

**Markus Schorling, Susanne Stirn
und Volker Beusmann**

Potenziale der Gentechnik bei Energiepflanzen



Potenziale der Gentechnik bei Energiepflanzen

**Abschlussbericht eines F+E-Vorhabens
(FKZ 806 89 040)**

im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz

**Markus Schorling
Susanne Stirn
Volker Beusmann**



Titelfoto: M. Schorling

Adressen der Autoren:

Dr. Markus Schorling
Dr. Susanne Stirn
Prof. Dr. Volker Beusmann

FSP BIOGUM / FG Landwirtschaft
Universität Hamburg
Ohnhorststr. 18
D-22609 Hamburg
URL: <http://www.biogum.uni-hamburg.de>

Fachbetreuung im BfN:

Dr. Wolfram Reichenbecher

Fachgebiet II 2.3 „Bewertung gentechnisch veränderter Organismen, Vollzug GenTG“

Das Projekt wurde im Frühjahr 2008 abgeschlossen. Es wurde gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Förderkennzeichen FKZ: 806 89 040

Die Beiträge der Skripten werden aufgenommen in die Literaturlatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de).

Die Publikation kann im Internet unter: www.bfn.de/ abgerufen werden.

Die BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich.

Herausgeber:

Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstraße 110
D-53179 Bonn
Tel.: + 49 228/8491-0
Fax: + 49 228/8491-9999
URL:<http://www.bfn.de>

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter.

Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Nachdruck, auch in Auszügen, nur mit Genehmigung des BfN.

Druck: BMU-Druckerei

Gedruckt auf 100% Altpapier

Bonn - Bad Godesberg 2009

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	5
Abkürzungen	6
1. Einleitung.....	7
1.1. Fragestellung/Vorgehen/Methodik	9
1.2. Einführung Energieträger	10
2. Internetrecherche zu öffentlich geförderten Forschungsprojekten (Modul 1)	12
2.1. Geschäftsbereich des BMELV.....	13
2.1.1. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).....	13
2.1.2. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)	14
2.1.3. Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.....	15
2.1.4. Weitere Institutionen im Geschäftsbereich des BMELV	15
2.2. Geschäftsbereich BMBF	15
2.3. Geschäftsbereich BMU.....	17
2.4. Forschungsförderung zu Energiepflanzen in der EU.....	18
2.5. Zusammenfassung Modul 1.....	19
3. Umfragen bei Unternehmen und Forschungseinrichtungen (Modul 2)	19
3.1. Ergebnisse.....	20
3.2. Zusammenfassung Modul 2.....	23
4. Züchtungsziele bei Energiepflanzen.....	24
4.1. Raps (<i>Brassica napus</i>)	26
4.1.1. Gentechnische Ansätze.....	26
4.2. Mais (<i>Zea mays</i>)	26
4.2.1. Gentechnische Ansätze.....	29
4.2.2. Ökologischer Anbau.....	30
4.3. Weitere Getreide und Gräser	30
4.3.1. Roggen (<i>Secale cereale</i>) und Gerste (<i>Hordeum vulgare</i>).....	30
4.3.2. Hirse (<i>Sorghum bicolor</i>), Sudangras (<i>Sorghum sudanense</i>) und Chinaschilf (<i>Miscanthus sinensis</i>)	31
4.4. Zuckerrübe (<i>Beta vulgaris</i>).....	32
4.4.1. Gentechnische Ansätze.....	32
4.5. Sonnenblume (<i>Helianthus annuus</i>).....	32
4.6. Kartoffel (<i>Solanum tuberosum</i>)	33
4.7. Schnellwachsende Gehölze.....	33
4.7.1. Konventionelle Ansätze.....	33
4.7.2. Gentechnische Ansätze.....	34
4.7.3. Weitere Rechercheergebnisse.....	35
4.8. Gentechnische Ansätze bei Modellpflanzen.....	36
4.9. Übertragung der Ergebnisse der Genomforschung.....	36
4.10. Zusammenfassung Züchtungsziele bei Energiepflanzen	37

5. Auswirkungen des Anbaus von Energiepflanzen auf landwirtschaftliche Anbausysteme und die natürliche Umwelt (Modul 3)	38
5.1. Anbauflächen	38
5.2. Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus <i>allgemein</i> auf landwirtschaftliche Anbausysteme	40
5.2.1. Flächenkonkurrenz.....	40
5.2.2. Wasserhaushalt.....	42
5.2.3. Fruchtfolgegestaltung.....	42
5.2.4. Regionale Konzentration.....	44
5.3. Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus <i>allgemein</i> auf die natürliche Umwelt	45
5.4. Mögliche Auswirkungen des Anbaus <i>gentechnisch veränderter</i> (Energie-) Pflanzen auf landwirtschaftliche Anbausysteme und die natürliche Umwelt.....	47
5.5. Zusammenfassung Modul 3	54
6. Herausforderungen an eine <i>good governance</i> konventioneller und gentechnisch veränderter Energiepflanzen (Modul 4)	55
6.1. Sozioökonomische Implikationen und Steuerungsoptionen.....	55
6.1.1. Flächenkonkurrenz.....	57
6.1.2. Klima- und THG-Bilanzen für Energieträger aus Biomasse	57
6.1.3. Einkommens- und Beschäftigungseffekte.....	58
6.1.4. Verteilungseffekte: Gewinner und Verlierer.....	58
6.1.5. Möglicher Beitrag inländischer Produktion zur Versorgungssicherung und zur Verminderung der Abhängigkeit von Importen.....	59
6.1.6. Internationale Dimension der Diskussion über Energieimporte aus Energiepflanzenanbau.....	59
6.1.7. Effizienz der Förderpolitiken in Hinblick auf die angestrebten Ziele der Klima-, Energie -, Agrar- und Versorgungspolitik	60
6.1.8. Dynamisch lernende Politikgestaltung zwischen Kontinuität und Verlässlichkeit vs. Flexibilität	60
6.2. Aktuelle Beschlüsse der Bundesregierung als Rahmen für den Bioenergiepflanzenanbau	61
6.2.1. Zertifizierung	62
6.3. Rolle von konventioneller und gentechnischer Züchtung und Gentechnikregulierung	64
7. Zusammenfassungen	67
7.1. Zusammenfassung	67
7.2. Kurzfassung.....	72
7.3. Summary	74
8. Literaturverzeichnis.....	76
9. Danksagung.....	91
10. Anhang	92

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Überblick über den Einsatz nachwachsender Rohstoffe für die energetische Nutzung.....	12
Abb. 2: Kulturen, die züchterisch für die Nutzung als Energiepflanzen bearbeitet werden (ohne Aufschlüsselung nach Züchtungsmethoden)	21
Abb. 3: Züchtungsziele, die mittels gentechnischer Methoden verfolgt werden; () Anzahl der Nennungen	21
Abb. 4: Warum Gentechnik angewendet bzw. nicht angewendet wird	22
Abb. 5: Gegenläufige Antworten zu den Gründen für die Anwendung bzw. die Nichtanwendung gentechnischer Methoden in der Pflanzenzüchtung	23
Abb. 6: Erwartete Auswirkungen auf landwirtschaftliche Anbausysteme und die natürliche Umwelt	23
Abb. 7: Gesamttrockenmassebildung (GTM-Ertrag) bei einer Silomais- (SM) und bei einer Energiemaissorte (EM)	27
Abb. 8: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland.....	39

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Züchtungsziele bei Energiepflanzen in Abhängigkeit vom Verwendungszweck	25
Tab. 2: Eigenschaften gentechnisch veränderter Pflanzen und deren mögliche Auswirkungen auf Agrar- und andere Ökosysteme	48

Abkürzungen

AbL.....	Arbeitsgemeinschaft bäuerliche Landwirtschaft e.V.
ARA.....	Arbeitsgemeinschaft Regenwald und Artenschutz
BUND.....	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
BMBF.....	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMELV.....	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMF.....	Bundesministerium der Finanzen
BMU.....	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BfN.....	Bundesamt für Naturschutz
CBD.....	Convention on Biological Diversity
FAO.....	Food and Agriculture Organization
FIAN.....	FoodFirst Informations- und Aktions-Netzwerk Deutschland
FNR.....	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
GTZ.....	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH
IFPRI.....	International Food Policy Research Institute
KLJB.....	Katholische Landjugendbewegung Deutschlands e.V.
NABU.....	Naturschutzbund Deutschland
OECD.....	Organisation for Economic Co-operation and Development
SRU.....	Sachverständigenrat für Umweltfragen
TAB.....	Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag
THG-Bilanz.....	Treibhausgas-Bilanz
UFOP.....	Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen eV.
WBGU.....	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
WWF.....	World Wildlife Fund
ZALF.....	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung

1. Einleitung

Energiepflanzenanbau und Gentechnik bei Pflanzen – zwei kontroverse, hochaktuelle Themen der Debatte in Wissenschaft und Gesellschaft um Welternährung, Klimawandel, Versorgungssicherheit, Preise für Lebensmittel und Energie (zu Details und Quellen s. Kap. 6). Grund genug, sich mit der Schnittmenge dieser beiden Kontroversen unter langfristig-strategischer Perspektive zu befassen und der Frage nachzugehen, was Gentechnik bei Energiepflanzen leisten kann, wo mögliche Risiken liegen und welche Alternativen existieren. Dazu soll zunächst jeder dieser beiden Begriffe in einen historischen Rahmen gesetzt werden, um deutlich zu machen, wie die Studie und ihre Ergebnisse einzuordnen sind und wo ihre Grenzen liegen. Dabei werden einige markante Ereignisse stellvertretend für Entwicklungen genannt, die ihre Wurzeln durchaus bereits früher haben und die wesentlich breiter waren.

In der Frühzeit der Menschheit wurden ausschließlich biologische Quellen der Energie genutzt. Im Zuge der Industrialisierung wurden diese zunehmend durch fossile Energieträger (Kohle, Erdöl und –gas) ersetzt. Vor allem durch die Studie des Club of Rome „Grenzen des Wachstums“ (MEADOWS et al., 1972) wurde eine breite Diskussion ausgelöst, dass im begrenzten Raumschiff Erde kein unbegrenztes materielles Wachstum auf der Basis der Ausbeutung endlicher Rohstoffe und der Akkumulation von Abfallstoffen und anderen Umweltbelastungen möglich ist. Aus dieser Einsicht wurden verschiedene Schlüsse gezogen: In Bezug auf Energieträger – analog auf andere Rohstoffe – mittelfristig die Suche nach anderen Energieträgern mit weniger engen Grenzen der Verfügbarkeit (Uran und Atomkraft), langfristig nach Quellen, die – gemessen am Bedarf heutiger und künftiger Generationen der Menschheit – unbegrenzt erscheinen: Kernfusion und regenerative Energieträger wie Wind-, Wasser-, Bio- und Sonnenenergie. Daneben wurde bereits in dieser Studie die Frage nach dem Überdenken von Zielen, Werten und politischen Handlungskonsequenzen gestellt, entsprechend dem Selbstverständnis des Club of Rome.

Zwanzig Jahre später haben staatliche Vertreter aus mehr als 150 Ländern der Welt die UN-Rio-Deklaration über nachhaltige Entwicklung unterzeichnet (UNITED NATIONS, 1992): Umwelt- und soziale Ungleichheitsprobleme sollen gemeinsam durch ein Aktionsprogramm für das 21. Jahrhundert angegangen werden. Als gemeinsames Ziel wurde beschlossen, eine nachhaltige Entwicklung einzuleiten, die dadurch gekennzeichnet ist, dass sie die Bedürfnisse heutiger Generationen befriedigt, ohne diejenigen künftiger Generationen zu gefährden. Damit wurde Intra- und Intergenerationen-Fairness als Gerechtigkeitsvorstellung und Vision formuliert. In einfachster Form wird diese globale Zielsetzung untergliedert in soziale – inklusive kulturelle und spirituelle –, ökologische und ökonomische Ziele bzw. Verträglichkeit, und zwar gleichrangig. Die Umsetzung dieser Ziele soll durch Innovationen in Verhaltensweisen, Institutionen – verstanden als gesellschaftliche Spielregeln – und in Technologien gefördert werden. Dabei werden häufig drei Strategien hervorgehoben: Die Suffizienz-, die Effizienz- sowie die Konsistenzstrategie. Ferner wird dieser Übergang zu nachhaltiger Entwicklung als offener Suchprozess aufgefasst, der durch Leitplanken dessen, was offensichtlich als nicht nachhaltig erscheint und deshalb zu vermeiden ist, abgegrenzt ist.

Für die Beurteilung von Technologien ergeben sich aus diesem Rahmenkonzept vor allem folgende Kernfragen:

- Was ist machbar oder erscheint in Zukunft machbar?
- Welchen Lösungsbeitrag zu den Herausforderungen der Menschheit können Technologien in guter oder bester Einbettung in Verhaltensweisen und Institutionen ökonomisch, ökologisch und sozial leisten? Dies ist die Frage nach der Komplementarität von Technologien, Verhal-

tensweisen und Institutionen.

- Unter welchen Umständen sind die technologischen Optionen den Lösungsansätzen auf der Verhaltens- und Institutionenebene gegenüber überlegen? Dies beinhaltet die Frage der Konkurrenz zwischen den Optionen.
- In welchem Umfang kann die technische Option einen Lösungsbeitrag liefern? Im Sinne der Konsistenzstrategie sind langfristig u. U. auch Beiträge der Optionen notwendig, die heute noch weniger vorteilhaft erscheinen.
- Sollte man eine Option weiterverfolgen, weil sie in Zukunft möglicherweise erst ihr volles Potenzial entfaltet und die Bewertung in der Zukunft sich eventuell gegenüber heute wandelt? Dies wäre ein Optionswert, der der Offenheit und Unsicherheit künftiger Entwicklung in allen Bereichen Rechnung trägt.

Energieeinsparung, Effizienzsteigerungen in der Energiebereitstellung und -nutzung sowie die Erschließung erneuerbarer Energiequellen gelten in diesem Rahmen als grundlegende Strategien, zu denen die Landwirtschaft einen wichtigen Beitrag leisten kann, indem sie sich von der zwischenzeitlichen Fokussierung auf Nahrungs- und Futtermittelproduktion zu einer neuen Multifunktionalität (nachwachsende Rohstoffe, ökologische und soziale Dienstleistungen) entwickelt.

Mit geringfügiger Verzögerung gegenüber dem Club of Rome wurde ab Mitte der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts die Nebenwirkung des exponentiellen Anstiegs des Energieverbrauchs auf das Weltklima diskutiert (Gründung des Intergovernmental Panel on Climate Change 1988 durch die World Meteorological Organization (WMO) und das United Nations Environment Programme (UNEP). In jüngster Zeit hat die Diskussion um die Implikationen des Klimawandels sowie zu Verminderungs- und Anpassungsstrategien einen enormen Aufschwung genommen (EGNER, 2007), beispielhaft zur Resonanz in den Medien, der Bevölkerung und der Politik kann verwiesen werden auf

- den Bericht des britischen Ökonomen STERN (2006) zu den volkswirtschaftlichen Kosten des Klimawandels und einer Verzögerung von Handlungskonsequenzen,
- den Film des ehemaligen US-Vizepräsidenten Al Gore „Eine unbequeme Wahrheit“ (GUGGENHEIM, 2006),
- die aktuellen Berichte des „Weltklimarates der Vereinten Nationen“ (United Nations’ Intergovernmental Panel on Climate Change, (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007b; INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007a),
- die Auszeichnung von Al Gore und des IPCC mit dem Friedens-Nobelpreis 2007
- sowie zahlreiche Berichte wissenschaftlicher Beratungsorgane an die Politik und Öffentlichkeit sowie vielfältige politischen Aktivitäten auf nationaler wie auch auf internationaler Ebene (s. hierzu die Referenzen in Kapitel 6).

Die Landwirtschaft erscheint hier in einer Doppelrolle. Einerseits ist sie mitverantwortlich für THG-Emissionen, andererseits ist sie auch von Konsequenzen betroffen, wie z. B. zunehmend extremen Wetterlagen, die sich auf landwirtschaftliche Wachstumsprozesse auswirken. Je nach Region kann es in der Landwirtschaft dabei Gewinner oder Verlierer geben. Für die Klimapolitik wird gefragt, welchen Beitrag die Landwirtschaft zur Emissionsvermeidung, zur Anpassung an die Treibhauseffekte sowie zum Ersatz fossiler Energie durch regenerative leisten kann. Hierfür sind vor allem entsprechende Fortschritte in der Züchtung sowie im landwirtschaftlichen Anbau- und Tierhaltungs-

verfahren erforderlich.

Gentechnik ist eine neue Option in der Züchtung, an die sich einerseits große Hoffnungen, andererseits auch große Bedenken knüpfen. Die Gentechnik sei hier definiert als Technik, mit der man einzelne Gene in Organismen isoliert einbringen oder ausschalten kann, auch über Grenzen von Organismenreichen hinweg, die man mit klassischer Züchtung nicht überschreiten kann. Auf einer Konferenz in Asilomar (Conference on Recombinant DNA molecules), Kalifornien 1975, erkannten Wissenschaftler die Potenziale dieser Technik und vereinbarten Selbstbeschränkungen für Experimente auf physikalisch und biologisch geschlossene Systeme (BERG et al., 1975b; BERG et al., 1975a), die Grundlage für gesetzliche Regelungen wurden und später mit zunehmender Erfahrung gelockert wurden. Die erste experimentelle Freisetzung eines gentechnisch veränderten Organismus (GVO) erfolgte 1986: Im Jahr 1996 begann der kommerzielle Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP) in den USA, und 2006 wurden weltweit bereits rund 100 Millionen ha GVP angebaut. Die angebauten GVP verfügen über die zwei agronomischen Eigenschaften Herbizidtoleranz und Insektenresistenz (GVP der ersten Generation). In Europa stießen Nahrungsmittel aus GVP auf breite Ablehnung, vor allem bei Verbrauchern und im Handel. Daraus ergab sich für die Befürworter der Gentechnik die Frage, ob GVP künftiger Generationen (veränderte Inhaltsstoffe zur Herstellung von funktionellen Lebensmitteln, nachwachsende Rohstoffe für Energie- oder andere industrielle Nutzung - inklusive Pharmaprodukte -, Toleranzen gegen abiotischen Stress) besser akzeptiert würden und ob sie u. U. eine Türöffnerfunktion für andere Gentechnikprodukte erfüllen könnten.

Vor diesem Hintergrund stellen sich folgende Fragen: Was kann die Gentechnik technisch für den Energiepflanzenanbau leisten? Wie sind diese Möglichkeiten in Hinblick auf ökonomische Effizienz, auf soziale Kriterien wie Akzeptanz, Verteilungseffekte und Beteiligung der Akteure und Bürger in der Zukunftsgestaltung sowie schließlich auf ökologische Verträglichkeit zu bewerten?

Die vorliegende Studie fokussiert dabei allerdings auf eine engere Fragestellung: Welche technischen Optionen sind bereits in der Entwicklung und welche werden aus Sicht von öffentlichen Forschern und privaten Züchtern in Deutschland verfolgt? Diese spiegeln indirekt und implizit wider, dass die Forscher und Entwickler darauf setzen, dass diese technischen Optionen auch gemessen an den Nachhaltigkeitsdimensionen sich als vorteilhaft erweisen werden, was letztlich aber erst in Zukunft prüfbar und ggf. auch nachweisbar sein wird. Gegenteilige Erwartungen werden hier lediglich durch die Argumente von Kritikern dieser Optionen aufgegriffen. Ob und in welchem Umfang die Argumente der Befürworter oder eher die der Kritiker sich künftig als zutreffend erweisen, kann hier nicht geklärt werden, es können nur die Konfliktfelder aufgezeigt werden. Auch die Fragen der optimalen Politik in Hinblick auf Ziele der Klima- Energie-, Agrar- und Ernährungs-, Umwelt-, Regional- sowie Forschungs- und Entwicklungspolitik können hier nur angerissen werden.

1.1. Fragestellung/Vorgehen/Methodik

Das Projekt konzentriert sich auf die Züchtung von Energiepflanzen, insbesondere unter Einsatz gentechnischer Methoden, den Biomasseanbau und die damit verbundenen Nutzungskonzepte. Dabei werden folgende Fragestellungen bearbeitet:

- Welches Potenzial hat die Gentechnik für die Züchtung von Energiepflanzen?
- Welche Anbau- und Nutzungskonzepte sind mit gentechnisch veränderten Energiepflanzen verbunden?

- Welche Auswirkungen könnten sich daraus für den Naturschutz und die Umwelt ergeben?
- Welche Regulationen und Anreizsysteme könnten diese Prozesse in Richtung nachhaltiger Entwicklung steuern?

Zur Bearbeitung der Fragen, wurde das Projekt in zeitlich aufeinander folgende Module eingeteilt:

- **Modul 1:** Stand der Forschung ermitteln (Internetrecherche)
- **Modul 2:** Umfrage bei Unternehmen und Forschungseinrichtungen zu Forschungsprojekten im Bereich gentechnisch veränderter Energiepflanzen.
- **Modul 3:** Herausarbeitung möglicher Umweltwirkungen der unterschiedlichen Kulturen und Züchtungsziele in verschiedenen Landbausystemen in Hinblick auf ökologische Schutzzielindikatoren
- **Modul 4:** Herausforderungen an eine *good governance* konventioneller und gentechnisch veränderter Energiepflanzen

Zuvor soll aber definiert werden, welche Energieträger und damit welche Pflanzenarten Berücksichtigung als Energiepflanzen finden können. Dabei wurde auf Definitionen des Informationssystems Nachwachsende Rohstoffe zurückgegriffen¹ (INFORMATIONSSYSTEM NACHWACHSENDE ROHSTOFFE, 2000):

1.2. Einführung Energieträger

Bioenergie ist demnach ein Sammelbegriff für Energieformen, die aus unterschiedlichen Arten von festen, flüssigen oder gasförmigen Biomassen gewonnen werden.

Biomasse wird definiert als die Gesamtheit der durch Pflanzen und Tiere anfallenden bzw. erzeugten organischen Substanz. Beim Einsatz von Biomasse zur Energiegewinnung wird unterschieden zwischen Energiepflanzen (nachwachsenden Rohstoffen) und organischen Reststoffen.

Energiepflanzen sind speziell zur Energiegewinnung angebaute Pflanzen. Darunter fallen a) schnellwachsende Baumarten und spezielle ein- und mehrjährige Energiepflanzen (z. B. Anbau von Miscanthus als Dauerkultur) sowie b) hochertragreiche zucker- und stärkehaltige Ackerfrüchte wie auch Ölfrüchte für den Einsatz im Treibstoffsektor (Bioethanol, Biodiesel).

Organische Reststoffe fallen an a) als land- bzw. forstwirtschaftliche Rückstände und / oder Nebenprodukte (z. B. Stroh, Gülle, Waldrestholz), b) als Produkte der Landschaftspflege (z. B. Aufwuchs von Landschaftspflegeflächen), c) in Form organischer Rückstände zur Verwertung bzw. Entsorgung aus industriellen oder (haus)wirtschaftlichen Prozessen (z. B. Bioabfall, Klärschlamm) oder d) als organische Produkte nach der Endnutzung (z. B. Altholz).

¹ Die Aufgaben des Informationssystems Nachwachsende Rohstoffe werden seit September 2003 von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe übernommen, die Internetseiten sind aber noch verfügbar unter <http://www.inaro.de/>

Für dieses Vorhaben ist nur der Bereich Energiepflanzen relevant. Schnellwachsende Baumarten finden z. Zt. vor allem als **Festbrennstoffe** auf Lignozellulosebasis Verwendung. In diesem Anwendungsfeld gibt es kaum Züchtungsbemühungen. Es wird aber auch daran geforscht, ihre Kohlehydratbestandteile der Bioethanolherstellung zugänglich zu machen.

Biodiesel (Pflanzenölmethylester, PME) wird in Deutschland überwiegend aus Raps hergestellt (Rapsmethylester, RME). RME besitzt ähnliche Eigenschaften wie konventioneller Dieselmotoren eingesetzt werden (INFORMATIONSSYSTEM NACHWACHSENDE ROHSTOFFE, 2000). Verwendung finden die Rapskörner. Die Züchtung ertragreicher, hochöhlhaltiger Rapslinien für die energetische Nutzung unterscheidet sich allerdings nicht grundsätzlich von der Züchtung für die stoffliche Nutzung im industriellen Bereich (FRAUEN, 2006).

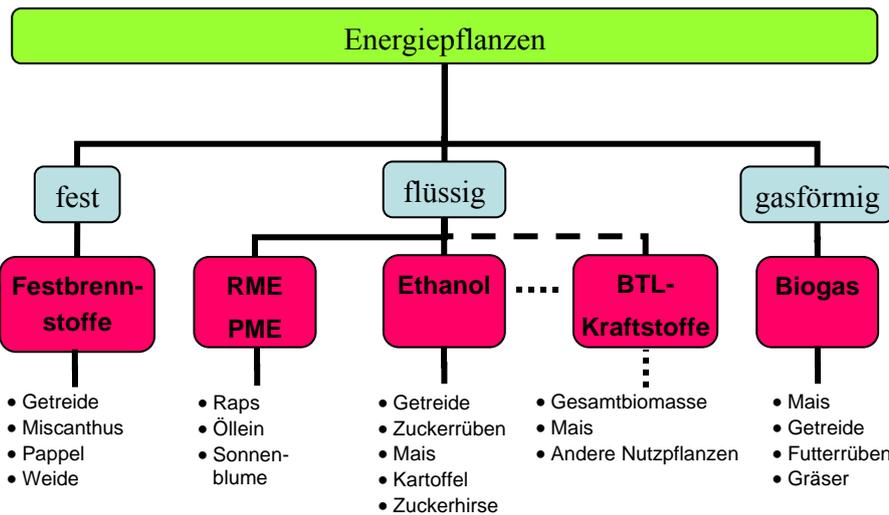
Bioethanol wird durch alkoholische Gärung und anschließende Destillation und Absolutierung aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen. Dafür kommen drei Arten von Pflanzen in Frage:

- Stärkehaltige Pflanzen: Mais, Kartoffeln, Roggen, Weizen
- Zuckerhaltige Pflanzen: Zuckerrüben, Zuckerrohr
- Lignozellulosehaltige Pflanzen: Holz, Stroh,

Ausgangsstoff für Bioethanol sind die in Pflanzen enthaltenen Kohlenhydrate (Zucker), aus denen mit Hilfe von Enzymen und Hefepilzen Alkohol entsteht. Während zuckerhaltige Pflanzen direkt vergoren werden, geht bei stärkehaltigen Pflanzen der eigentlichen alkoholischen Gärung zunächst der enzymatische Aufschluss des Pflanzenmaterials voraus (VERBAND DER DEUTSCHEN BIODIESELINDUSTRIE, 2005). Bei der Nutzung lignozellulosehaltigen Materials sind mehrere enzymatische Schritte notwendig. Zunächst müssen Zellulose und Hemizellulose zu löslichen Zuckern depolymerisiert werden und anschließend das entstandene Gemisch aus C6-Zuckern und C5-Zuckern zu Ethanol vergärt werden (HAHN-HÄGERDAL et al., 2006).

Bei der Verwendung von Energiepflanzen zur **Biogas**erzeugung kann im Gegensatz zur Herstellung von Biodiesel oder Bioethanol die gesamte Pflanze (Gesamtbiomasse) genutzt werden, da Biogas (Hauptbestandteil Methan) aus allen Kohlenstoffbestandteilen der Pflanze gewonnen werden kann. Dadurch ergeben sich neue Züchtungsziele für Energiepflanzen. Hohe Biogas-/Methanerträge liefern neben Wirtschaftsdüngern (organische Reststoffe), wie Gülle und Hühnerkot, vor allem Mais und Zuckerrüben.

Eine neue energetische Nutzungsform pflanzlicher Biomasse stellt die Herstellung synthetischer Treibstoffe dar. Diese sogenannten **BtL-Kraftstoffe** (Biomass to Liquid) werden aus pflanzlicher Biomasse synthetisiert, indem die Biomasse zunächst in ein Synthesegas umgewandelt wird, das nach einem Reinigungsschritt über verschiedene mögliche Verfahren (z.B. Fischer-Tropsch-Synthese) in Kraftstoff überführt wird. Für die Herstellung von BtL-Kraftstoffen können verschiedenste Biorohstoffe genutzt werden. Diese reichen von Rest- und Abfallstoffen (z.B. Stroh, Bioabfällen oder Restholz) bis hin zu Energiepflanzen, bei denen wie bei der Biogasproduktion, die ganze Pflanze genutzt werden kann (BTL - INFORMATIONSPORTAL, 2008). In der nachfolgenden Abbildung (Abb. 1) sind die verschiedenen Energiepflanzen nach der Art ihrer Verwendung aufgeführt. Unter jeder Produktgruppe sind die Pflanzen aufgezählt, die in Deutschland vorrangig verwendet werden.



Quelle: Stirn, S., verändert nach (GIENAPP, 2006)

Abb. 1: Überblick über den Einsatz nachwachsender Rohstoffe für die energetische Nutzung

2. Internetrecherche zu öffentlich geförderten Forschungsprojekten (Modul 1)

In Modul 1 wurden die öffentlich geförderten Projekte im Zuständigkeitsbereich der Ministerien BMELV, BMBF und BMU recherchiert, die sich auf Züchtung und Anbau von Energiepflanzen in Hinblick auf die verschiedenen Nutzungsoptionen (Festbrennstoffe, Biodiesel, Bioethanol, BtL-Kraftstoffe und Biogas, s. 1.2.) beziehen. Um einen Überblick über die Forschungsförderung in der EU in diesem Bereich zu bekommen, wurden die im 6. EU-Forschungsrahmenprogramm geförderten Projekte mit einbezogen. Folgende Suchbegriffe wurden jeweils verwendet:

- Energiepflanzen
- Gentechnik
- Biomasse
- Nachwachsende Rohstoffe
- Züchtung
- Biotechnologie
- transgen

Wo es möglich war, wurde die Suche auch unter Einbeziehung von Platzhaltern durchgeführt (z. B. %gentech% oder %biotech% im Förderkatalog des BMBF/BMWi). Bei der Internet-Recherche im 6. EU-Forschungsrahmenprogramm wurden folgende Suchbegriffe verwendet:

- Biomass
- Biofuel
- Renewable energy
- Sustainable development

2.1. Geschäftsbereich des BMELV

Zum Geschäftsbereich des BMELV gehören insgesamt 29 Bundesoberbehörden, rechtlich selbstständige Anstalten des öffentlichen Rechts, Bundesforschungsanstalten, Einrichtungen der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz sowie sonstige institutionelle Zuwendungsempfänger. Im Bereich Züchtung von Pflanzen als nachwachsende Rohstoffe und unter Einbeziehung gentechnischer Methoden haben wir die Forschung und Förderprogramme folgender Institutionen aus dem Geschäftsbereich des BMELV ausgewertet:

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR): www.fnr.de
- Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL): www.fal.de (jetzt: www.vti.bund.de bzw. www.jki.bund.de)
- Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V.: www.zalf.de
- Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA): www.bba.de (jetzt: www.jki.bund.de)
- Bundesforschungsanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen (BAZ): www.bafz.de (jetzt: www.jki.bund.de)
- Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFAFH): www.bfafh.de (jetzt: www.vti.bund.de)

2.1.1. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) fördert den Bereich nachwachsende Rohstoffe seit den 90er Jahren. Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) in Gülzow ist Projektträger des BMELV für den Gesamtbereich der nachwachsenden Rohstoffe.

Grundlage für eine Projektförderung ist das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ des BMELV zur Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben vom Juli 2003 (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2003). Nachwachsende Rohstoffe werden hier als „land- und forstwirtschaftliche Rohstoffe pflanzlichen und tierischen Ursprungs verstanden, die außerhalb des Ernährungsbereiches (Nahrungs- und Futtermittel) stofflich oder energetisch genutzt werden können“. Das Förderprogramm ist nach Produktlinien (stoffliche oder energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe) gegliedert. Der Bereich Pflanzenzüchtung findet sich nur bei den Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Bereich der stofflichen Nutzung wieder: „Züchterische Bearbeitung von Stärke-, Zucker- oder Ölpflanzen mit den Zielen höherer Gehalte an wertgebenden Inhaltsstoffen, geringere Gehalte an unerwünschten Begleit- und Reststoffen sowie gesteigerter Resistenz gegenüber biotischen und abiotischen Einflüssen“. Im Bereich der energetischen Nutzung wird nur ein begrenzter Forschungsbedarf bei der Optimierung der Anlagen unter ökologischen (z. B. Abgaswerte) und ökonomischen Gesichtspunkten (z. B. Effizienzsteigerungen der Anlagen) gesehen.

Recherche-Ergebnisse

Dem Förderprogramm entsprechend findet man unter den geförderten Projekten kaum züchterische Ansätze zur Verbesserung der Eignung pflanzlicher Rohstoffe als Energieträger. Aktuell werden drei Verbundprojekte gefördert, bei denen mit Hilfe konventioneller Züchtungsmethoden Energiepflanzen bearbeitet werden sowie ein Projekt aus dem ökologischen Landbau:

- Entwicklung neuer Biomasse-Genotypen bei Roggen, Raps, Rüben, Sonnenblume & Sorghum sowie deren Einbindung in leistungsfähige Energiefruchtfolgen (Förderkennzeichen: 22012904 ff., Laufzeit: 05/2005 - 05/2008).
- Evaluierung und Züchtung von Feldgras (Welsches und Einjähriges Weidelgras) als pflanzlicher Energierohstoff für die Biogasnutzung (Fkz: 22004205 ff., 11/2006 - 10/2009).
- Erschließung des biosynthetischen Potenzials einheimischer Nutzpflanzen (Biomasse-Mais) als nachwachsende Rohstoffe zur Erzeugung erneuerbarer Energien (Fkz: 22000303 ff., 04/2004 – 08/2007).
- Evaluierung von Winter-Ackerbohne als Zwischenfrucht für die Biogasproduktion im ökologischen Landbau (Fkz: 22014005. 10/2006 – 12/2009).

Bei allen o. g. Projekten soll die Biomasse in Form von Biogas energetisch genutzt werden.

Zu den abgeschlossenen Projekten gehört die züchterische Bearbeitung spätreifender Miscanthus-Formen (Fkz: 22010398, 1999-2003).

Die weiteren zurzeit geförderten Projekte beziehen sich auf Anbausysteme für Energiepflanzen z. B.:

- Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA) (Fkz: 22002305, 03/2005 – 12/2008).
- Energiepflanzen für die Biogasproduktion: Anbau und Nutzung von Energie-Hirse als Alternative für ertragsschwache Standorte in Trockengebieten Deutschlands (Fkz: 22011502, 05/2004 – 05/2007).
- Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen und geeigneten Winterweizensorten für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen (Fkz: 22018205).

Am 12.03.07 hat die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe ein Internetportal zu Energiepflanzen ins Netz gestellt (www.energiepflanzen.info). Über eine Datenbank können alle laufenden Vorhaben eingesehen werden. Die wichtigsten von ihnen sind vom Aufbau über die Forschungsziele bis hin zu den bereits vorliegenden Zwischenergebnissen besonders ausführlich dargestellt. Die Endresultate sollen über Abschlussberichte, Pressemitteilungen oder in anderer Form zugänglich gemacht werden. Zudem werden neue Anbausysteme, wie der Mischfruchtanbau, das Zweikulturnutzungssystem, spezielle Fruchtfolgen oder Agroforstsysteme für den Energiepflanzenanbau auf dem Energiepflanzenportal vorgestellt (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE, 2007).

2.1.2. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

Unter den Forschungsprojekten der FAL wurde am Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft ein Projekt durchgeführt, das die Erhöhung des Biomasseertrages von Kartoffeln durch gentechnische Übertragung und Überexpression des Phytochrom B aus *Arabidopsis* zum Ziel hatte (Laufzeit: 1/2000 – 4/2003). Der Knollenertrag konnte aber nur unter bestimmten Umweltbedingungen (strahlungsarme Umwelt) um 8 % gegenüber den nicht transgenen Pflanzen gesteigert werden. Die beabsichtigte Nutzung der transgenen Kartoffeln stofflich vs. energetisch ist unklar. Dieses Projekt war kein Drittmittelprojekt; es wurde kein Folgeprojekt gefunden.

Ein weiteres laufendes Projekt aus diesem Institut, das vom BMELV gefördert wird, betrifft den Anbau spätreifer Maisformen in Norddeutschland für die Biogasproduktion, die SunFuel Synthese

oder die Festbrennstoffnutzung (FAL-PG-02-13, Laufzeit: 1/2001 – 12/2007).

2.1.3. Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.

Am ZALF werden vier Forschungsvorhaben zum Anbau von Energiepflanzen durchgeführt, von denen drei durch das BMELV gefördert werden und eines durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt*:

- Biotische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus (04/2005 – 10/2008)
- Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus (05/2005 – 10/2008)
- Einfluss von Zusatzbewässerung auf den Biogasertrag von Energiepflanzen in Reinbestand, Mischung und Anbausystemen (08/2005 – 12/2007)

Diese drei Projekte sind Teilprojekte bzw. Satellitenversuche zum Verbundvorhaben „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ (s. FNR, Fkz: 22002305).

- Wege zur naturschutzgerechten Erzeugung von Energiepflanzen für Biogasanlagen (03/2006 - 09/2007)*.

2.1.4. Weitere Institutionen im Geschäftsbereich des BMELV

Da unter den Forschungsseiten der BBA, des BFAFH sowie des BAZ keine Projekte zur Züchtung von Energiepflanzen gefunden werden konnten, wurde direkt über die Internetseite des BMELV eine Suchabfrage gestartet, bei der Forschungsprojekte aus zwei Instituten des BAZ gefunden wurden (Institut für landwirtschaftliche Kulturen, Institut für Pflanzenanalytik). Alle Projekte beziehen sich auf den BMVEL-Forschungsplan 2002 vom 22.04.02, sind aber keine Drittmittelprojekte. In einem Projekt wurde die Eignung transgenen Rapses als nachwachsender Rohstoff geprüft; Ziel war die Erhöhung des Myristinsäuregehalts für die chemische Industrie. Die anderen beiden Projekte betrafen konventionelle Züchtungsansätze:

- Die Eignung von transgenem Raps mit gentechnisch bearbeiteten Qualitätseigenschaften als proteinreiches Tierfutter und nachwachsender Rohstoff (BAZ-ILK-02-3162, 5/2003 – 12/2006)
- Untersuchungen zur energetischen Nutzung von Sorghum (BAZ-ILK-02-3168, 6/2006 – 12/2006)
- Screening von verschiedenen Brassicaceen-Arten aus der Genbank auf Glucosinolatgehalt und –verteