nur höhere Preise für Bioenergieträger, sondern bewirken auch steigende Kosten im Energiepflanzenanbau, da beispielsweise die Düngemittel- und Pflanzenschutzmittelpreise vom Energiepreisniveau abhängig sind. Außerdem führen steigende Weltmarktpreise für agrarische Rohstoffe tendenziell auch zu steigenden Preisen für Biomasse aus dem Energiepflanzenanbau, wobei diese entscheidend für die gesamten Kosten der Energiepflanzennutzung sind. Damit wird eine zunehmende Wirtschaftlichkeit der Bioenergienutzung (durch steigende Preise für Erdöl etc.) voraussichtlich nicht verhindert, aber vermutlich verlangsamt.

Die zukünftigen Preisentwicklungen werden letztlich durch Nachfrage- und Angebotsänderungen sowie die entsprechenden Preiselastizitäten bestimmt, die wiederum von vielen Einflussfaktoren gesteuert werden. Diese Zusammenhänge sind bisher nicht systematisch untersucht worden. Einigkeit besteht allerdings insoweit, dass die Märkte für fossile Energien, für Energiepflanzen und Bioenergieträger sowie für Agrarprodukte und Nahrungsmittel mittlerweile miteinander verknüpft sind und sich gegenseitig beeinflussen.

AUSSENSCHUTZ

4.3

Bioenergieträger mit hoher Energiedichte (wie Biokraftstoffe) verursachen geringe Transportkosten. Bei ihnen hat der Außenschutz einen wesentlichen Einfluss darauf, ob sie im Inland produziert werden oder aus außereuropäischen Ländern importiert werden. Industriestaaten, wie die USA und die EU, haben neben dem allgemein hohen Außenschutz für ihre Landwirtschaft auch Zölle und andere Importrestriktionen für Bioenergieträger.

Bei *Bioethanol* beträgt der Importzoll der EU für denaturiertes Bioethanol (Ethanol mit Additiven) 10,20 Euro/hl und für nichtdenaturiertes Bioethanol 19,20 Euro/hl. Aufgrund der niedrigen Produktionskosten kann brasilianische Bioethanol (inklusive Transportkosten und Einfuhrzoll, ohne Gewinnspanne der Produzenten und Umsatzsteuer) für rund 40 Euro/hl in Europa zugekauft werden und ist damit preisgünstiger als einheimisches Bioethanol. In den USA liegt der Importzoll für Bioethanol bei 15 Euro/hl. Dieser Importzoll verhindert eine Konkurrenzfähigkeit des brasilianischen Bioethanols gegenüber der Bioethanolerzeu-

gung aus Mais in den USA. Gleichzeitig besteht eine Reihe von Präferenzregelungen, die einen bevorzugten Marktzugang für Entwicklungsländer durch einseitig reduzierte Zollsätze für Agrarprodukte und Biokraftstoffe beinhalten. Die zukünftige Gestaltung der Importzölle sowie beschränkender Importkontingente im Rahmen der EU-Mercosur- und WTO-Verhandlungen (Kap. V.4) wird daher von zentraler Bedeutung für die weitere Entwicklung der europäischen Bioethanolindustrie sein (Nusser et al. 2007, S.63; Thrän et al. 2005, S.280; Worldwatch Institute 2007, S.143).

Etwas anders stellt sich die Situation bei *Biodiesel* dar. Der globale Handel mit Ölsaaten, insbesondere Soja, unterliegt relativ niedrigen Zöllen (um 10 %) und anderen Handelsrestriktionen, während für pflanzliche Öle höhere Zölle (um 20 %) gelten. Die EU erhebt für pflanzliche Öle zur Biodieselherstellung niedrige bis keine Importzölle. Für Biodiesel aus NichtMitgliedstaaten wird ein Zollsatz von 6,5 % erhoben, ohne mengenmäßige Beschränkungen (Worldwatch Institute 2007, S.143).

Aufgrund der ambitionierten EU-Ziele zur Nutzung von Biokraftstoffen (Kap. III.1) und dem relativ begrenzten Flächenangebot zum Ausbau der Rapsproduktion (insbesondere aufgrund von Fruchtfolgegrenzen) wird in den kommenden Jahren mit einem steigenden Import von Ölsaaten und pflanzlichen Ölen gerechnet. Für die Herstellung von reinem Biodiesel (B-100) ist davon auszugehen, dass auch zukünftig fast ausschließlich Rapsöl verwendet wird, weil bei anderen Rohstoffen die Qualitätsnormen für die Kraftstoffeigenschaften von Biodiesel nur schwer oder gar nicht erfüllt werden können. Für die Beimischung zu fossilem Diesel können allerdings auch preisgünstige Öle wie Palm- und Sojaöl verwendet werden, weshalb zunehmende Importe erwartet werden. Infolge des weltweiten Ausbaus der Biodieselproduktion sowie der steigenden Nachfrage nach Ölen und Fetten in der Nahrungsmittelindustrie wird sich der Weltmarkt für Öle und Fette in jedem Fall merklich verändern (Thrän et al. 2005, S.323).

SUBVENTIONEN

4.4

Die Nutzung von Energiepflanzen ist derzeit in der Regel nicht wirtschaftlich, wie zuvor dargestellt. Deshalb werden entsprechende Förderpolitiken (Kap. III.2) eingesetzt, um die Energiepflanzennutzung zu ermöglichen und auszubauen. Damit verbunden sind entsprechende staatliche Subventionen (z. B. Steuerbefreiung für Biokraftstoffe) bzw. höhere Kosten für die Verbraucher (wie beispielsweise bei der Einspeisevergütung).

Die Kosten der Förderung werden wesentlich durch die *Entwicklung der fossilen Energiepreise und der Produktionskosten bei der Energiepflanzennutzung* be-

stimmt. Deren zukünftige Entwicklungen sind ungewiss, sodass Abschätzungen des Subventionsbedarfs mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind.

Weiterhin haben *die Ausgestaltung und der Umfang der Förderpolitik* einen erheblichen Einfluss auf den zukünftigen Subventionsbedarf. Einerseits erfordert ein schneller Ausbau der Bioenergie- und Energiepflanzennutzung eine entsprechend höhere Fördersumme. Andererseits ist eine ambitionierte und langfristig ausgelegte Förderpolitik die Voraussetzung, dass spürbare Fortschritte von der Züchtung bis zu den Konversionstechnologien erzielt und damit die Produktionskosten der Energiepflanzennutzung gesenkt werden können (Nitsch et al. 2004b, S.193). Gegenüber anderen erneuerbaren Energien ist dieser Effekt bei Energiepflanzen geringer, weil die Kosten der Biomassebereitstellung einen erheblichen Einfluss haben (Kap. IV.4.1). Zwischen der Mobilisierung der Kostensenkungspotenziale und der Begrenzung der Kostenbelastungen den richtigen Weg zu finden, ist eine schwierige Aufgabe der Förderpolitik.

Nachfolgend werden exemplarisch die Ergebnisse einzelner Abschätzungen der Subventionen bzw. Differenzkosten dargestellt.

Die gegenwärtigen *Subventionen für Bioethanol in den USA* werden im Bereich von 5,1 bis 6,8 Mrd. US-Dollar geschätzt. Dabei dominieren Förderprogramme der Bundesregierung, aber diese werden durch eine Vielzahl weiterer Programme ergänzt, die praktisch alle Stufen der Erzeugung und des Verbrauchs adressieren. Da die meisten Subventionen an die Produktion gekoppelt sind, wird für die nächsten Jahre (bis 2012) ein Anstieg der Biokraftstoffsubventionen für Bioethanol und Biodiesel auf 8 bis 11 Mrd. US-Dollar erwartet (Koplow 2006, S.56). Entsprechende systematische Analysen für Deutschland und die EU wurden nicht gefunden.

Die Differenzkosten beschreiben die zusätzlichen Kostenaufwendungen, die für erneuerbare Energien gegenüber den Kosten der konventionellen Energiebereitstellung erforderlich sind (Nitsch et al. 2004b, S.200 ff.). Für die Ausbaustrategien wird bei der unterstellten Preisentwicklung fossiler Energien erwartet, dass die Differenzkosten für Bioenergie im Strom- und Wärmesektor um das Jahr 2030 gegen Null gehen und anschließend sich zugunsten der Bioenergie entwickeln. Bei den Biokraftstoffen dagegen ergeben sich deutlich länger wirkende Differenzkosten, die auch noch im Jahr 2050 positiv sind (Nitsch et al. 2004b, S.200 ff.).

Eine Abschätzung der *Auswirkungen des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes* mithilfe des regionalisierten Agrarsektormodells RAUMIS kommt zu dem Ergebnis, dass die Anbauflächen für Energiemais langfristig auf rund 1,8 Mio. ha steigen und mit der Erzeugung und Verstromung des Biogases rund 7 % der derzeitigen Stromerzeugung bereitgestellt werden. Aufgrund des angenommenen um ca. 0,08 Euro/kWh höheren Strompreises gegenüber dem aus fossilen Energieträ-

gern erzeugten Strom ergibt sich in dieser Abschätzung, dass insgesamt höhere Stromkosten von rund 3,7 Mrd. Euro/Jahr entstehen würden (Gömann et al. 2007). Dieser Wert liegt deutlich höher als die maximalen Differenzkosten (im Jahr 2015) von 4 Mrd. Euro/Jahr für alle erneuerbaren Energien im Stromsektor im Szenario Basis I der Studie »Ökologisch optimierter Ausbau EE«, die außerdem danach deutlich abnehmen (Nitsch et al. 2004b, S. 201).

BESCHÄFTIGUNGSWIRKUNGEN

4.5

Die möglichen Beschäftigungswirkungen der Energiepflanzennutzung werden einer ersten Abschätzung der makroökonomischen Effekte des Anbaus und der Nutzung nachwachsender Rohstoffe (Nusser et al. 2007) entnommen, wobei hier nur auf die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe eingegangen wird. Bei dem Basisszenario dieser Studie wird bei den Biokraftstoffen das Beimischungsziel von 5,75 % erreicht und für BtL die Marktreife ab 2020 unterstellt. Weiter wird eine Importquote von 40 % aufgrund sich öffnender Märkte angenommen. Für den Bereich Energie/Strom aus Biomasse wird der Fortbestand des EEG unterstellt.

Die *Bruttobeschäftigungswirkungen* umfassen die direkten Beschäftigungseffekte in der deutschen Landwirtschaft, bei der Konversion zu Sekundär- und Endenergieträgern sowie die indirekten und induzierten Beschäftigungseffekte durch Ausgaben für Vorleistungskäufe bei Zuliefererbranchen und für Investitionstätigkeiten. Bis 2010 wird unter den getroffenen Szenarienannahmen etwa eine Verdoppelung und bis 2020 rund eine Vierfachung der Bruttobeschäftigungswirkungen erwartet (Tab. 22). Der größte Teil dieser Beschäftigungswirkung entfällt dabei auf den Bereich der Biokraftstoffe. Hohe indirekte und induzierte Beschäftigungseffekte (Faktor 5,7 im Jahr 2020) weist vor allem BtL auf, weil sehr arbeitsintensive Vorleistungen (u. a. Transport von Miscanthus und Pappeln) benötigt und viele Investitionen für den Kapazitätsaufbau getätigt werden (Nusser et al. 2007, S. 7).

Die *direkten Arbeitsplatzeffekte in der deutschen Landwirtschaft* – als Teil der gesamten Bruttobeschäftigungswirkungen – sind in Tabelle 22 getrennt ausgewiesen. Daraus ist ersichtlich, dass danach die Zahl der Arbeitsplätze in der Landwirtschaft auf rund 15.000 im Jahr 2010 und rund 19.000 im Jahr 2020 steigt. Daran gekoppelt ist ein Flächenbedarf von rund 1,6 Mio. ha (2010) bzw. rund 3 Mio. ha (2020) (Nusser et al. 2007, S. 9 f.). Damit hat die Landwirtschaft einen relativ geringen Anteil an den gesamten Beschäftigungswirkungen.

Der Arbeitskräftebedarf der Landwirtschaft insgesamt wird durch den technischen Fortschritt und die damit verbundenen Produktivitätssteigerungen in der Agrarproduktion bestimmt. Bei Fortschreibung des Vergangenheitstrends und

ausgehend von den derzeit verfügbaren, aber noch nicht in vollem Umfang eingesetzten Agrartechnologien wird bis zum Jahr 2020 eine Reduktion der landwirtschaftlich Beschäftigten um rund 50 % erwartet (Nusser et al. 2007, S.9). Deshalb können durch die Energiepflanzennutzung (sowie durch nachwachsende Rohstoffe insgesamt) die *Beschäftigungsrückgänge in der deutschen Landwirtschaft* nur verlangsamt, aber der Trend nicht umgekehrt werden.

TAB. 22 BESCHÄFTIGUNGSWIRKUNGEN DER ENERGIEPFLANZENNUTZUNG

| Beschäftigungswirkungen | 2004 | 2010 | 2020 |
|--|--------|--------|--------|
| <i>Bruttobeschäftigungswirkungen</i> | | | |
| <i>Bruttobeschäftigungswirkungen Energiepflanzen gesamt</i> | 23.300 | 47.400 | 89.800 |
| <i>Biokraftstoffe</i> | 18.400 | 34.200 | 76.300 |
| Biodiesel | 18.100 | 20.700 | 23.700 |
| Bioethanol | 300 | 13.500 | 12.100 |
| BtL | – | – | 40.500 |
| <i>Energie/Strom aus Biomasse</i> | 4.900 | 13.200 | 13.500 |
| Strom/Wärme Biogas | 4.700 | 13.000 | 13.300 |
| Strom sonstige Energiepflanzen | 200 | 200 | 200 |
| <i>davon direkte Arbeitsplatzeffekte in der deutschen Landwirtschaft</i> | | | |
| Biokraftstoffe | 8.301 | 12.716 | 15.780 |
| Energie/Strom aus Biomasse | 260 | 2.314 | 3.378 |
| <i>Nettobeschäftigungswirkungen (gegenüber 2004)</i> | | | |
| <i>Nettobeschäftigungswirkungen Energiepflanzen gesamt</i> | – | 1.300 | 11.300 |
| <i>Biokraftstoffe</i> | – | -1.200 | 7.800 |
| Biodiesel | – | -200 | 700 |
| Bioethanol | – | -1.000 | -600 |
| BtL | – | – | 7.700 |
| <i>Energie/Strom aus Biomasse</i> | – | 2.500 | 3.500 |
| Strom/Wärme Biogas | – | 2.400 | 3.400 |
| Strom sonstige Energiepflanzen | – | 100 | 100 |

Quelle: verändert nach Nusser et al. 2007, S.8, 10 u. 13

Bei den *Nettobeschäftigungseffekten* werden die positiven Bruttobeschäftigungswirkungen mit den negativen Effekten aus der geringeren Verwendung fossiler Energieträger verrechnet und gegenüber dem Ausgangsjahr 2004 dargestellt. Neben den vermiedenen Investitionen werden u.a. kompensatorische Effekte und Budgeteffekte berücksichtigt. So müssen beispielsweise Mehrkosten, die die

Bereitstellung und Verwendung von Energiepflanzen gegenüber traditionellen Energieträgern mit sich bringen, inklusive der Subventionen und Steuerbefreiungen, gesamtwirtschaftlich durch Minderausgaben an anderer Stelle (u. a. sinkende private Konsumausgaben) kompensiert werden. Damit wird eine Bilanzierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte vorgenommen. Insgesamt liegen die Nettobeschäftigungseffekte für die energetische Nutzung bei 1.300 Arbeitsplätzen im Jahr 2010 und bei 11.300 im Jahr 2020 (Tab. 22).

Die leicht negativen Effekte bei Biokraftstoffen im Jahr 2010 sind dadurch bedingt, dass Biodiesel und Bioethanol zu 40 % importiert werden und damit große Teile der landwirtschaftlichen und industriellen Wertschöpfungsprozesse nicht in Deutschland beschäftigungswirksam werden. Außerdem bewirken die Mehrkosten (höhere Kraftstoffpreise bzw. Steuermindereinnahmen) eine Schmälerung des privaten Konsums mit entsprechenden negativen Beschäftigungseffekten. Der positive Nettoeffekt im Jahr 2020 entsteht dadurch, dass im Zeitablauf Mineralöl teurer wird (und sich somit die gesamtwirtschaftliche Mehrkostenbelastung verringert) sowie BtL-Kraftstoffe eingeführt werden. Die Verwendungsbereiche Wärme und Strom werden durch die Entwicklung beim Biogas determiniert. Hier treten Importsubstitutionseffekte auf, sodass es trotz eines Rückgangs der Konsumausgaben aufgrund gestiegener Stromkosten zu einer Beschäftigungssteigerung kommt (Nusser et al. 2007, S. 12).

Insgesamt werden positive Nettoeffekte durch eine Importsubstitution der hochgradig importierten fossilen Energieträger durch heimisch angebaute Energiepflanzen begünstigt. Ein kritischer Faktor für die Höhe der Beschäftigungswirkungen ist damit die Entwicklung des Agrarweltmarkts und die Öffnung der Agrarmärkte. Die Höhe der Nettobeschäftigungseffekte hängt weiterhin entscheidend von der Preisdifferenz zu fossilen Energieträgern ab. Je niedriger die fossilen Energiepreise sind, desto mehr kommen konsummindernde Kompensationseffekte zum Tragen, die die positiven Effekte schmälern und sogar überkompensieren können. Schließlich entstehen positive Effekte durch die Herausbildung von Vorreitermarktstellungen, weil dadurch erhebliche Exporterfolge möglich werden. Eine Vorreiterstellung erfordert die Integration von Anbau und Konversion in komplexe und nicht einfach ins Ausland verlagerbare Verbünde der Bereiche Forschung, Entwicklung und Produktion. Derartige Strategien greifen weit über den Bereich Landwirtschaft hinaus und erfordern einen ressortübergreifenden Politikansatz (Nusser et al. 2007, S. 16).

FAZIT

5.

Es gibt eine große Zahl von fachwissenschaftlichen Veröffentlichungen zu Bioenergie und Energiepflanzen, die einzelne Aspekte der Technikentwicklung, des

Einsatzes und der Folgewirkungen behandeln. Mittlerweile gibt es aber auch eine Reihe von Studien, die den derzeitigen Kenntnisstand zusammenfassen und mehr oder weniger auf Politikberatung ausgerichtet sind. Sie haben erneuerbare Energien, Bioenergie, Energiepflanzen oder bestimmte Produktlinien bzw. Nutzungsbereiche zum Gegenstand.

Im Rahmen des TAB-Projekts wurde eine *vergleichende Auswertung der Studien mit Potenzialabschätzungen und Ausbaustrategien* vorgenommen. Zielsetzung dieser Auswertung ist, Kernaussagen der Studien zusammenzutragen, die Abschätzung des zukünftigen Energiepflanzenanbaus zu vergleichen sowie wichtige Erkenntnisse zu den ökologischen und ökonomischen Wirkungen darzustellen. In die vergleichende Analyse werden sieben Studien einbezogen.

Die *Studien zu Deutschland* stehen in einem gemeinsamen Kontext und wurden alle vom BMU gefördert. Ausgangspunkt sind die Klimaschutzziele der Bundesregierung, in deren Rahmen die erneuerbaren Energien längerfristig zur Hauptquelle der Energieversorgung werden sollen, mit einem Anteil um 50 % bis etwa zur Jahrhundertmitte. Einbezogen wurden mögliche Zielkonflikte zwischen dem Beitrag zur Verringerung von Treibhausgasemissionen einerseits und möglichen negativen Wirkungen in den Bereichen Umwelt- und Naturschutz andererseits. Die *Studien auf europäischer Ebene* sind heterogener.

Allen Studien ist gemeinsam, dass sie letztlich *Szenarien zu Bioenergiepotenzialen* beinhalten. Dabei werden in der Regel die *technischen Potenziale* bestimmt. Damit beschreiben sie nicht, wie sich die wirtschaftlichen Potenziale der Bioenergie unter verschiedenen Rahmenbedingungen zukünftig entwickeln. Ausnahmen bildet die mittelfristigen Studien »FORRES 2020« und »EU Bioenergy«, die unter verschiedenen politischen Rahmenbedingungen mittels technisch-ökonomischer Modellierungen die Marktdurchdringung der erneuerbaren Energien bzw. Bioenergie analysieren. Die Szenarien sind von klimaschutzpolitischen (und ergänzenden umwelt- bzw. naturschutzpolitischen) Zielsetzungen ausgehend konstruiert. Sie stellen damit *normative Szenarien* dar und analysieren, inwieweit eine gewünschte Zukunft erreicht werden kann. In den Studien wird damit nur ein Ausschnitt der möglichen Energiezukünfte berücksichtigt. Dies ergibt sich aus den Zielsetzungen der Studien, die Erreichbarkeit von Klimaschutzzielen und von Ausbauzielen für erneuerbare Energien zu untersuchen.

AUSBAUSZENARIEN UND ENERGIEPFLANZENNUTZUNG

Die Reduktionsziele für Klimagasemissionen und eine nachhaltige Energieversorgung können nur bei einer deutlichen *Steigerung der Umwandlungs- und Nutzungseffizienz* aller Energieträger erreicht werden. Ein wesentliches Element der Ausbauszenarien für erneuerbare Energien ist deshalb eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz gegenüber einer Trendfortschreibung.

In Zukunft wird sich der *Anteil der verschiedenen Energiequellen an den erneuerbaren Energien* deutlich verschieben. Der derzeit dominierende Beitrag der Biomasse (2005 = 68 %, einschließlich biogener Abfälle im Müll) bleibt auf absehbare Zeit noch bestehen. Nach dem Jahr 2030 sind aber die Potenziale weitgehend ausgeschöpft, sodass ihr relativer Beitrag dann deutlich sinkt.

Die Potenziale der *Bioenergie aus anderen Quellen als Nichtenergiepflanzen* (also Holz und die verschiedenen biogenen Reststofffraktionen) bleiben langfristig mehr oder weniger konstant. Die Höhe der abgeschätzten Potenziale weist teilweise erhebliche Differenzen auf. Die größten Unterschiede bei den Studien sind bei den angenommenen Potenzialen für Holz und Stroh zu finden. Energetisch nutzbare biogene Reststoffe sind stark an die land-, forst-, abfallwirtschaftlichen und naturschutzrechtlichen Rahmenbedingungen gekoppelt, die sich je nach Szenario verändern können.

Die Potenziale der Bioenergieträger auf der Basis von *Energiepflanzen* sind dagegen vor allem von der verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche abhängig und die Bioenergieerzeugung mittels Energiepflanzen nimmt in den Ausbauszenarien über die Zeit deutlich zu. Gleichzeitig bestehen im Bereich der Energiepflanzen bei der mittel- und langfristigen Abschätzung die größten Unsicherheiten, u.a. weil für die zukünftig verfügbare landwirtschaftliche Nutzfläche vielfältige konkurrierende Nutzungsansprüche bestehen.

Die erzielbaren Energiepotenziale aus den abgeschätzten Flächenpotenzialen für Energiepflanzen weisen erhebliche Unterschiede in Abhängigkeit von den genutzten *Produktlinien* auf. Aufgrund der unterschiedlichen Effizienz der verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten kann bei einer vollständigen Verwendung des Biomasseaufkommens in stationären Anlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme ein etwa doppelt so hohes Energiepotenzial erschlossen werden wie bei einer ausschließlichen Erzeugung von Biokraftstoffen. Bei Energiepflanzen führt eine starke Förderung von Biokraftstoffen zur Begrenzung der Potenziale für den Strom- und Wärmebereich, und umgekehrt. Die vorliegenden Ausbauziele für Biokraftstoffe (Kap. III.1) verursachen einen erheblichen Flächenbedarf.

Bei der Abschätzung der energetischen Potenziale von Energiepflanzen muss zunächst das *verfügbare Flächenpotenzial* ermittelt werden. Die zukünftig verfügbaren Flächen für den Anbau von Energiepflanzen sind von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, die in die Kategorien Flächenverfügbarkeit, Flächenproduktivität und konkurrierender Flächenbedarf für die Nahrungsmittelversorgung einteilbar sind.

Zunächst gehen die derzeitigen *Brachflächen*, d.h. die nicht zur Produktion nachwachsender Rohstoffe genutzten obligatorisch stillgelegten Flächen und die freiwillig stillgelegten Flächen, als potenzielle Anbaufläche für den Energiepflanzenanbau in die Flächenpotenzialabschätzung ein.

Der angenommene *Abbau von Überschüssen* liefert in den analysierten Studien einen wichtigen Beitrag zu den Flächenpotenzialen. Agrarflächen, auf denen Überschüsse sogenannter Marktordnungsprodukte (Getreide, Zucker, Ölfrüchte, Eisweißpflanzen, Milch, Rindfleisch u.a.) erzeugt und überwiegend auf den Weltmarkt exportiert werden, werden als potenzielle Flächen für Bioenergieträger angesehen. Dahinter steht das *agrarpolitische Szenario einer weiteren Liberalisierung* der europäischen Agrarpolitik und der internationalen Agrarmärkte. Damit wird der bisherige Trend der Reformen der Gemeinsamen Agrarpolitik fortgeschrieben und im Rahmen der WTO eine erfolgreiche internationale Handelsliberalisierung erwartet.

Einen Einfluss auf die Flächenpotenziale haben die *Annahmen zum Umwelt- und Naturschutz*, die in den Studien szenarienabhängig sind. Differierende Annahmensetzungen in den Szenarien tragen hier wesentlich zu den unterschiedlichen Flächenpotenzialen für Energiepflanzen bei. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) kritisiert, dass bei den biomassebezogenen Szenarien die derzeit bestehenden natur- und umweltrechtlichen Regelungen nicht ausreichend berücksichtigt wurden.

Ein wesentlicher Faktor bei den Energiepflanzenpotenzialen ist schließlich die *Produktivitätssteigerung in der Landwirtschaft*. Die Produktivitätserhöhung führt dazu, dass für die Erzeugung der gleichen Nahrungsmittelmenge weniger Land benötigt wird. Die Produktivitätssteigerung in der Pflanzenproduktion bedeutet außerdem, dass beim Energiepflanzenanbau steigende Energieerträge pro Fläche erzielt werden können. Die Annahmen zur zukünftigen Ertragsentwicklung haben entscheidenden Einfluss auf die Potenzialabschätzungen. Es gibt Argumente sowohl für eine optimistische als auch für eine pessimistische Einschätzung der zukünftigen Entwicklung.

Bei den *Ergebnissen der Flächenpotenzialabschätzungen* bestehen zwischen den Studien deutliche Unterschiede. Für Deutschland reichen bei den *Ausbauszenarien mit einer Ausrichtung auf ein maximales Biomasseangebot* die Flächenpotenziale für Energiepflanzen im Jahr 2010 von rd. 1,72 bis 3,54 Mio. ha und im Jahr 2020 sogar von rd. 2,03 bis 5,55 Mio. ha. Die Flächenpotenziale sind deutlich niedriger, nehmen aber ebenfalls im Laufe der Zeit zu, wenn die umwelt- und naturschutzpolitischen Restriktionen berücksichtigt werden. Die *Ausbauszenarien mit Berücksichtigung von Umwelt- und Naturschutzanforderungen* weisen noch größere Unterschiede auf, mit Flächenpotenzialen für Energiepflanzen im Jahr 2010 von rd. 0,15 bis 2,87 Mio. ha und im Jahr 2020 von rd. 1,1 bis 4,71 Mio. ha. Die Unterschiede beruhen darauf, in welchem Umfang Begrenzungen durch Umwelt- und Naturschutzanforderungen in die Szenarien einbezogen werden.



Neben den Studien zu den Ausbaustrategien gibt es eine ganze Reihe von *Studien zu einzelnen Bioenergieträgern*, insbesondere zu den Biokraftstoffen und zu Biogas. Diese enthalten teilweise ebenfalls Abschätzungen der Flächenpotenziale. Die ermittelten Flächenpotenziale haben die gleiche Größenordnung wie die der Ausbaustrategien. Problematisch ist, dass die ermittelten Potenziale ausschließlich einem Nutzungsbereich – d.h. den Biokraftstoffen bzw. dem Biogas – zugeordnet werden. Bei dieser Vorgehensweise werden die bestehenden Nutzungskonkurrenzen nicht beachtet.

Bei der *Abschätzung der Energiepotenziale*, die sich aus den entsprechenden Flächenpotenzialen für Energiepflanzen ergeben, sind wiederum eine ganze Reihe von Annahmen notwendig. So weisen die Energieerträge von Energiepflanzen pro Flächeneinheit in Abhängigkeit von Produktlinie und Nutzungsbereich erhebliche Unterschiede auf. Die Verwendung von Festbrennstoffen wie Holz von Kurzumtriebsplantagen zur Wärme- bzw. Kraft-Wärme-Nutzung sowie die Kraft-Wärme-Nutzung von Biogas und Pflanzenöl ergeben beispielsweise wesentlich höhere Energieerträge/ha als die Nutzung von Energiepflanzen zur Herstellung von Kraftstoffen sowie zur alleinigen Stromnutzung.

Die analysierten Szenariestudien arbeiten mit unterschiedlichen Annahmen und legen nicht alle Annahmen offen, was die Nachvollziehbarkeit und den Vergleich erheblich erschwert. Außerdem ist bei einem Teil der Studien der Anteil der Energiepflanzen am Bioenergiepotenzial nicht ausgewiesen. Im Ergebnis weisen die vorliegenden Abschätzungen der Energiepotenziale für Deutschland eine noch größere Schwankungsbreite auf als bei den Flächenpotenzialen. Bei den Abschätzungen handelt es sich teilweise um Nachfragepotenziale und teilweise um Angebotspotenziale. Die Nachfragepotenziale ergeben sich aus den Ausbaustrategien und den entsprechenden energiewirtschaftlichen Annahmen. Die Angebotspotenziale stellen dagegen Abschätzungen ausschließlich auf der Basis der verfügbaren landwirtschaftlichen Flächenpotenziale dar.

Umweltwirkungen der Bioenergie werden meist auf der Basis von Ökobilanzen ermittelt, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Energie- und Treibhausgasbilanzen gelegt wird. Die Ökobilanzergebnisse von Prozessketten zur energetischen Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe schneiden gegenüber den fossilen Energieträgern am besten ab, da hier die teilweise hohen Umweltbelastungen aus der landwirtschaftlichen Biomassebereitstellung wegfallen. Ebenfalls gute Ergebnisse zeigt die energetische Nutzung von Holz oder von mehrjährigen lignocellulosehaltigen Energiepflanzen, denn die Bereitstellung dieser Energieträger ist mit vergleichsweise geringen negativen Umweltauswirkungen verknüpft. Mit einer verstärkten Nutzung von Biomasse für die Bereitstellung von Strom und Wärme kann ein größerer Beitrag zur Verlangsamung des Klimawandels geleistet werden als durch die Herstellung von Biokraftstoffen. Allerdings schrumpft der Wärmemarkt und kann auch von anderen regenerativen Energiequellen mit zum Teil

günstigeren Ökobilanzen bedient werden. Der wachsende Kraftstoffmarkt hat dagegen bislang keine regenerativen Alternativen außer der Biomasse. Die Ökobilanzen der verwendeten bzw. in der Entwicklung befindlichen Biokraftstoffe unterscheiden sich teilweise deutlich. Biokraftstoffe aus tropischen Ländern und in Entwicklung befindliche wie BtL oder Ethanol aus Lignocellulose haben tendenziell ein größeres Potenzial zur Substitution fossiler Energieträger und zur Verringerung der Klimagasemissionen als bisherige heimische Biokraftstoffe (z.B. Biodiesel aus Raps, Bioethanol aus Mais).

Obwohl Bioenergieträger erneuerbar sind, kann bei deren Anbau und Verarbeitung ein breites Spektrum von Umweltbelastungen entstehen. Dieses reicht von Überdüngung und Versauerung des landwirtschaftlichen Bodens bis hin zur Mehrbelastung an gesundheitsschädigenden Feinstaubemissionen und zum Verlust an Artenvielfalt. Bei den meisten Ökobilanzen zeigt sich ein Zielkonflikt zwischen der Substitution fossiler Energie und der Minimierung der Treibhausgasemissionen einerseits und einer positiven ökologischen Gesamtbilanz andererseits. Angesichts dieser Vor- und Nachteile in den unterschiedlichen Bewertungskategorien können auf der Basis von Ökobilanzen allein keine abschließenden Aussagen und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Die Schwierigkeit, zu wissenschaftlich abgesicherten und verallgemeinerbaren Gesamtbewertungen zu kommen, erhöht sich noch, wenn Umweltwirkungen einbezogen werden, die mit den Umweltparametern der Ökobilanzen nicht erfasst werden. Mit der Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus können relevante negative Auswirkungen auf Artenvielfalt, Verfügbarkeit von Phosphat, Wasserhaushalt und Kulturlandschaft auftreten, die mit Ökobilanzen nicht abgebildet werden können. Negative Umweltwirkungen treten insbesondere auf, wenn der Energiepflanzenanbau zur Umwandlung von Grünland oder Intensivierung bislang extensiv genutzter bzw. stillgelegter Flächen oder zu Regenwaldrodungen und Torfbödenutzungen in tropischen Ländern führt.

Die *Kosten der Bioenergieerzeugung* setzen sich zusammen aus den Kosten für die Biomassebereitstellung bzw. die landwirtschaftliche Energiepflanzenproduktion, den Transport der Biomasse, die Konditionierung und die Konversion zu Sekundär- bzw. Endenergieträgern. Die *Bioenergieerzeugung aus Reststoffen* ist in der Regel kostengünstiger als die aus Energiepflanzen, zumindest solange kostengünstige Reststoffe für die Bioenergienutzung verfügbar sind. Bei einem schnellen Ausbau der Bioenergienutzung und der Einführung neuer Konversionstechnologien auf der Basis von Reststoffen (z.B. Waldrestholz) werden die Potenziale bei gleichzeitigen umwelt- und naturschutzrechtlichen Beschränkungen in absehbarer Zeit nicht ausreichen und zur Verteuerung entsprechender Biomassen führen.

Bei *Energiepflanzen* machen die Kosten der landwirtschaftlichen Produktion einen großen Teil der Gesamtkosten aus und haben somit einen erheblichen Ein-



fluss auf die Wirtschaftlichkeit der Energiepflanzennutzung. Deshalb lassen sich über preiswerte Biomasseträger am ehesten die Kosten senken. Die Kosten für die Energiepflanzenproduktion sind allerdings von der Entwicklung der Agrarpreise abhängig.

Bei Bioenergieträgern mit hoher Energiedichte, wie Biokraftstoffe, spielen die Transportkosten nur eine geringe Rolle. Biokraftstoffe weisen beim *internationalen Vergleich der Produktionskosten* erhebliche Unterschiede auf, wobei beispielsweise die Produktionskosten für Bioethanol aus Zuckerrohr in Brasilien am niedrigsten liegen und diese Bioethanolerzeugung schon heute ohne staatliche Beihilfe konkurrenzfähig ist. Die niedrigeren Produktionskosten in tropischen Ländern sind durch hohe Biomasserträge und niedrige Boden- und Arbeitskosten bedingt.

Die *Preise fossiler Energieträger* bestimmen wesentlich die Wirtschaftlichkeit der Energiepflanzennutzung. Steigende Preise für fossile Energieträger bedeuten nicht nur höhere Preise für Bioenergieträger, sondern bewirken auch steigende Kosten im Energiepflanzenanbau. Außerdem führen steigende Weltmarktpreise für agrarische Rohstoffe tendenziell auch zu steigenden Preisen für Biomasse aus dem Energiepflanzenanbau, die entscheidend für die gesamten Kosten der Energiepflanzennutzung sind. Damit wird eine zunehmende Wirtschaftlichkeit der Bioenergienutzung (durch steigende Preise für Erdöl etc.) voraussichtlich nicht verhindert, aber vermutlich verlangsamt. Einigkeit besteht insoweit, dass die Märkte für fossile Energien, für Energiepflanzen und Bioenergieträger sowie für Agrarprodukte und Nahrungsmittel mittlerweile miteinander verknüpft sind und sich gegenseitig beeinflussen.

Hinsichtlich *neuer Konversionstechniken* werden wirtschaftliche Vorteile der Vergasungstechnologie im Bereich der Stromerzeugung gesehen, während Verbrennungstechnologien bei der Bereitstellung von Wärme überlegen sind, insbesondere bei kleinen Heizanlagen und den wärmegeführten Heizkraftwerken. Außerdem sind neue Produktlinien der Wärme- und Stromerzeugung näher an der Wirtschaftlichkeit als die BtL-Herstellung.

Die Nutzung von Energiepflanzen ist derzeit in der Regel nicht wirtschaftlich, wie zuvor dargestellt. Deshalb werden entsprechende Förderpolitiken (s.o.) eingesetzt, um die Energiepflanzennutzung zu ermöglichen und auszubauen. Die Kosten der Förderung werden wesentlich durch die Entwicklung der fossilen Energiepreise und der Produktionskosten bei der Energiepflanzennutzung bestimmt. Deren zukünftige Entwicklungen sind ungewiss, sodass *Abschätzungen des Subventionsbedarfs* mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind.

Weiterhin liegt eine erste Abschätzung der möglichen *Beschäftigungswirkungen* nachwachsender Rohstoffe und der Energiepflanzennutzung vor. Diese zeigt, dass die Beschäftigungswirkungen im Bereich der Konversion sowie die indirek-



IV. FORSCHUNGSSTAND/AUSWERTUNG VON SZENARIENSTUDIEN

ten und induzierten Beschäftigungswirkungen gegenüber denen in der Landwirtschaft überwiegen. Außerdem nimmt der Arbeitskräftebedarf der Landwirtschaft insgesamt durch den technischen Fortschritt und die damit verbundenen Produktivitätssteigerungen in der Agrarproduktion ab, was durch die Energiepflanzenutzung (sowie durch nachwachsende Rohstoffe insgesamt) nur verlangsamt, aber nicht umgekehrt werden kann. Bei einer Bilanzierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte treten nur geringe positive Nettobeschäftigungseffekte auf. Die Höhe der Nettobeschäftigungseffekte hängt entscheidend von der Preisdifferenz zu fossilen Energieträgern ab. Positive Effekte entstehen außerdem durch die Herausbildung von Vorreitermarktstellungen, weil dadurch erhebliche Exporterfolge für Konversionstechniken möglich werden.



POLITISCHE THEMENFELDER

V.

In diesem Kapitel werden wesentliche gesellschaftliche und politische Konfliktfelder und Gestaltungsbereiche beschrieben, die mit dem Ausbau der Energiepflanzennutzung verbunden sind. Die Darstellung ist in die Bereiche Forschungs- und Innovationspolitik, Agrar- und Regionalpolitik, Klimaschutz- und Umweltpolitik sowie Handels- und Entwicklungspolitik gegliedert und baut auf den vorhergehenden Analysen auf.

FORSCHUNGSPOLITIK UND INNOVATIONSPOLITIK

1.

Damit der Energiepflanzenanbau einen wesentlichen Beitrag zum Ausbau der erneuerbaren Energien leisten kann, ist weitere Forschung und Entwicklung für verschiedene Produktlinien und über die gesamten Prozessketten hinweg notwendig. Für die Etablierung einer nachhaltigen Bioenergienutzung sind übergeordnete Zielsetzungen (EPSO 2007):

- › die Verbesserung der Biomassebereitstellung, im Hinblick auf Flächenproduktivität und Qualität,
- › die Verbesserung der Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Konversionstechnologien zur Herstellung von Sekundärenergieträgern und Endenergie,
- › die Verringerung negativer Umweltwirkungen auf den verschiedenen Stufen der Produktlinien.

Eine Schlüsselrolle haben Fortschritte im Energiepflanzenanbau beim Ausbau der Energiepflanzennutzung und der Nutzung der Flächenpotenziale. Die Flächenkonkurrenz und die Produktionskosten machen eine deutliche *Steigerung der Flächenerträge* notwendig. Höhere Erträge an organischer Masse je ha können durch Züchtung und verbesserte Anbausysteme erreicht werden. Ziele in der Züchtung sind u.a. höhere Wachstumsraten, verbesserte Nutzung der Wachstumsperiode und optimierter Pflanzenaufbau.

Weiterhin können durch *neue Anbausysteme*, wie Zwei-Kulturen-Systeme (d.h. Anbau von zwei Kulturen in einer Vegetationsperiode), erheblich verbesserte Flächenerträge erzielt werden. Umfangreiche Praxisversuche u.a. zu standortangepassten Anbauverfahren und zur Fruchtfolgegestaltungen sind noch notwendig (TAB 2007, S. 138 f.).

Eine *höhere Effizienz im Energiepflanzenanbau* – z.B. durch eine effektivere Düngerausnutzung – ist ebenfalls eine wichtige Zielsetzung, um den notwendigen Energieaufwand bei der Energiepflanzennutzung und mit dem Energiepflanzenanbau verbundene Umweltbelastungen zu verringern. Eine Verringerung des



Wasserbedarfs ist eine weitere Zielsetzung, weil das Wasserangebot für einige Standorte und infolge des Klimawandels zu einer kritischen Größe wird.

Weiterhin ist eine zunehmende *Diversifizierung bei den genutzten Energiepflanzen* wünschenswert. Eine Reihe von alternativen Kulturpflanzen steht potenziell zur Verfügung, bedarf aber noch einer intensiven züchterischen Bearbeitung und Anbauerprobung (TAB 2005a). Eine Ausweitung des Kulturartenspektrums könnte einseitigen Fruchtfolgen und der Dominanz einer oder sehr weniger Energiepflanzenarten entgegen wirken. Überhaupt muss sich noch ein Angebot an Energiepflanzenarten entwickeln.

Die *Ganzpflanzennutzung* von Energiepflanzen ist vielversprechender und wird sich vermutlich mittelfristig durchsetzen. Einerseits ist im Energiepflanzenanbau die Ertragshöhe entscheidend und in der Regel sind die Qualitätsanforderungen niedriger als bei der Futter- und Nahrungsmittelerzeugung. Andererseits werden zunehmend neue *Qualitätsanforderungen* (z.B. reduzierter Alkaligehalt für eine verbesserte Verbrennung) formuliert, um die erzeugte Biomasse möglichst genau spezifischen Konversionstechnologien anzupassen.

Bei den *Konversionstechnologien* gibt es eine Reihe von etablierten Technologien (z.B. Pressen, Extrahieren und Umestern von Pflanzenöl, verschiedene Techniken zur Verbrennung von Biofestbrennstoffen sowie die Biogaserzeugung), bei denen kein Forschungs- und Entwicklungsbedarf mehr besteht. Es bleiben aber einige Produktlinien, die sich noch im Stadium der Forschung und Entwicklung befinden (Kap. II.2.3). Dazu gehören die Biokraftstoffe der nächsten Generation (Herstellung von Bioethanol aus Lignocellulose, Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen – BtL). Um Anwendungsreife zu erlangen, sind noch zahlreiche Probleme zu lösen. Dazu gehören u.a. die flexible Nutzung verschiedener Rohstoffe, die Erreichung der notwendigen Reinheit des Synthesegases, die Reduktion des Eigenenergiebedarfs und die Erhöhung der Ausbeute bzw. Effizienz. Forschungsbedarf besteht ebenso bei der Umwandlung von Biogas zu SNG (Synthetic Natural Gas) und bei einigen Verfahren zur Strom- und Wärmeerzeugung (z.B. Vergasung von Biomasse zur Verstromung des Brenngases).

Insgesamt ist eine *Integration der Forschungsanstrengungen* über Produktlinien und Disziplinen hinweg erforderlich. Abstimmungen werden gefordert u.a. zwischen Pflanzenzüchtung, Pflanzenbauforschung, Agrarökonomie, ökologischer Forschung, Forschung zu Konversionstechnologien und Nachhaltigkeitsforschung (ESPO 2007).

Die verschiedenen Produktlinien der Energiepflanzenutzung werden sich nicht alle gleichzeitig realisieren lassen angesichts einer begrenzten Flächenverfügbarkeit. Mit den bisher und in den nächsten Jahren etablierten Energiepflanzenutzungen wird der Spielraum für neue Technologien, die erst mittelfristig die Praxisreife erreichen, begrenzt. Denn mit dem Ausbau derzeit verfügbarer Konver-

sionstechniken wird längerfristig Flächenpotenzial gebunden, bei der garantierten Mindestvergütung nach EEG für einen Zeitraum von 20 Jahren. Die derzeitige – und zukünftige – *Ausgestaltung der Förderung für Bioenergie* hat damit erheblichen Einfluss auf die Chancen der verschiedenen Energiepflanzenproduktlinien und auch auf ihre Technikentwicklung.

In der Anlaufphase einer verstärkten Bioenergienutzung war es sinnvoll, in der Forschung und Entwicklung ein sehr breites Spektrum von Produktlinien zur Bioenergie- und Energiepflanzenutzung zu bearbeiten. In den nächsten Jahren wird sich aber die Frage stellen, ob eine *Prioritätensetzung* notwendig wird, d.h. eine Konzentration auf die Konversionstechnologien und Produktlinien erfolgen sollte, die die besten Effizienzgewinne und die höchsten internationalen Chancen versprechen.

AGRARPOLITIK UND REGIONALPOLITIK

2.

Wenn in den kommenden Jahren der Erdölpreis dauerhaft auf einem Niveau von über 50 US-Dollar je Barrel bleiben sollte, wird dies gravierende Rückwirkungen auf das gesamte Weltagrarpreisgefüge und die Weltlandwirtschaft haben. In Brasilien ist bereits bei einem Erdölpreis von 35 US-Dollar/Barrel die Produktion von Bioethanol aus Zuckerrohr ohne staatliche Subventionen rentabel, und oberhalb von 40 bis 45 US-Dollar/Barrel wird die Rentabilitätsschwelle für Biokraftstoffe an zahlreichen anderen Standorten (z.B. Biodiesel aus Palmöl oder Soja, Bioethanol aus Zuckerrohr oder Mais) erreicht. An den Standorten kostengünstiger, rentabler Energiepflanzenproduktion werden dann zunehmend Agrarflächen für die Bioenergieproduktion genutzt und somit der Nahrungsmittelerzeugung entzogen. Bei hohen Erdölpreisen wird das Weltagrarpreisniveau zukünftig maßgeblich durch den Erdölpreis beeinflusst werden, und je höher der Erdölpreis, desto höher werden die Agrarpreise sein (Isermeyer/Zimmer 2006, S.2 f.). Vom absehbaren Anstieg der Produktion von Biokraftstoffen wird eine deutliche Preissteigerung auf den internationalen Märkten für Zucker, Getreide und Ölsaaten erwartet, die über die direkten Auswirkungen gestiegener Erdölpreise hinausgeht (Lampe 2007).

Nach Jahrzehnten niedriger Weltagrarpreise und subventionierter Agrarexporte können steigende Agrarpreise neue Chancen für Landwirte, gerade auch in Entwicklungs- und Schwellenländern bedeuten. Steigende Nahrungsmittelpreise werden andererseits die wirtschaftliche und soziale Notlage von Menschen mit geringem Einkommen und einem hohen Ausgabenanteil ihres Einkommens für Ernährung verschärfen (Schütz/Bringezu 2006, S.19). Eine mögliche zukünftige Koppelung von Erdöl- und Weltagrarpreisen stellt damit ein Risiko für die weltweite Erreichung bzw. Erhaltung von Ernährungssicherheit dar. Flächen-



konkurrenz und Sicherung der Ernährungsgrundlagen werden somit zunehmend bedeutende politische Themen.

Bei steigendem Energie- und Agrarpreisniveau wird in Europa das Brachfallen von Agrarflächen keine Rolle mehr spielen. Im Gegensatz dazu bestand in der Anfangsphase der Förderung nachwachsender Rohstoffe ein enger Zusammenhang zwischen der obligatorischen Flächenstilllegung und der Bestrebung, für diese Flächen eine sinnvolle Nutzung mittels nachwachsender Rohstoffe zu erreichen. In dieser Tradition stehen in der Regel die Potenzialabschätzungen und Ausbauszenarien (Kap. IV.2), deren Abschätzungen von den nicht mehr zur Nahrungsmittelproduktion benötigten Flächen ausgehen.

Diese an der nationalen Selbstversorgung mit Nahrungsmitteln orientierten Abschätzungen berücksichtigen die mittlerweile grundlegend veränderten agrarpolitischen Rahmenbedingungen, die durch eine Reihe von GAP-Reformen geschaffen wurden, nicht ausreichend. Die Preisstützung wurde in der EU für die meisten Agrarprodukte abgebaut, und die im Gegenzug gewährten Direktzahlungen sind inzwischen auch von der Produktion entkoppelt. Die Landwirte können somit weitgehend unbeeinflusst von agrarpolitischen Vorgaben entscheiden, was sie auf ihren Flächen anbauen. Es gibt zwar noch eine obligatorische Flächenstilllegung, doch es mehren sich die Anzeichen dafür, dass dieses übrig gebliebene Element der früheren Agrarpolitik abgeschafft werden wird. Für das Jahr 2008 ist die obligatorische Flächenstilllegung erstmalig ausgesetzt worden. Eine weitere Veränderung des agrarpolitischen Rahmens wird dann eintreten, wenn es in der Folge eines erfolgreichen Abschlusses der laufenden WTO-Runde (Kap. V.4) zur Reduktion der Exporterstattungen und des Zollschatzes kommen sollte (Isermeyer/Zimmer 2006, S. 17).

Der Abschaffung produktbezogener Subventionen für die Nahrungsmittelproduktion steht die Einführung einer subventionierten Bioenergieerzeugung gegenüber. Die Förderung der Bioenergie ist teilweise nicht produktionsneutral (z.B. die EEG-Förderung), d.h. die Erzielung möglichst hoher Flächenerträge wird belohnt. Die teilweise produktionsabhängige Förderung von Bioenergie und die gerade eingeführte Entkopplung von Beihilfen mit der GAP-Reform 2003 stehen somit in ihrer gegensätzlichen Ausrichtung in Konflikt miteinander. Die Zielvorstellungen für eine nachhaltige Landwirtschaft werden deshalb die Diskussion um Energiepflanzen beeinflussen.

Die Förderung der Energiepflanzenutzung kann zu einer Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus weit über die bisherige Stilllegungsflächen hinaus führen. Dies würde auf eine Verdrängung der Nahrungsmittelproduktion aus Deutschland (bzw. der EU) hinauslaufen. Aus dem Wettbewerb von ungestützter Nahrungsmittelproduktion und subventionierter Bioenergieerzeugung kann eine erheblich verzerrte Produktionsstruktur entstehen. Hieran schließt sich die Frage an, ob



die deutsche Agrar- und Ernährungswirtschaft nicht besser für einen Qualitätswettbewerb bei Lebensmitteln geeignet ist als für einen reinen Kostenwettbewerb bei Bioenergieträgern (Isermeyer/Zimmer 2006, S. 18).

Eine andere Entwicklung ist möglich, wenn zunehmend die Verwendung von Bioenergieträgern gefördert bzw. vorgegeben wird. Ob die dadurch erzeugte Nachfrage nach Bioenergieträgern dann durch Energiepflanzenanbau in Deutschland oder durch Importe gedeckt wird, ist vor allem von den Produktionskosten, den Transportkosten und dem Außenschutz abhängig. Beispielsweise werden Ölsaaten zunehmend importiert aufgrund geringer Transportkosten und sehr geringer Zölle, während Silomais für Biogasanlagen aufgrund hoher Transportkosten im Inland produziert wird (Isermeyer/Zimmer 2006, S. 17). Es ist zu erwarten, dass zunehmend politische Konflikte um die Förderung der inländischer Energiepflanzenerzeugung und die Ausgestaltung des Außenschutzes entstehen.

Nur ein Teil der Bioenergieförderung kommt direkt den Landwirten durch den Energiepflanzenanbau zu gute, ein erheblicher Teil dient der Kostendeckung und Gewinnbildung in den Unternehmen der Konversionsbereiche. Landwirte werden also nur soweit »Energiewirte«, wie sie auch die Konversionstechnik betreiben und Endenergie bereitstellen (z.B. mit dem Betrieb einer Biogasanlage). In vielen Fällen sind Landwirte beim Anbau von Energiepflanzen nur Rohstofflieferanten (z.B. von Raps für die Biodieselherstellung). Die zukünftige Ausrichtung der Bioenergieförderung prägt also mit, wie sich die entsprechende Wertschöpfung verteilt.

Vom Ausbau der Bioenergie und Energiepflanzenutzung werden positive Arbeitsplatzeffekte erwartet. Erste Abschätzungen zeigen, dass im Bereich der Landwirtschaft nur begrenzt mit neuen Beschäftigungsmöglichkeiten zu rechnen ist und vor allem bestehende Arbeitsplätze (entgegen dem Trend des Arbeitsplatzabbaus) gesichert werden. Positive Arbeitsplatzeffekte sind vor allem dann zu erwarten, wenn Bioenergie nicht anstelle, sondern in Ergänzung zur Nahrungsmittelproduktion erzeugt wird sowie wenn technologieorientierte Arbeitsplätze entstehen, die von der internationalen Bioenergieentwicklung profitieren können. Berücksichtigt werden sollte, dass die zur Bioenergieförderung eingesetzten Steuermittel an anderer Stelle nicht zur Verfügung stehen. Außerdem hat eventuell eine direkte Förderpolitik zur Entwicklung ländlicher Räume bessere Arbeitsplatzwirkungen.

Schließlich stellt die zukünftige regionale Verteilung des Energiepflanzenanbaus eine agrar- und regionalpolitische Fragestellung dar. Zur regionalen Verteilung liegen erst sehr wenige Untersuchungen vor. Auf jeden Fall weisen die verschiedenen deutschen Regionen unterschiedliche Standortvorteile für Energiepflanzen auf, sodass eine ungleichmäßige regionale Verteilung des Energiepflanzenanbaus erwartet werden kann.

KLIMASCHUTZPOLITIK UND UMWELTPOLITIK

3.

Im Rahmen der Klimaschutzpolitik spielt der Ausbau erneuerbarer Energien eine zentrale Rolle. Rund zwei Drittel der erneuerbaren Energien in Deutschland und in der EU werden derzeit mittels Bioenergie bereitgestellt. Alle Ausbaustrategien sehen vor, dass die Nutzung der Bioenergie weiter ausgebaut und ihr dominierender Beitrag auf absehbare Zeit bestehen bleiben wird.

Die technischen Potenziale der Bioenergie aus Nichtenergiepflanzen (d.h. Holz und andere biogene Rest- und Abfallstoffe) bleiben langfristig mehr oder weniger konstant und sind bisher zu einem großen Teil noch nicht genutzt. Unter ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten wird das Reststoffpotenzial auch nicht vollständig nutzbar sein. Es wird von verschiedener Seite gefordert, dass zunächst die erschließbaren Potenziale der biogenen Rest- und Abfallstoffe genutzt werden sollten, bevor ein weiterer Ausbau der Energiepflanzennutzung erfolgt.

Die Wärmeerzeugung aus Biomasse zeigte bisher kaum Zunahmen, d.h. hier bewirkte eine Förderung – soweit sie überhaupt bestand – nur den Erhalt des Bestandes. Die Entwicklung und Förderung waren bisher nicht vollständig auf die Produktlinien mit den geringsten CO₂-Minderungskosten ausgerichtet. In Deutschland soll diese Lücke vor allem mit dem geplanten »Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetz« (EEWärmeG) geschlossen werden (Bundesregierung 2007, S. 27).

In Europa (und Deutschland) hat die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bereits seit Mitte der 1990er Jahre durch eine effektive Förderung deutlich zugenommen, während für die Biokraftstoffe erst ab dem Jahr 2000 effektive Fördermechanismen eingeführt wurden und die Bereitstellung anstieg. Diese Entwicklungen haben auch zu einer deutlichen Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus geführt. Die zukünftige Entwicklung der Energiepflanzennutzung ist unter anderem von der verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche abhängig. Einerseits wird in den Ausbauszenarien über die Zeit eine erhebliche Zunahme erwartet. Andererseits gibt es Kritik, dass die erwarteten Ausbaumöglichkeiten deutlich überschätzt werden. Danach wären ambitionierte Ziele für die biogene Bereitstellung von Strom, Wärme und Kraftstoffen nicht mit Biomasse nationaler Herkunft erreichbar (z.B. SRU 2007, S. 36; Kap. V.4).

Durch die Förderpolitik kann erheblich beeinflusst werden, welche Energiepflanzen angebaut und welche Produktlinien und Nutzungsbereiche ausgebaut werden. Mit einer stationären Nutzung zur Strom- und Wärmeerzeugung kann mit der gleichen Energiepflanzenfläche ein etwa doppelt so hohes Energiepotenzial erschlossen werden wie mit der Herstellung von Biokraftstoffen. Bei begrenzt zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Flächen für den Energiepflanzenan-



bau wird voraussichtlich auch in Zukunft kontrovers diskutiert werden, welche Nutzung Priorität haben soll.

Mit der Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus wird zunehmend die Frage aufgeworfen, ob dadurch eine Intensivierung der Landbewirtschaftung und neue Umweltprobleme hervorgerufen werden. Als Indiz wird beispielsweise gesehen, dass in Deutschland die landwirtschaftliche Biogaserzeugung zu über 80 % auf dem Anbau von Energiemais beruht. Während aus klimapolitischer Sicht möglichst hohe Biomasserträge je Fläche erstrebenswert sind, können zum Erhalt von Schutzgütern wie Boden, Wasser und Biodiversität Beschränkungen notwendig sein. Politische Gestaltungsaufgabe der nächsten Jahre wird es sein, eine umweltfreundliche Energiepflanzenproduktion sicherzustellen und die notwendigen Rahmenbedingungen zu schaffen bzw. weiter zu entwickeln. Ein Element kann dabei die vorgesehene »Nachhaltigkeitsverordnung« zum nachhaltigen Anbau und Nutzung von Biokraftstoffen sein (Bundesregierung 2007, S. 31).

Neben den Umweltwirkungen des Energiepflanzenanbaus stellen mögliche Konflikte mit dem Naturschutz ein weiteres Themenfeld dar, das schon in einer Reihe von Studien untersucht wurde. Diese kommen zu dem Ergebnis, dass ein Ausbau der Energiepflanzennutzung bei Beachtung der etablierten Naturschutzziele möglich ist. Trotzdem werden ohne Zweifel bei einem ambitionierten Ausbau verstärkt Konkurrenzen um Flächen und Konflikte um Auflagen auftreten. Insgesamt werden Klimaschutzziele einerseits und Umwelt- und Naturschutzziele andererseits bei Energiepflanzen auf absehbare Zeit in einem Spannungsverhältnis stehen.

Bei Biokraftstoffen bestehen noch Unsicherheiten hinsichtlich des erzielbaren Nettoenergieertrags und der Klimagasreduktion (Kap. IV.3). Zwischen verschiedenen Energiepflanzen und Produktlinien bestehen erhebliche Unterschiede bei der Energie- und Klimabilanz (z.B. Zah et al. 2007). Von den künftigen Biokraftstoffen (u.a. BtL) wird eine deutliche Verbesserung der Ökobilanz erwartet. Aber erste Abschätzungen zeigen, dass es auch bei BtL stationäre Nutzungsoptionen zur Erzeugung von Strom und Wärme gibt, die aus Umweltsicht eindeutig günstiger ausfallen (Reinhardt et al. 2006, S. 80). Andererseits begründet sich das Interesse an Biokraftstoffen daraus, dass andere alternative Kraftstoffe auf absehbare Zeit nicht zur Verfügung stehen (TAB 2006).

Schon in der Vergangenheit ist die landwirtschaftliche Nutzfläche in Entwicklungs- und Schwellenländern aufgrund steigender Nachfrage nach Lebens- und Futtermitteln ausgedehnt worden. Beispielsweise ist die Anbaufläche für Soja in Brasilien seit 1961 um das 57-Fache angestiegen (Altieri/Bravo 2007). Aktuell besteht das größte Risiko großflächiger Umwidmungen für Regenwälder in Malaysia, Indonesien und Brasilien sowie für Savannen im südlichen Brasilien, um neue Flächen für den Anbau von Ölpalmen, Zuckerrohr und Soja zu gewinnen.



Die zunehmende Förderung und Nachfrage insbesondere von Biokraftstoffen droht diese Entwicklung zu verschärfen. Die Gewinnung neuer Anbauflächen für Energiepflanzen erfolgt teilweise durch die unmittelbare Rodung von Regenwald und teilweise durch die Umwandlung von Weideland (für Rinder) sowie die Verdrängung von Kleinbauern, die dann wiederum neue Flächen auf Kosten von Regenwald erschließen (Worldwatch Institute 2007, S. 197 ff.). Eine Ausweitung der Anbauflächen auf Kosten von natürlichen Ökosystemen (insbesondere von Regenwald) hat gravierende negative Auswirkungen auf den Klimaschutz und die biologische Vielfalt. Beispielsweise wird angeführt, dass die Abholzung und das Abbrennen der indonesischen Torfwälder für Ölpalmplantagen erheblich zu den weltweiten CO₂-Emissionen beiträgt (MISEREOR 2007, S. 8). Damit ist es eine große Herausforderung, den globalen Ausbau des Energiepflanzenanbaus so zu gestalten, dass er nicht im Ergebnis den Klimaschutzziele zuwider läuft (Kap. V.4).

In den globalen Potenzialabschätzungen spielt sogenanntes Ödland eine wichtige Rolle für den zukünftigen Energiepflanzenanbau. Von Nichtregierungsorganisationen wird aber darauf hingewiesen, dass diese Flächen für arme Bevölkerungsgruppen und Hirten überlebenswichtig sind, da sie traditionell als Weidegründe genutzt werden und Gemeinschaftseigentum darstellen, wobei es oft keine Eigentumstitel für diese Flächen gibt. Die Privatisierung dieser Flächen kommt somit einer Enteignung der traditionellen Nutzergruppen gleich (MISEREOR 2007, S. 7). Andererseits wird beispielsweise *Jatropha* in afrikanischen Ländern wie Mali genutzt, um die Wüstenbildung zurück zu drängen und neue Einkommensquellen für die Bauern zu erschließen (Worldwatch Institute 2007, S. 202). Aus ökologischer Sicht ist noch zu beachten, dass diese Flächen oftmals labil und daher besonders der Gefahr der Bodendegradation ausgesetzt sind.

HANDELSPOLITIK UND ENTWICKLUNGSPOLITIK

4.

Zunächst ist daran zu erinnern, dass im globalen Maßstab nach wie vor die Nutzung *traditioneller Biomasse* dominiert. Es bleibt eine wichtige entwicklungspolitische Aufgabe, die Effizienz der traditionellen Bioenergienutzung zu verbessern, eine nachhaltige Bereitstellung von Biofestbrennstoffen sicher zu stellen bzw. zu erreichen sowie bisher noch nichtgenutzte Bioenergiepotenziale zu erschließen (TAB 2001).

Mit politisch festgelegten Ausbauzielen und entsprechenden Förderpolitiken sowie einer zunehmenden Wirtschaftlichkeit gewinnen in den letzten Jahren aber auch *moderne Nutzungen der Bioenergie* weltweit an Bedeutung. Damit wird der Anbau von Energiepflanzen ausgeweitet. Insbesondere flächenreiche Länder mit günstigen Produktionskosten in tropischen und subtropischen Regionen (wie

Brasilien, Malaysia, Indonesien) wollen ihre Chancen nutzen und die Herstellung von Biokraftstoffen ausdehnen, sowohl zur heimischen Nutzung als auch zum Export. Es ist wahrscheinlich, dass das Weltmarktangebot an Bioenergieträgern – v.a. Biodiesel auf der Basis Palm- und Sojaöl und Bioethanol auf der Basis Zuckerrohr – ansteigen wird.

In Deutschland und Europa werden die Flächenpotenziale für den Anbau von Energiepflanzen zukünftig zunehmen. Inwieweit diese auch genutzt werden, hängt u.a. von der Entwicklung des internationalen Handels mit Agrarprodukten und Bioenergieträgern ab. Ein zunehmender Import zur Erreichung von Ausbauzielen würde zu einer internationalen Verlagerung von Flächenbedarf führen. Hier setzt die Kritik von Nichtregierungsorganisationen an, die befürchten, dass die Biokraftstoffnutzung der Industrieländer auf Kosten des Südens ausgebaut wird und zur Wiedereinführung kolonialer Plantagenwirtschaft führt (z.B. Grain 2007).

Die *zukünftige Handelspolitik* wird somit großen Einfluss nehmen auf die zukünftige Entwicklung der Energiepflanzennutzung. Die EU wird unter Druck bleiben, ihren Außenschutz im Agrarbereich und auch für Bioenergieträger auf der Basis von Energiepflanzen abzubauen. Die Ergebnisse der internationalen Verhandlungen um eine weitere Liberalisierung der Handelspolitik werden hier entsprechende Rahmenbedingungen setzen. Bei einem internationalen Abbau von Außenschutz und Exportsubventionen wird sich tendenziell die Agrarproduktion global stärker ausdifferenzieren. Jeder Standort spezialisiert sich auf die Herstellung der Produkte, für die er am besten geeignet ist, und der internationale Handel nimmt zu. Für Deutschland (und die EU) werden in der internationalen Konkurrenz besondere Chancen in der Nahrungsmittelerzeugung gesehen (z.B. Isermeyer/Zimmer 2006, S. 18).

Deshalb steht auch eine Entscheidung an, ob die EU insbesondere bei *Biokraftstoffen auf eine inländische Erzeugung mit entsprechendem Außenschutz* setzt, aus Gründen der Versorgungssicherheit und zur Unterstützung der heimischen Landwirtschaft und Industrie. Allerdings bleibt die Produktion von Biokraftstoffen und von Strom aus Energiepflanzen möglicherweise dauerhaft auf Subventionen bzw. Zollschutz angewiesen, weil an Übersee Standorten die agrarischen Rohstoffe kostengünstiger erzeugt und effizienter in Bioenergieträger umgewandelt werden können. Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ist zu beachten, dass Nahrungsmittel- und Bioenergiepreise zukünftig parallel ansteigen werden, sodass sich bei steigenden Energiepreisen nicht nur die Erlöse bei der Bioenergie, sondern auch die Rohstoffkosten der Bioenergiegewinnung erhöhen werden (Isermeyer/Zimmer 2006, S. 25 f.).

Märkte für Biokraftstoffe haben sich in den letzten Jahren weltweit etabliert. Auch wenn die bisherigen Handelsströme eher gering sind, wird dennoch einhel-



lig ein starker Ausbau dieser Märkte erwartet. Vor dem Hintergrund wachsender Märkte – und der damit zunehmenden Potenzialerschließung – ergeben sich notwendigerweise *Konkurrenzen*, sowohl um Anbauflächen als auch um Biomasse bzw. schließlich um die bereitgestellten Bioenergieträger. Diese Konkurrenzen kommen in erster Linie durch Preisveränderungen zum Tragen (IE 2007, S.25). Eine erfolgreiche, starke globale Ausweitung des Anbaus von Energiepflanzen wird die globale Nahrungsproduktion unter Druck setzen. Für die nächsten Jahre werden Agrarpreise erwartet, die deutlich über dem Niveau der Vergangenheit liegen (OECD/FAO 2007). Einerseits bedeutet dies Chancen für Landwirte, potenziell auch in Entwicklungsländern. Andererseits wird sich dies negativ auswirken insbesondere auf arme Entwicklungsländer mit Nahrungsmittelimporten und die ärmsten Bevölkerungsgruppen. Außerdem wird diese Entwicklung zu höheren Futtermittelpreisen führen, was höhere Kosten und geringere Einkommen in der Tierproduktion sowie höhere Preise für tierische Nahrungsmittel bedeutet. Die *Wechselwirkungen zwischen Nahrungsmittelproduktion und Energiepflanzenutzung* werden somit auf absehbare Zeit ein zentrales politisches Thema darstellen.

Aufgrund der Befürchtung, dass der Ausbau der Biokraftstoffherzeugung in tropischen und subtropischen Ländern zur Verdrängung von Kleinbauern und zur Störung der regionalen Lebensmittelversorgung sowie zum Verlust von Regenwäldern führt (Kap. V.3), wird zunehmend die Einführung von Sozial- und Umweltstandards diskutiert. Die Einführung einer international anerkannten, anwendbaren und nachprüfaren *Zertifizierung* wird von verschiedenen Umweltorganisationen, aber auch von einzelnen Regierungen, Industrieunternehmen und Verbänden gefordert. Derzeit finden national und international vielfältige Aktivitäten zur Zertifizierung statt. Es bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den verschiedenen derzeit diskutierten oder teilweise schon eingeführten freiwilligen und verpflichtenden Ansätzen. Unterschiedliche Einschätzungen gibt es zur Wirksamkeit und zur WTO-Verträglichkeit von Zertifizierungssystemen. Offene Fragen sind schließlich, ob eine Zertifizierung von Bioenergieträgern ohne eine gleichzeitige Zertifizierung von Lebens- und Futtermitteln sinnvoll ist und ob nur importierte Bioenergieträger oder auch Bioenergieträger aus heimischer Produktion zertifiziert werden sollten. Eine vorläufige Einschätzung ergibt, dass freiwillige Zertifizierungssysteme die Einführung und Umsetzung von staatlichen Umwelt- und Naturschutzregulierungen in Entwicklungs- und Schwellenländern nicht ersetzen können und die Chancen, eine verbindliche Zertifizierung im Rahmen der WTO zu etablieren, als gering einzuschätzen sind.

UNTERSUCHUNGSSCHWERPUNKTE DER ZWEITEN PROJEKTPHASE

VI.

In der ersten Projektphase ist eine Sichtung und vergleichende Auswertung der zahlreichen vorliegenden Studien zu Energiepflanzen und Bioenergie vorgenommen worden, die in diesem Bericht zusammengefasst wird. Basierend auf dieser Auswertung und der vom Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung beschlossenen Projektkonzeption wurden Vertiefungsthemen für die zweite Projektphase identifiziert. Die Vertiefungsthemen zeichnen sich dadurch aus, dass sie hohe politische Relevanz haben und bisher wissenschaftlich noch nicht umfassend untersucht sind. In der zweiten Projektphase werden dementsprechend folgende Untersuchungsschwerpunkte bearbeitet:

- > Dimensionen einer umweltverträglichen Energiepflanzenproduktion,
- > Ausbau der Energiepflanzennutzung und Flächenkonkurrenz, national und international,
- > Zertifizierung biogener Energieträger.

Begründung und Themenbereiche dieser Untersuchungsschwerpunkte werden im Folgenden erläutert.

DIMENSIONEN EINER UMWELTVERTRÄGLICHEN ENERGIEPFLANZENPRODUKTION

1.

Ein Ausbau der Bioenergieproduktion wird vorwiegend aus Klimaschutz- und energiepolitischen Zielsetzungen angestrebt und sollte selbst so umweltfreundlich wie möglich gestaltet werden. Angesichts der Begrenztheit der verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche (siehe den zweiten Untersuchungsschwerpunkt) sowie der Konkurrenz durch die Bioenergieerzeugung auf überlegenen Standorten weltweit (siehe den dritten Untersuchungsschwerpunkt) ist es beim Energiepflanzenanbau erforderlich, dass – in Deutschland und den meisten europäischen Ländern – mögliche hohe Biomasserträge je Fläche angestrebt werden. Dies steht potenziell im Konflikt mit umweltpolitischen Zielsetzungen, die landwirtschaftlichen Umweltbelastungen im Rahmen einer nachhaltigen Landbewirtschaftung zu verringern.

Die Frage spezifischer Anforderungen an eine umweltverträgliche Energiepflanzenproduktion ist bisher relativ wenig und wenn, dann vor allem in wissenschaftlichen Einzeluntersuchungen behandelt worden. In diesem Untersuchungsschwerpunkt werden die wesentlichen Konfliktbereiche identifiziert, die verfü-



baren Lösungsansätze dargestellt und die politischen Gestaltungsmöglichkeiten analysiert.

Wichtige Aspekte sind:

- › Identifizierung kritischer Punkte (»critical points«) hinsichtlich der Umweltwirkungen beim landwirtschaftlichen Anbau von Energiepflanzen (für verschiedene Kulturarten und Produktlinien);
- › Ansatzpunkte einer umweltverträglichen Gestaltung dieser kritischen Produktionselemente (Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz, Erntetechnik etc.);
- › Entwicklung und Einführung umweltverträglicher Produktionssysteme für Energiepflanzen: (neue) Pflanzenarten, Fruchtfolgen, Bewirtschaftungsweisen etc.;
- › Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiepflanzenanbau;
- › Energiepflanzen und ökologischer Landbau;
- › Gestaltungsoptionen der Rahmenbedingungen für eine umweltverträgliche Energiepflanzenproduktion durch Agrar-, Umwelt-, Forschungs- und Technologiepolitik.

AUSBAU DER ENERGIEPFLANZENNUTZUNG UND FLÄCHENKONKURRENZ NATIONAL UND INTERNATIONAL 2.

Bei einem verstärkten Anbau von Energiepflanzen gewinnt zunehmend das Thema an Bedeutung, inwieweit dieser in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion tritt und zur Verknappung bzw. Verteuerung von Nahrungsmitteln führt (aktuell das Beispiel Mais in Mexiko und den USA). Die vorliegenden Studien arbeiten durchweg mit Potenzialabschätzungen und Ausbaustrategien für die Bioenergienutzung (sogenannte normative Szenarien), um u. a. die Frage zu beantworten, welchen maximalen Beitrag zukünftig der Anbau von Energiepflanzen zur Energieversorgung leisten kann. Teilweise wird die Flächenkonkurrenz mit Natur- und Landschaftsschutz berücksichtigt. Eine mögliche Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion ist bisher nur ansatzweise diskutiert worden.

Im Untersuchungsschwerpunkt werden denkbare zukünftige Entwicklungen der Energiepflanzennutzung beschrieben, in Abhängigkeit von günstigeren und ungünstigeren sozioökonomischen und politischen Rahmenbedingungen (mittels sogenannter explorativer Szenarien). Dabei werden vorliegende Szenarienanalysen sowohl zur weltweiten Situation (ggf. anhand von wichtigen einzelnen Ländern bzw. Weltregionen) als auch speziell für Europa und Deutschland zusammengetragen und genutzt. Damit soll ein Beitrag zu einer realistischen Einschätzung der zukünftigen Energiepflanzenproduktion geleistet werden. Weiterhin werden für die möglichen Entwicklungen des Energiepflanzenanbaus die jeweilige Ausprägung der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion abgeschätzt.

Zielsetzung ist, die möglichen Dimensionen des Problems einer Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung und die Möglichkeiten einer Berücksichtigung in politischen Ausbaustrategien zur Bioenergie herauszuarbeiten.

Wichtige Elemente dieses Untersuchungsschwerpunktes sind:

- › Alternative Entwicklungspfade der Energiepflanzennutzung auf globaler Ebene, auf der Basis vorliegender Szenarien zur globalen Entwicklung (beispielsweise der Szenarien des »Millennium Ecosystem Assessment« der UN);
- › Vergleich der szenarienabhängigen, zukünftigen Energiepflanzennutzung mit den politischen Ausbauziele für den Energiepflanzenanbau;
- › Diskussion möglicher Konkurrenzen mit Zielen und Vorgaben des Natur- und Landschaftsschutzes, dem Erhalt natürlicher Ökosysteme (z.B. tropische Regenwälder), aber auch der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe;
- › Abschätzung der Konkurrenzsituation zwischen Energiepflanzen- und Nahrungsmittelproduktion für die Entwicklungspfade der Energiepflanzennutzung (Szenarien) auf globaler Ebene bzw. nach Weltregionen gegliedert;
- › Abschätzung der zukünftigen Entwicklung des Energiepflanzenanbaus für Deutschland, unter Nutzung der globalen Szenarien und ihrer Analyse (d.h. Ableitung von Szenarien für Deutschland);
- › auf dieser Basis: Darstellung der Flächennutzung mit Energie- und Nahrungsmittelproduktion sowie wichtiger ökonomischer und ökologischer Kenngrößen für die Szenarien auf regionaler Ebene (für Deutschland), ggf. mittels eines Landnutzungsmodells;
- › Ableitung von Schlussfolgerungen für politische Ausbaustrategien der energetischen Biomassenutzung.

ZERTIFIZIERUNG BIOGENER ENERGIETRÄGER

3.

Mit der Ausweitung des Energiepflanzenanbaus stellt sich zunehmend die Frage, in welchem Umfang zukünftig biogene Energieträger importiert werden sollen bzw. müssen. Einzelne Länder bzw. Regionen in Lateinamerika und Südostasien verfügen über erhebliche Potenziale zur Energiepflanzenproduktion, die allerdings nicht notwendig in einer umweltverträglichen bzw. nachhaltigen Weise erfolgen wird. Die Gefahr besteht, dass eine Ausweitung u.a. auf Kosten tropischer Regenwälder erfolgt. Aus diesem Grund wird von sehr vielen Seiten gefordert, eine Zertifizierung zur ökologischen und sozialverträglichen Produktion grenzüberschreitend gehandelter biogener Energieträger zu entwickeln und – möglichst weltweit verbindlich – einzuführen.

In vielen internationalen Gremien bzw. Foren wird über die mögliche Ausgestaltung und Implementierung entsprechender Zertifizierungssysteme beraten. Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) hat auf Initiative des BMELV die



Erarbeitung eines ersten Vorschlages für ein Zertifizierungssystem in Auftrag gegeben. Im Untersuchungsschwerpunkt des TAB-Projekts wird kein eigener Vorschlag entwickelt, sondern es werden vielmehr die grundsätzlichen Möglichkeiten und Begrenzungen der Zertifizierungen von Bioenergieträgern und ihre politische Gestaltbarkeit herausgearbeitet.

Wichtige Teilthemen sind:

- › Übersicht über inhaltliche und prozedurale Kernelemente einer Zertifizierung von Bioenergieträgern;
- › Auswertung von Erfahrungen mit bestehenden Zertifizierungssystemen wie beispielsweise der Tropenholzzertifizierung;
- › Stellung von Zertifizierungen in internationalen Handelsvereinbarungen und mögliche Rolle von Zertifizierungen im internationalen Handel;
- › Reichweite und Begrenzung von Zertifizierung als freiwilliges Instrument;
- › Verhältnis zur Frage der Zertifizierung von Lebens- und Futtermitteln;
- › Zertifizierung nur für importierte Bioenergieträger oder auch für Bioenergieträger aus deutscher/europäischer Produktion;
- › Zuständigkeiten und Ansatzpunkte für eine politische Gestaltung.

AUSBLICK

4.

Die drei Vertiefungsthemen beziehen sich aufeinander und behandeln zentrale Fragestellungen der zukünftigen Energiepflanzennutzung. Durch ihre Analyse soll aufgezeigt werden, welche Möglichkeiten einer nachhaltigeren Energiepflanzennutzung bestehen, welche spezifischen Vor- und Nachteile die verschiedenen Gestaltungsmöglichkeiten aufweisen und welche Handlungsoptionen in verschiedenen Politikfeldern zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse der zweiten Projektphase werden im Abschlussbericht des Projekts dokumentiert werden.



LITERATUR

IN AUFTRAG GEGEBENE GUTACHTEN

1.

- Degen, B. (2007): Ansätze und Herausforderungen der pflanzenzüchterischen Optimierung von Energiepflanzen – Schwerpunkt schnellwachsende Baumarten. Bargteheide
- IE (Institut für Energetik und Umwelt) (2007): Zielvorgaben und Förderpolitiken zu Bioenergie (insbesondere Energiepflanzen) im internationalen Vergleich (Bearbeiter: Thrän, D., Schreiber, K., Seidenberger, T., Thierbach, E., Weiske, A.). Leipzig
- Klein, H., Kesten, E. (2007): Züchtung von Energiepflanzen für die Nutzung spezifischer Inhaltsstoffe und zur Nutzung als Energiequelle aus Ganzpflanzen. Bonn/Einbeck

WEITERE LITERATUR

2.

- Adam, L. (2006): Sudangras – erste Anbauergebnisse aus Brandenburg (Biogas aus Sudangras). In: Bauernzeitung 46(20), S. 15–16
- Altieri, M.A., Bravo, E. (2007): The ecological and social tragedy of crop-based biofuel production in the America. www.foodfirst.org/node/1662 (20.09.2007)
- Arnold, K., Ramesohl, S., Grube, T., Menzer, R., Peters, R. (2006): Strategische Bewertung der Perspektiven synthetischer Kraftstoffe auf Basis fester Biomasse in NRW. Wuppertal Insitut für Klima, Umwelt, Energie, Forschungszentrum Jülich. Studie im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen. Wuppertal, Jülich
- BAFU (Bundesamt für Umwelt) (2006): Rohstoff Phosphor. www.bafu.admin.ch/dokumentation/fokus/01218/01221/index.html?lang=de (25.10.2007)
- Biofuelwatch (Hg.) (2006): South-east Asia's Peat Fires and Global Warming: Joint Release with Ecological Internet, Watch Indonesia and Save the Rainforest (Germany) for the Nairobi COP12 meeting. www.biofuelwatch.org.uk/files/pressrelease2006-11-10.pdf
- Biofuelwatch (Hg.) (2007): Agrofuels – Towards a reality check in nine key areas. www.tni.org/reports/ctw/agrofuels.pdf (25.10.2007)
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2006): Entwicklung der Erneuerbaren Energien 2005 – Aktueller Sachstand. Berlin
- BMU (2007a): Entwicklung der Erneuerbaren Energien im Jahr 2006 in Deutschland, Stand: 21. Februar 2007 www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_zahlen2006.pdf (28.02.2007)
- BMU (2007b): Eckpunktepapier Novellierung 1. BImSchV. Berlin
- BMU (2007c): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung. Internet-Update, Stand: November 2007. www.erneuerbare-energien.de/inhalt/2720/20012/ (12.03.2008)



LITERATUR

- BMU (2008): Erneuerbare Energien in Deutschland. www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/anhang_pressebericht_006_08.pdf
- Bockey, D. (2006): Biodiesel und pflanzliche Öle als Kraftstoffe – aus der Nische in den Kraftstoffmarkt. In: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 15(1), S. 10–15
- Boelcke, B. (2006) Schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen – Leitfaden zur Erzeugung von Energieholz. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei (Hg.), Schwerin
- Bohlmann, J. (2006): Biokraftstoffe der zweiten Generation: Herstellungsoptionen, Stand der Technik, Effizienz, Kosten. In: DaimlerChrysler (Hg.): *Mobil mit Biomasse*. Tagung vom 27.9.2006, Stuttgart
- BP (2006): Energie in Zahlen. BP Statistical Review of World Energy, Juni 2006. www.bp.com/statisticalreview (23.01.2007)
- Breuer, T., Holm-Müller, K. (2007): Abschätzung der Wertschöpfungspotenziale im ländlichen Raum durch Biokraftstoffe am Beispiel Nordrhein-Westfalens. In: *Agrarwirtschaft* 56 (5/6), S. 272–279
- Bundesregierung (2007): Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm. www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/klimapaket_aug2007.pdf (20.09.2007)
- Burley, J., Kanowski, P.J. (2005): Breeding strategies for temperate hardwoods. In: *Forestry (Oxford)* 78, S. 199–208
- Busch, G. (2006): Future European agricultural landscapes – What can we learn from existing quantitative land use scenario studies? In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114, S. 121–140
- Canovas, F.M., Gallardo, F., Jing, Z.P., Pascual, M.B. (2006): Transgenic approaches to engineer nitrogen metabolism. In: Fladung, M., Ewald, D. (eds.): *Tree Transgenesis: Recent Developments*. Berlin, S. 157–178
- Christersson, L. (1996): Future research on hybrid aspen and hybrid poplar cultivation in Sweden. In: *Biomass and Bioenergy* 11, S. 109–113
- Corbesier, L., Vincent, C., Jang, S., Fornara, F., Fan, Q., Searle, I., Giakountis, A., Farrona, S., Gissot, L., Turnbull, C., Coupland, G. (2007): FT protein movement contributes to long distance signaling in floral induction of *Arabidopsis*. In: *Science*, 316, S. 1030–1033
- DAFF (Department of Agriculture, Fisheries and Food) (2007): Application for Bioenergy Scheme hit first year target of 1.400 hectares. Kurzmeldung April 2007, Dublin; www.agriculture.gov.ie (23.5.2007)
- DCENR (Department of Communication, Energy and Natural Resources) (2007): Bioenergy Action Plan for Ireland. Dublin; www.dcmnr.gov.ie (24.5.2007)
- DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) (2007a): Rural Affairs, Section G: Energy Crops. A&Q, London; www.defra.gov.uk (23.5.2007)
- DEFRA (2007b): England Rural Development Programme, Energy Crops Scheme – Establishment grants. London; www.defra.gov.uk (23.5.2007)
- Dena (Deutsche Energie-Agentur) (2006): Biomass to Liquid – BtL. Realisierungsstudie. Zusammenfassung. Berlin



- DRL (Deutscher Rat für Landschaftspflege, 2005): Landschaft und Heimat – ein Resümee. In: Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landschaftspflege 77, S. 5–16
- Dunisch, O., Fladung, M., Nakaba, S., Watanabe, Y., Funada, R. (2006): Influence of overexpression of a gibberellin 20-oxidase gene on the kinetics of xylem cell development in hybrid poplar (*Populus tremula* L. and *P. tremuloides* Michx.). In: *Holzforschung* 60, S. 608–617
- EC (European Commission) (1997): Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action plan. COM(97) 599 of 26.11.1997, Brüssel
- EC (2000): Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit. Grünbuch der Kommission. KOM (2000) 769 endg., Brüssel
- EC (2005): Biomass action plan. Communication from the Commission of 7.12.2005. COM(2005) 628 final, Brüssel
- EC (2006a): Grünbuch – Eine europäische Strategie für nachhaltige, wettbewerbsfähige und sichere Energie. KOM(2006)105 endg., Brüssel
- EC (2006b): A Strategy for Biofuels. Communication from the Commission of 8.2.2006. COM(2006) 34 final, Brüssel
- EC (European Commission, Directorate-General for Energy and Transport) (2006c): Energy & Transport in Figures 2006. http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/pocketbook/2006_en.htm (24.01.2007), Brüssel
- EC (European Commission, Directorate-General for Research, Sustainable Energy Systems) (2006d): Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond. Final report of the Biofuels Research Advisory Council. EUR 22066, Brüssel
- EC (2007): Renewable energy road map. Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future. Communication from the Commission of 10.1.2007. COM(2006) 848 final, Brüssel
- EEA(European Environmental Agency) (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report 7/2006. Copenhagen
- EG (Europäische Gemeinschaften) (2001): Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001 zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt. ABl. L 283 vom 27.10.2001, S. 33–40
- EG (2003a): Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor. ABl. L 123 vom 17.5.2003, S. 42–46
- EG (2003b): Richtlinie 2003/96/EG des Rates vom 27. Oktober 2003 zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom. ABl. L 283 vom 31.10.2003, S. 51–70
- Emberger, P. (2006): Ökologische Aspekte Rapsölkraftstoff. www.biokraftstoff-portal.info/bw/index.php?tpl=bsic&red=lexikon&id=34&kr=&bk=&bs= (12.11.2007)
- EPEA Internationale Umweltforschung GmbH (2007): Nahrungsmittel als Kraftstoffe? Eine wissenschaftliche Bewertung von ökologischen und sozialen Auswirkungen von Biokraftstoffen der ersten Generation. www.epea.com/documents/Biokraftstoffe%20ZUSAMMENFASSUNG%20-%20Deutsch.pdf (22.10.2007)



LITERATUR

- EPSO (European Plant Science Organisation) (2007): Sustainable Future for Bioenergy and Renewable Products. Position Paper; www.epsoweb.org/commun/Bioenergy_Position_Paper_EN.pdf
- EUCAR/JRC/CONCAWE (2007): Well-To-Wheels Analysis Of Future Automotive Fuels And Powertrains In The European Context. www.co2star.eu/publications/Well_to_Tank_Report_EU.pdf (7.11.2007)
- EUROPA (EUROPA – Gateway of the European Union) (2007): Getreide: Kommission schlägt für die Aussaat von Herbst 2007 und Frühjahr 2008 einen Stilllegungssatz von Null vor. <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/07/1329&format=HTML&aged=0&language=DE&guiLanguage=en> (12.11.2007)
- Ewald, D., Hu, J.J., Yang, M.S. (2006a): Transgene Bäume in China? In: AFZ/Der Wald, Allgemeine Forst-Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge 61, S. 231–236
- Ewald, D., Hu, J.J., Yang, M.S. (2006b): Transgenic forest trees in China. In: Fladung, M., Ewald, D. (eds.): Tree Transgenesis: Recent Developments. Berlin, S. 25–45n
- FAL (Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft) (Hg) (2004): Jahresbericht 2003. Braunschweig
- Feeham, J., Petersen, J.-E. (2004): A framework for evaluating the environmental impact of biofuel use. In OECD (Hg.): Biomass and agriculture. Sustainability, markets and policies. Paris, A. 151–168
- Fischedick, J., Nitsch, J. (2002): Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland. Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt und Energie und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Technische Thermodynamik, Forschungsprojekt im Auftrag des UBA, UBA Climate Change 02/02, Berlin
- Fladung, M. (2006): Modification of cellulose in wood. In: Fladung, M., Ewald, D. (eds.): Tree Transgenesis: Recent Developments. Berlin, S. 123–136
- Fladung, M., Honicka, H. (2004): Erzeugung transgener steriler Zitterpappeln zur Verhinderung eines vertikalen Gentransfers in forstliche Ökosysteme. In: Gesunde Pflanzen 56, S. 195–200
- Fladung, M., Nowitzki, O., Ziegenhagen, B., Markussen, T. (2004): Identification of transgenes from wood of genetically transformed poplar trees. In: Wood Science and Technology 38, S. 207–215
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe) (Hg.) (2005): Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Gülzow
- FNR (Hg.) (2006a): Biokraftstoffe – eine vergleichende Analyse. Gülzow
- FNR (Hg.) (2006b): Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow
- FNR (Hg.) (2007a): Nachwachsende Rohstoffe: Anbau in Deutschland. www.fnr-server.de/cms35/Statistik.64.0.html (12.02.2007)
- FNR (2007b): www.fnr.de – Nachwachsende Rohstoffe – Biogas
- FNR (2007c): Daten und Fakten zu nachwachsenden Rohstoffen. Gülzow



- Frauen, M. (2006): Raps – Biokraftstoff. Perspektiven der Pflanzenproduktion aus Sicht der Pflanzenzüchtung. Vortrag anlässlich der Wissenschaftlichen Tagung des Dachverbandes Agrarforschung (DAF) e. V. »Energie aus Biomasse – weltwirtschaftliche, ressourcenökonomische und produktionstechnische Perspektiven«. 25/26.10.2006, Braunschweig
- Friedt, W. (2007): Visionen der Pflanzenzüchtung. Zur Situation der deutschen Pflanzenproduktion – Zuchtfortschritte und künftige Ziele. In: Aufbruch in ein neues Zeitalter – Nahrung und Energie. DLG Wintertagung 2007, Archiv der DLG 101, S. 81–93
- Fritsche, U.R., Dehoust, G., Jenseit, W., Hünecke, K., Rausch, L., Schüler, D., Wiegmann, K., Heinz, A., Hiebel, M., Ising, M., Kabasci, S., Unger, C., Thrän, D., Fröhlich, N., Scholwin, F., Reinhardt, G., Gärtner, S., Patyk, A., Baur, F., Bemmann, U., Groß, B., Heib, Marylin, Ziegler, C., Flake, M., Schmehl, M., Simon, S. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Öko-Institut, Fraunhofer Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT, Institut für Energetik und Umwelt (IE), Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Institut für ZukunftsEnergieSysteme, Institut für Geoökologie der TU Braunschweig, Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus der TU München. Verbundprojekt gefördert vom BMU. Darmstadt u. a. O.
- Fritsche, U.R., Hünecke, K., Schmidt, K. (2007): Möglichkeiten einer europäischen Biogaseinspeisungsstrategie. Teilbericht I. Öko-Institut, Darmstadt, Studie im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen, Berlin; www.gruene-bundestag.de/cms/publikationen/dokbin/166/166883.pdf (14.02.2007)
- Gallardo, F., Fu, J.M., Canton, F.R. et al. (1999): Expression of a conifer glutamine synthetase gene in transgenic poplar. In: *Planta* 210, S. 19–26
- Gärtner, S., Reinhardt, G. (2003): Erweiterung der Ökobilanz für RME. www.ufop.de/downloads/IFEU_Gutachten.pdf (12.11.2007)
- Gienapp, C. (2006): Der Landwirt als Energiewirt – Chancen und Perspektiven. In: Veranstaltung »Bioenergie Basis für eine wettbewerbsfähige und nachhaltige Landwirtschaft«. 8.–9.3.2006, Güstrow; www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/dechema2006 (12.02.2007)
- Gömann, H., Kreins, P., Breuer, T. (2007): Deutschland – Energie-Corn-Belt Europas? In: *Agrarwirtschaft* 56 (5/6), S. 263–271
- Grain (2007): Stop the agrofuel craze! In: *Seedling* July 2007, Agrofuels special issue
- Greenpeace Deutschland (2006): Biomasse – Segen oder Fluch der Energiewende? Positionspapier zur energetischen Nutzung von Biomasse. www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/energie/Biomasse_Fluch_oder_Segen.pdf (05.11.2007)
- Haeggman, H., Niemi, K., Tiimonen, H., Ylioja, T., Chiang, V. (2006): Environmental aspects of lignin modified trees. In: Fladung, M., Ewald, D. (eds.): *Tree Transgenesis: Recent Developments*. Berlin, S. 105–122
- Hahn, V., Miedaner, Th. (2007): Sonnenblumen und Roggenganzpflanzen als Biogas substrat. Vortrag auf dem Symposium Energiepflanzen der FNR im Auftrag des BMELV, Berlin
- Hahn, V., Oechsner, H., Ganßmann, M. (2006): Sunflower for biogas production. In: NAROSSA, 12th International Conference for Renewable Resources and Plant Biotechnology, 12./13.6.2006, Tagungsband, Magdeburg



LITERATUR

- Haneklaus, S. (2003): Informationstag zur Phosphor-Düngung in der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft. www.fal.de/nn_786844/DE/aktuell/pressemitteilungen/2003/presse__17__2003__pb.html (05.11.2007)
- Henniges, O. (2007): Wirtschaftlichkeit von Bioethanol – Produktion und Produktionskosten im nationalen und internationalen Vergleich. In: *Agrarwirtschaft* 56(5/6), S.249–254
- Henze, A., Zeddies, J. (2007): Flächenpotenziale für die Erzeugung von Energiepflanzen der Landwirtschaft der Europäischen Union. In: *Agrarwirtschaft* 56(5/6), S.255–263
- Herrmann, A., Taube, F. (2006): Die energetische Nutzung von Mais in Biogasanlagen – Hinkt die Forschung der Praxis hinterher? In: *Berichte über Landwirtschaft* 84, S.165–197
- Hofmann, F., Plättner, A., Lulies, S., Scholwin, F. (2006): Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz. Institut für Energetik und Umwelt (IE), in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Stefan Klinski, DBI Gas- und Umwelttechnik, Fraunhofer Institut UMSICHT, und Gaswärme-Institut (GWI). Forschungsprojekt im Auftrag des BMVEL, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hg.), Leipzig
- Hofmann, M. (1995): Schnellwachsende Baumarten für den Kurzumtrieb – Aspekte der Pflanzenzüchtung und Ergebnisse zur Kloneignung auf verschiedenen Standorten. In: *Holzzucht* 49, S.3–8
- Hofmann, M. (1998): Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen im Kurzumtrieb. Merkblatt 11, Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten, Hann. Münden
- Hofmann, M. (1999): Bereitstellung von genetisch hochwertigem Vermehrungsgut für Kurzumtriebsbestände. In: FNR-Schriftenreihe »Nachwachsende Rohstoffe« 13: Modellvorhaben »Schnellwachsende Baumarten«. Zusammenfassender Abschlußbericht. Im Auftrage des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Münster, S.151–239
- Hofmann, M. (2002): Anbau von Pappeln auf landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen zur Erzeugung von Holzstoff für die Papierherstellung. In: Merkblatt 12, Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten, Hann. Münden
- Holst, S. (2003): Von der Flächenstilllegung zum 'Lebensraum Brache'. Pressemitteilung zum Expertenworkshop: Flächenstilllegung verstärkt für den Naturschutz nutzen. Bonn/Hamburg; <http://idw-online.de/pages/de/news64434> (20.09.2007)
- Hooijer, A., Silviu, M., Wösten, H., Page, S. (2006): Peat-CO₂. Assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in South-east Asia. Delft Hydraulics report Q3943; www.wetlands.org/ckpp/publication.aspx?ID=f84f160f-d851-45c6-acc4-d67e78b39699 (25.10.2007)
- IE (Institut für Energetik und Umwelt) (2005): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. 1. Zwischenbericht. IE in Kooperation mit Fichtner GmbH & Co. KG, Stuttgart, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena, Prof. Stefan Klinski, FHW Berlin. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU. Leipzig
- IE (2006): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. 2. Zwischenbericht. IE in Kooperation mit Fichtner GmbH & Co. KG, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Prof. Stefan Klinski, FHW, Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU, Leipzig

- IE (2006b): Nutzungsstrukturen und Mindeststandards für nachwachsende Energieträger im Rahmen des EEG. Gutachten im Auftrag des WWF, Leipzig
- IE (2007): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Endbericht. IE in Kooperation mit Fichtner GmbH & Co. KG, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Prof. Stefan Klinski, FHW, Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU. Leipzig
- IEA (International Energy Agency) (2004): Biofuels for Transport: An International Perspective. Paris
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996): Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual Vol. 3; www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.htm (07.11.2007)
- Isermeyer, F., Zimmer, Y. (2006): Thesen zur Bioenergie-Politik in Deutschland. Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie 02/2006, FAL, Braunschweig
- IWR (Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien) (2007): Weltwasserwoche: Biokraftstoffe gefährden Wasservorräte. www.iwr.de/news.php?id=11102 (05.11.2007)
- James, C. (2006): Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2006. ISAAA Brief 35, Ithaca/NY
- Janssens, I.A., Freibauer, A., Schlamadinger, B., Ceulemann, R., Ciais, P., Dolman, A., Heimann, M., Nabuurs, G.J., Smith, P., Valentini, R., Schulze, E.D. (2005): The carbon budget of terrestrial ecosystems at country-scale – a European case study. *Biogeosciences* 2005(2), S. 15–26
- Jungmeier, G., Spitzer, J. (2001): Greenhouse gas emissions of bioenergy from agriculture compared to fossil energy for heat and electricity supply. *Nutr. Cycle Agroecosystem* 60, S. 267–273
- Kalies, M., Schröder, G., Bohnenschläfer, W., Fröhlich, N., Müller, M., Reichmuth, M. (2007): Schlüsseldaten Klimagasemissionen. Welchen Beitrag kann die Biomasse zum Klimaschutz leisten? www.ufop.de/downloads/Bericht_Klimagas.pdf (12.11.2007)
- Kaltschmitt, M., Hartmann, H. (Hg.) (2001): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Berlin u.a.O.
- Koizumi, T., Ohga, K. (2007): Biofuel policies in Asia: Trade effects on world agricultural and biofuels trade. USDA agricultural outlook forum
- Koplow, D. (2006): Biofuels – At What Cost? Government support for ethanol and biodiesel in the United States. Prepared for The Global Subsidies Initiative (GSI) of the International Institute for Sustainable Development (IISD), Geneva
- Krause, C. (2006): Landschaftsästhetische Wirkungen von Bäumen zur Holzproduktion in der Kulturlandschaft. In: Bemann, A., Franke, E. (Hg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Tagungsband zur 1. Fachtagung am 6./7.11.2006 in Tharandt, Sachsen, S. 41–50
- Kumar, S., Fladung, M. (2001): Gene stability in transgenic aspen (*Populus*). II. Molecular characterization of variable expression of transgene in wild and hybrid aspen. In: *Planta* 213, S. 731–740
- Larsson, S. (1997): Commercial breeding of willow for short rotation coppice. In: *Aspects of Applied Biology*, S. 215–218



LITERATUR

- Larsson, S. (1998): Genetic improvement of willow for short-rotation coppice. In: *Biomass and Bioenergy* 15, S. 23–26
- Leible, L. (2006): Rohstoffe für die Biokraftstoffe der Zukunft – Bedeutung und Potenziale in Baden-Württemberg. In: DaimlerChrysler (Hg.): *Mobil mit Biomasse*. Tagung vom 27.9.2006, Stuttgart, S. 1–5; www.itas.fzk.de/deu/lit/2006/leua06d.pdf (06.02.2007)
- Leible, L., Kälber, S., Kappler, G. (2005): Entwicklung von Szenarien über die Bereitstellung von land- und forstwirtschaftlicher Biomasse in zwei baden-württembergischen Regionen zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen – Mengenszenarien zur Biomassebereitstellung – Abschlussbericht. www.itas.fzk.de/deu/lit/2005/leua05a.pdf (06.02.2007)
- Leible, L., Kälber, S., Kappler, G., Lange, S., Nieke, E., Proplesch, P., Wintzer, D., Fürniß, B. (2007): Kraftstoff, Strom und Wärme aus Stroh und Waldrestholz – Eine systemanalytische Untersuchung. *Wissenschaftliche Berichte FZKA 7170*, Karlsruhe
- Liesebach, M., Mulsow, H., Rose, A., Mecke, R. (1999a): Ökologische Aspekte der Kurzumtriebswirtschaft. In: *FNR-Schriftenreihe »Nachwachsende Rohstoffe« 13: Modellvorhaben »Schnellwachsende Baumarten«*. Zusammenfassender Abschlussbericht. Im Auftrage des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Münster, S. 455–476
- Liesebach, M., von Wuehlisch, G., Muhs, H.J. (1999b): Aspen for short-rotation coppice plantations on agricultural sites in Germany: Effects of spacing and rotation time on growth and biomass production of aspen progenies. In: *Forest Ecology and Management* 121, S. 25–39
- Malcher, L., Heinrich, E., Leible, L., Wiemer, H.-J. (2006): Gaserzeugung aus Biomasse, Kurzfassung des Abschlussberichts. www.itas.fzk.de/deu/lit/2006/leua06a_kurzfasung.pdf (06.02.2007)
- Matthes, F. (2002): Zitiert in Plöchl, M., Schulz, M. (2003): Ökologische Bewertung der Biogaserzeugung und -nutzung. www.eti-brandenburg.de/biogas/download/daten/040-043.PDF (12.11.2007)
- Mead, D.J. (2005): Opportunities for improving plantation productivity. How much? How quickly? How realistic? In: *Biomass and Bioenergy* 28, S. 249–266
- Meier, D., Schöll, S., Klaubert, H., Markgraf, J. (2006): Betriebsergebnisse der ersten BTO-Anlage zur ablativen Flash-Pyrolyse von Holz mit Energiegewinnung in einem BHKW. In: *DGMK (Hg.) (2006): DGMK-Tagungsbericht Nr. 2 (DGMK-Fachbereichstagung »Energetische Nutzung von Biomasse«, 24.–26.04.2006 Velen)*, Hamburg, S. 115–120
- Meijl, H. van, Rheenen, T. van, Tabeau, A., Eickhout, B. (2006): The impact of different policy environments on agricultural land use in Europe. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114, S. 21–38
- Mentz, T. (2006): Ethanolweizen – neue Ansprüche an Praxis und Züchtung. www.lochow-petkus.de/resource/weizen_ethanolweizen_09_2006.pdf
- MISEREOR (2007): »Bioenergie« im Spannungsfeld von Klimawandel und Armutsbekämpfung. Positionspapier. Aachen



- Mohr diek, O. (1976): Nachkommenschaftsuntersuchungen an Pappeln der Sektionen Aigeiros, Tacamahaca und Leuce mit Vorschlägen für die weitere Züchtungsarbeit. Georg-August-Universität Göttingen
- Muhs, H.J. (1984): Schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb: Produktion, züchterische, ökologische, forst- und agrarpolitische Aspekte. In: Forstarchiv 55, S. 171–174
- Müller, A., Büttner, B., Hohmann, U., Jung, C. (2006): Functional Genomics of Floral Transition in Sugar Beet. In: Bericht über die 57. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs HBLFA Raumberg-Gumpenstein
- Müller-Langer, S., Schneider, J., Thrän, D., Baur, F., Koch, M. (2006): Zwischenbericht Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung. Institut für Energetik und Umwelt (IE) in Kooperation mit Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES), Forschungsprojekt im Auftrag des UBA. Leipzig/Saarbrücken
- NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V. (2007): Grünlandumbruch und Maisanbau in Natura 2000-Gebieten: Ein Fallbeispiel aus der Eifel. Berlin
- Nanson, A. (2004): Génétique et amélioration des arbres forestiers. Gembloux
- Nitsch, J. (2007): Leitstudie 2007 – Ausbaustrategie Erneuerbare Energien – Aktualisierung und Neubewertung bis zu den Jahren 2020 und 2030 mit Ausblick bis 2050. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Technische Thermodynamik, Untersuchung im Auftrag des BMU, Stuttgart www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2007.pdf (28.02.2007)
- Nitsch, J., Krewitt, W., Nast, M., Viebahn, P., Gärtner, S., Pehnt, M., Reinhardt, G., Schmidt, R., Uihlein, A., Barthel, C., Fishedick, M., Merten, F. (2004a): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Kurzfassung. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Technische Thermodynamik, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt und Energie, Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU, Stuttgart u. a. O
- Nitsch, J., Krewitt, W., Nast, M., Viebahn, P., Gärtner, S., Pehnt, M., Reinhardt, G., Schmidt, R., Uihlein, A., Barthel, C., Fishedick, M., Merten, F. (2004b): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Langfassung. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Technische Thermodynamik, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt und Energie, Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU, Stuttgart u. a. O.
- Nitsch, J., Staiß, F., Wenzel, B., Fishedick, M. (2005): Ausbau Erneuerbarer Energien im Stromsektor bis 2020. Vergütungszahlungen und Differenzkosten durch das Erneuerbare Energiegesetz. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Technische Thermodynamik, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt und Energie, Untersuchung im Auftrag des BMU, Stuttgart/Wuppertal
- Nordman, E.E., Robison, D.J., Abrahamson, L.P., Volk, T.A. (2005): Relative resistance of willow and poplar biomass production clones across a continuum of herbivorous insect specialization: Univariate and multivariate approaches. In: Forest Ecology and Management 217, S. 307–318



LITERATUR

- Nussbaumer, Th. (2007): Feinstaub aus Holzfeuerungen: Bildung, Relevanz und Minderung. Vortrag auf Info-Veranstaltung des MLR und UM zur Novellierung der 1. BImSchV, 17.1.2007, Stuttgart
- Nusser, M., Sheridan, P., Walz, R., Wydra, S., Seydel, P. (2007): Makroökonomische Effekte von nachwachsenden Rohstoffen. In: *Agrarwirtschaft* 56(5/6), S. 238–248
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2007): Biofuels: Is the Cure Worse than the Disease? www.foeeurope.org/publications/2007/OECD_Biofuels_Cure_Worse_Than_Disease_Sept07.pdf (22.10.2007)
- OECD, FAO (Organisation for Economic Co-operation and Development, Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2007): *Agricultural Outlook 2007–2016*
- Peuke, A.D., Rennenberg, H. (2006): Heavy metal resistance and phytoremediation with transgenic trees. In: Fladung, M., Ewald, D. (eds.): *Tree Transgenesis: Recent Developments*. Berlin, S. 137–155
- Pickardt, Th., de Kathen, A. (2004): Gentechnisch veränderte Pflanzen mit neuen oder verbesserten Qualitäts- und Nutzungseigenschaften: Futtermittel- und Rohstoffliefernde Nutzpflanzen, Pflanzen zur Bodensanierung und Zierpflanzen. Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestages, Berlin
- Plöchl, M., Schulz, M. (2003): Ökologische Bewertung der Biogaserzeugung und -nutzung. www.eti-brandenburg.de/biogas/download/daten/040-043.PDF (12.11.2007)
- Ragwitz, M., Held, A., Resch, G., Faber, T., Huber, C., Haas, R. (2006): Monitoring und Bewertung der Förderinstrumente für Erneuerbare Energien in EU Mitgliedsstaaten. Kurzfassung. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung und Energy Economics Group, Technische Universität Wien. Forschungsprojekt im Auftrag des UBA und des BMU, UBA Climate Change 08/06, Dessau
- Ragwitz, M., Schleich, J., Huber, C., Resch, G., Faber, T., Voogt, M., Coenraads, R., Cleijne, H., Bodo, P. (2005): FORRES 2020: Analysis of the renewable energy sources' evolution up to 2020. Final report. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Energy Economics Group, Technische Universität Wien, ECOFYS, KEMA, The Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe (REC). Studie im Auftrag der Europäischen Kommission, Generaldirektion für Energie und Transport, Karlsruhe; http://eeg.tuwien.ac.at/research/downloads/PR_30_FORRES_summary.pdf (06.02.2007)
- Ramesohl, S., Arnold, K., Kaltschmitt, M., Scholwin, F., Hofmann, F., Plättner, A., Kalies, M., Lulies, S., Schröder, G., Althaus, W., Urban, W., Burmeister, F. (2006): Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Untersuchung im Auftrag von BGW und DVGW. Band 1: Gesamtergebnisse und Schussfolgerungen. Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt und Energie, Wuppertal
- Raschka, H.D. (1997): Forstliche Biomasseproduktion im Kurzumtrieb. Abschlussbericht des Forschungsprojektes P/2/24 »Versuche für die Produktion forstlicher Biomasse – Kurzumtriebversuche«. In: *FBVA Berichte*, S. 5–29
- Reijnders, L, Huijbregts, M.A.J. (2006): Palm oil and the emissions of carbon-based greenhouse gases. *Journal of Cleaner Production*, doi:10.1016/j.jclepro.2006.07.054



- Reinhardt, G., Gärtner, S., Patyk, A., Rettenmaier, N. (2006): Ökobilanzen zu BTL: Eine ökologische Einschätzung. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu). Forschungsprojekt im Auftrag des BMVEL, Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe (Hg.), Heidelberg; www.fnr-server.de/pdf/literatur/pdf_251ifeu-btl-studie-fnr.pdf (07.02.2007)
- Reinhardt, G., Scheurlen, K., Bemmann, A., Keller, T., Rode, M., Schmidt, C., Thiele, M., Werner, A., Wettstein, C. (2004). Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien. www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/naturschutzaspekte_ee.pdf (23.10.2007)
- REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) (2005): Renewables 2005 Global Status Report. Washington, DC
- REN21 (2006): Renewables Global Status Report 2006 Update. Washington, DC
- REN21 (2008): Renewables 2007 Global Status Report. Washington, DC
- Rijsbergman, F. (2006): A Third of the World Population Faces Water Scarcity Today. Landmark study reviewing 50 years' practices calls for radical changes in water management. www.iwmi.cgiar.org/News_Room/Press_Releases/releases/CA%20Lau%20nch%20Press%20Release_Final.pdf
- Robischon, M. (2006): Field trials with transgenic trees – State of the art and developments. In: Fladung, M., Ewald, D. (eds.): Tree Transgenesis: Recent Developments. Berlin, S. 3–23
- Rode, M., Schneider, C., Ketelhake, G., Reißhauer, D. (2005): Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung. BfN-Skripten 136; www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/skript136.pdf (12.11.2007)
- Roggenforum e.V. (2006): www.roggenforum.de/content/content2.php?CatID=29&NewsID=435&startcat=1&lang=de
- Röhrich, C., Ruscher, K. (2004a): Anbauempfehlungen für schnellwachsende Baumarten. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig
- Röhrich, Ch., Ruscher, K. (2004b): Einsatz nachwachsender Rohstoffpflanzen als landschaftsge-staltendes Element – Feldstreifenanbau auf großen Ackerschlägen. Bornimer Agrartechn. Berichte, 35/2004; www.atb-potsdam.de/Hauptseite-deutsch/Institut/Abteilungen/Abt3/Mitarbeiter/scholz/pdf_files/Heft35.pdf (15.07.2007)
- Roller, A. (2007): Sorghumarten – Sorten und Herkunftvergleich. Vortrag auf dem Symposium Energiepflanzen der FNR im Auftrag des BMELV, Berlin
- Rösch, Ch., Raab, K., Skarka, J., Stelzer, V. (2007): Energie aus dem Grünland – eine nachhaltige Entwicklung? Wissenschaftliche Berichte FZKA 7333, Karlsruhe
- Rounsevell, M.D.A., Ewert, F., Reginster, I., Leemanns, R., Carter, T.R. (2005): Future scenarios of European agricultural land use. II. Projecting changes in cropland and grassland. In: Agriculture, Ecosystems and Environment 107, S. 117–135
- Scherr, S.J. (1999): Soil Degradation – A Threat to Developing- Country Food Security by 2020? Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper 27. International Food Policy Research Institute; www.ifpri.org/2020/dp/dp27.pdf (25.10.2007)
- Schirmer, R. (1996a): Aspekte der Pflanzenzüchtung schnellwachsender Baumarten für Energiewälder. Bayerische Landesanstalt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht, Teisendorf



LITERATUR

- Schirmer, R. (1996b): Verbesserung der Sorteneigenschaften bei Pappel durch Züchtung. In: AFZ/Der Wald, Allgemeine Forst-Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge 51, S. 678–679
- Schmidt, M., Wei, W. (2007): Auswirkungen des Einsatzes transgenen Saatguts auf die wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Strukturen in China. Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestagen, Wien/Peking
- Schmidt, W. (2006): Energiemaiszüchtung – Ziele, Strategien und erste Erfolge. In: Bauernblatt Schleswig-Holstein, 8. Juli
- Schmitz, N. (Hg.) (2003): Bioethanol in Deutschland. Schriftenreihe »Nachwachsende Rohstoffe« Band 21, Münster
- Scholwin, F., Michel, J., Schröder, G., Kalies, M. (2006): Ökologische Analyse einer Biogasnutzung aus nachwachsenden Rohstoffen. Institut für Energetik und Umwelt. Studie im Auftrag der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe, Leipzig
- Scholz, V. (1996): Energiebilanz für Biofestbrennstoffe. In: Landtechnik 51, S. 82–83
- Schütte, A., Gottschau, T. (2006): Synthetische Biokraftstoffe (BtL-Kraftstoffe): Verfahren, Aktivitäten und Potenziale für die Landwirtschaft. In: Beiträge zur Veranstaltung »Bioenergie – Basis für eine wettbewerbsfähige und nachhaltige Landwirtschaft«, Güstrow; www.fnr.de (31.01.2007)
- Schütz, H., Bringezu, S. (2006): Flächenkonkurrenz bei der weltweiten Bioenergieproduktion. Kurzstudie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie im Auftrag des Forums Umwelt und Entwicklung. Wuppertal/Bonn
- Siemons, R., Vis, M., van den Berg, D., Mc Cheney, I., Whiteley, M., Nikolau, N. (2004): Bio-energy's role in the EU energy market. A view of developments until 2020. Report to the European Commission. Enschede u.a.O.
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten. Berlin
- Steenackers, V. (1998): Populus nigra in the Belgian Poplar Breeding Program. Forschungsberichte – Die Schwarzpappel – Probleme und Möglichkeiten bei der Erhaltung einer gefährdeten heimischen Baumart 24, S. 112–119
- Steger, S. (2005): Der Flächenrucksack des europäischen Außenhandels mit Agrarprodukten. Wuppertal Papers Nr. 152, Wuppertal
- TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (1998): Gentechnik, Züchtung und Biodiversität (Autoren: Meyer, R., Revermann, Ch., Sauter, A.). Endbericht, TAB-Arbeitsbericht Nr. 55, Bonn
- TAB (2000): Risikoabschätzung und Nachzulassungs-Monitoring transgener Pflanzen (Autoren: Sauter, A., Meyer, R.). Sachstandsbericht, TAB-Arbeitsbericht Nr. 68, Berlin
- TAB (2001): Bioenergieträger und Entwicklungsländer (Autoren: Meyer, R., Börner, J.). Endbericht, TAB-Arbeitsbericht Nr. 73, Berlin
- TAB (2002): Entwicklungstendenzen von Nahrungsmittelangebot und -nachfrage und ihre Folgen (Autoren: Meyer, R., Sauter, A.). Basisanalysen, TAB-Arbeitsbericht Nr. 81, Berlin

- TAB (2005a): Alternative Kulturpflanzen und Anbauverfahren (Autor: Meyer, R.). Endbericht zu Teil I des TA-Projekts »Moderne Agrartechniken und Produktionsmethoden – ökonomische und ökologische Potenziale«, TAB-Arbeitsbericht Nr. 103, Berlin
- TAB (2005b): Grüne Gentechnik – Transgene Pflanzen der 2. und 3. Generation (Autoren: Sauter, A. unter Mitarbeit von Hüsing, B.). Endbericht, TAB-Arbeitsbericht Nr. 104, Berlin
- TAB (2006): Perspektiven eines CO₂- und emissionsarmen Verkehrs – Kraftstoffe und Antriebe im Überblick (Autor: Grünwald, R.). Vorstudie, TAB-Arbeitsbericht Nr. 111, Berlin
- TAB (2007): Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe (Autorin: Oertel, D.). Sachstandsbericht, TAB-Arbeitsbericht Nr. 114, Berlin
- ten Brink, B., Alkemade, R., Ballenes, M., Eickhout, B., de Heer, M., Kramn, T., Manders, T., van Oorschoot, M., Smout, F., Clement, F., van Vuuren, D., Westhoek, H., Miles, L., Lysenko, I., Fish, L., Nellemann, C., van Meijl, H., Tabeau, A. (2006): Cross-roads of Planet Earth's Life. Exploring means to meet the 2010 biodiversity target. Study performed for the Global Biodiversity Outlook 2. The Netherlands Environmental Assessment Agency, Report MNP 555050001/2006; <http://cbd.int/doc/gbo2/cbd-gbo2-global-scenarios.pdf> (25.10.2007)
- The White House (2007): Fact Sheet: Twenty in Ten: Strengthening Energy Security and Addressing Climate Change. www.whitehouse.gov/news/releases/2007/05/20070514-2.html (14.05.2007)
- Thiemt, E. (2007). Triticale – eine Energiepflanze für die Biogasnutzung. Tätigkeitsbericht der Landessaatzuchtanstalt 2005–2006; <https://www.uni-hohenheim.de/qis/server/rds?state=medialoader&objectid=1179&application=lsf>
- Thrän, D., Weber, M., Scheuermann, A., Fröhlich, Zeddies, J., Henze, A., Thoroe, C., Schweinle, J., Fritsche, R., Jenseit, W., Rausch, L., Schmidt, K. (2005): Nachhaltige Biomassennutzungsstrategien im europäischen Kontext. Forschungsprojekt des Instituts für Energetik und Umwelt u. a. im Auftrag des BMU, Leipzig
- Thrän, D., Seiffert, M., Müller-Langer, F., Plättner, A., Vogel, A. (2007): Möglichkeiten einer europäischen Biogaseinspeisungsstrategie. Teilbericht I. Institut für Energetik und Umwelt. Studie im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen, Leipzig www.gruene-bundestag.de/cms/publikationen/dokbin/166/166883.pdf (14.02.2007)
- Traupmann, P., Kleinhappl, R., Wippermann, H.J., Holzer, W (2004): Anleitung zur Anlage von Kurzumtriebsflächen. BIOenergie Burgenland, Güssing
- UBA (Umweltbundesamt) (1997): UBA-Texte 4/93 »Ökobilanz Rapsöl«
- UBA (2000): Aktuelle Bewertung des Einsatzes von Rapsöl/RME im Vergleich zu Dieselmotorkraftstoff.
- UBA (2006): Feinstaub aus Kaminen und Holz-Öfen verringern. UBA-Nachricht, 10.3.2006
- UFOP (Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V.) (2007): Flächenschätzung Winterraps zur Ernte 2008. www.ufop.de/downloads/Flaechenschaetzung_Witerraps08.pdf



LITERATUR

- UNEP (United Nations Environment Programme) (2007): One Planet, Many People: Atlas of Our Changing Environment. Forests. www.na.unep.net/OnePlanetManyPeople/powerpoints.html (22.10.2007)
- Vleeshouwers, L.M., Verhagen, A. (2002): Carbon Emission and Sequestration By Agricultural Land Use: A Model Study For Europe. *Global Change Biology* 8, S.519–530
- von Lampe, M. (2007): Economics and agricultural market impacts of growing biofuel production. In: *Agrarwirtschaft* 56(5/6), 232–237
- VTT (2006): Bioenergy in Europe. Opportunities and Barriers. VTT Research Notes 2352, Helsinki
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (2003): *Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit*. Berlin
- Weih, M. (2007): Kurzumtriebsplantagen in Schweden. Vortrag auf dem Symposium Energiepflanzen der FNR im Auftrag des BMELV, Berlin
- Weisgerber, H. (1975): Kurzumtrieb bei Pappeln als Möglichkeit zur Steigerung der Holzproduktion. In: *Holzzucht* 29, S.29–32
- Weisgerber, H. (1979): Züchtungsarbeiten mit schnellwachsenden Baumarten – Ergebnisse und Möglichkeiten. In: *Forst- und Holzwirt* 34, S.129–132
- Weisgerber, H. (1985): Produktionsergebnisse und wirtschaftliche Beurteilung der Versuche mit schnellwachsenden Baumarten in Deutschland. In: *Allgemeine Forstzeitung* 96, S.286–289
- Wiegmann, K., Heintzmann, A., Peters, W., Scheuermann, A., Seidenberger, Th. Thoss, Ch. (2007): Bioenergie und Naturschutz: Sind Synergien durch die Energienutzung von Landschaftspflegereesten möglich? www.oeko.de/service/naturschutz/Dateien/endbericht_bioenergie_landschaftspflege.pdf (23.10.2007)
- Wolf, H., Böhnisch, B. (2004): Verbundvorhaben »Pappelanbau für die Papierherstellung«, Teilvorhaben »Anbau von Pappeln und Aspen auf potenziellen landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen unter Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte«. Abschlussbericht, Landesforstpräsidium, Pirna
- Worldwatch Institute (2006): Biofuels for Transportation. Global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century. Prepared for the German Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMVEL), in cooperation with the Agency for Technical Cooperation (GTZ) and the Agency of Renewable Resources (FNR), Washington DC
- Worldwatch Institute (2007): Biofuels for Transport: Global Potential and Implications for Sustainable Energy and Agriculture. London
- Wuppertal-Institut (2006): Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Untersuchung im Auftrag von BGW und DVGW. Band 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen. Institut für Energetik und Umwelt, Fraunhofer Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT, Gaswärme-Institut. Studie im Auftrag des Bundesverbandes des Gas- und Wasserwirtschaft und der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfachs, Wuppertal u.a.O.
- WWF Deutschland (World Wide Fund for Nature) (2006): ARPA: Schutz für den Amazonas-Regenwald. Hintergrundinformationen, Frankfurt a.M.



- WWF Deutschland (2007a): Energie aus Palmöl. Hintergrundinformationen, Frankfurt a.M.; www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/HG_Palmoel.pdf (22.10.2997)
- WWF Deutschland (Hg.) (2007b): Regenwald für Biodiesel? Ökologische Auswirkungen der energetischen Nutzung von Palmöl. Frankfurt a.M.
- Zah, R., Böni, H., Gauch, M., Hischer, R., Lehmann, M., Wäger, P. (2007): Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen. Schlussbericht. Empa, Abteilung Technologie und Gesellschaft. Studie im Auftrag des schweizerischen Bundesamtes für Energie, Bundesamtes für Umwelt und Bundesamtes für Landwirtschaft, St. Gallen
- Zeddies, J. (2006): Rohstoffverfügbarkeit für die Produktion von Biokraftstoffen in Deutschland und in der EU-25. Universität Hohenheim, Stuttgart





ANHANG

| | |
|---|-----------|
| TABELLENVERZEICHNIS | 1. |
| Tab. 1 Globale Kapazitäten erneuerbarer Energien | 30 |
| Tab. 2 Biomassenutzung in der Europäischen Union 1997, 2002 und 2004 | 34 |
| Tab. 3 Biokraftstofferträge/Fläche | 41 |
| Tab. 4 Biogene Wärmebereitstellung in Deutschland 2006 | 65 |
| Tab. 5 Biomasseproduktion von Pappeln und Weiden (Trockensubstanz in T/ha/a) in 16 Anbauversuchen | 91 |
| Tab. 6 Empfehlungen zu Pflanzverbänden und Umtriebszeiten | 92 |
| Tab. 7 Zielvorgaben für erneuerbaren Strom und Anteil der erneuerbaren Stromerzeugung am Bruttostromverbrauch in EU-25 und ausgewählten außereuropäischen Ländern | 119 |
| Tab. 8 Anbauziele für Energiepflanzen | 120 |
| Tab. 9 Stand der Förderpolitiken zu erneuerbaren Strom | 126 |
| Tab. 10 Vergütung nach EEG für Strom aus Biomasse (ct/kWh) | 127 |
| Tab. 11 Stand der Förderpolitiken zu Biokraftstoffen | 131 |
| Tab. 12 Wichtige Studien zu Bioenergie und Energiepflanzen | 144 |
| Tab. 13 Charakterisierung der Ausbaustudien (Deutschland/Europa) | 147 |
| Tab. 14 Kernelemente der Ausbaustudien (Deutschland/Europa) | 148 |
| Tab. 15 Einflussfaktoren für Die Entwicklung des Flächenpotenzials für Energiepflanzen | 161 |
| Tab. 16 Abschätzung der Bevölkerungsentwicklung in Deutschland | 163 |
| Tab. 17 Potenzielle Anbauflächen für Energiepflanzen in Deutschland | 165 |
| Tab. 18 Potenzielle Anbauflächen für Energiepflanzen in Deutschland, Ergebnisse aus Studien zu Biokraftstoffen bzw. Biogas | 168 |



| | | |
|---------|--|-----|
| Tab. 19 | Einflussfaktoren für die Entwicklung des Energiepotenzials auf der Basis von Energiepflanzen | 169 |
| Tab. 20 | Energiepotenziale Energiepflanzen in Deutschland (in PJ) | 171 |
| Tab. 21 | Ergebnisse der ökologischen Bewertung von Rapsölmethylester im Vergleich zu herkömmlichem Dieselkraftstoff | 186 |
| Tab. 22 | Beschäftigungswirkungen der Energiepflanzenutzung | 207 |

ABBILDUNGSVERZEICHNIS **2.**

| | | |
|---------|---|----|
| Abb. 1 | Globaler Primärenergieverbrauch insgesamt im Jahr 2004 | 31 |
| Abb. 2 | Globaler Primärenergieverbrauch an (modernen) erneuerbaren Energien im Jahr 2004 | 32 |
| Abb. 3 | Bruttoinlandsenergieverbrauch in der EU-25 im Jahr 2004 | 33 |
| Abb. 4 | Bruttoinlandsenergieverbrauch an erneuerbaren Energien in der EU-25 im Jahr 2004 | 33 |
| Abb. 5 | Primärenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2007 | 35 |
| Abb. 6 | Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2006 | 35 |
| Abb. 7 | Überblick Produktionslinien Bioenergie | 37 |
| Abb. 8 | Produktlinien Vergasung | 44 |
| Abb. 9 | Produktlinien Pyrolyse | 46 |
| Abb. 10 | Produktlinie Biogas | 48 |
| Abb. 11 | Produktlinie Ethanol | 50 |
| Abb. 12 | Produktlinie Pflanzenöl | 52 |
| Abb. 13 | Produktlinien synthetische Kraftstoffe | 54 |
| Abb. 14 | Konzept des zweistufigen BtL-Verfahrens des Forschungszentrums Karlsruhe zur Herstellung von Kraftstoffen, Chemikalien und Strom aus Biomasse | 55 |
| Abb. 15 | Produktlinie Verbrennung biogener Festbrennstoffe | 58 |
| Abb. 16 | Einordnung der Feuerungssysteme in Abhängigkeit von der Anlagengröße und Form der Biomasse | 60 |

| | | |
|----------|--|-----|
| Abb. 17 | Entwicklung der Energiebereitstellung durch Biokraftstoffe in Deutschland | 68 |
| Abb. 18 | »Landkarte« der Produktlinien Bioenergie | 105 |
| Abb. 19 | Kraftstoffziele der betrachteten Länder bis 2015/2020 | 118 |
| Abb. 20 | Einfluss internationaler, europäischer und nationaler Politiken auf Bioenergie- und Energiepflanzennutzung | 124 |
| Abb. 21: | Durchschnittliche Vergütung/Preise von Strom aus Biomasse in den EU-25-Ländern | 129 |
| Abb. 22 | Beitrag der erneuerbaren Energien im Bereich Strom, Transport und Wärme 1990–2004 | 135 |
| Abb. 23 | Flächenbedarf für Biokraftstoffe 2010 (Biodieselproduktion auf der Basis von Raps, Ethanolproduktion aus Weizen) | 136 |
| Abb. 24 | Abschätzung des Flächenbedarfs für den Anbau von Energiepflanzen durch bestehende Ausbauziele für Biokraftstoffe im Jahr 2015/2020 und Vergleich mit der jeweiligen gesamten Landwirtschaftsfläche | 137 |
| Abb. 25 | Verlauf der Energieintensität (Primärenergie/BIP, Strom/BIP) in Deutschland seit 1950 sowie in Referenz- und Ausbauszenarien | 155 |
| Abb. 26 | Endenergiebeitrag erneuerbarer Energien im Leitszenario 2006 nach Energiequellen bis zum Jahr 2050 | 156 |
| Abb. 27 | Übersicht über biogene Reststoffpotenziale in ausgewählten Szenarienstudien | 158 |
| Abb. 28 | Potenziale zur Nutzung von Biomasse im Jahr 2050 unter Berücksichtigung von Nutzungskonkurrenzen | 159 |
| Abb. 29 | Flächenpotenziale für den Anbau von Energiepflanzen (ohne Grünland) in Deutschland in den Jahren 2010, 2020 und 2030 | 166 |
| Abb. 30 | Energiebereitstellung: Schema einer Ökobilanz der Strom- und Wärmeproduktion aus Biogas | 175 |
| Abb. 31 | Darstellung der Prozessketten von Rapsölmethylester und Diesel mit Angabe von Vergleichssystemen | 176 |
| Abb. 32 | Kumulierter Energieaufwand von Kraftstoffen an einer Schweizer Tankstelle | 178 |



ANHANG

| | | |
|---------|---|-----|
| Abb. 33 | Bruttoenergieerträge bei der Herstellung von Biokraftstoffen und der Bedarf an Prozessenergie | 180 |
| Abb. 34 | Klimagasemissionen der Wärmebereitstellung in 2010 | 181 |
| Abb. 35 | Klimagasemissionen der Strombereitstellung (Abschätzung für das Jahr 2010) | 182 |
| Abb. 36 | Klimagasemissionen von Biokraftstoffen im Vergleich mit fossilen Kraftstoffen | 183 |
| Abb. 37 | Ökobilanzergebnisse für den Vergleich von Biodiesel mit Diesel | 185 |
| Abb. 38 | Produktionskosten von Biogas | 198 |
| Abb. 39 | Produktionskosten für Bioethanol und Benzin 2006 | 199 |
| Abb. 40 | Gestehungskosten bei Wärme, Strom und Kraftstoff aus Stroh und Waldrestholz | 202 |
| Abb. 41 | Entwicklung der Bioethanol- und Benzinpreise in Brasilien | 203 |

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) berät das Parlament und seine Ausschüsse in Fragen des technischen und gesellschaftlichen Wandels. Das TAB ist eine organisatorische Einheit des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Forschungszentrums Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft. Das TAB arbeitet seit 1990 auf der Grundlage eines Vertrags zwischen dem Forschungszentrum Karlsruhe und dem Deutschen Bundestag und kooperiert zur Erfüllung seiner Aufgaben seit 2003 mit dem FhG-Institut System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe.



BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG

Neue Schönhauser Str. 10
10178 Berlin

Fon +49(0)30/28 491-0
Fax +49(0)30/28 491-119

buero@tab.fzk.de
www.tab.fzk.de



Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft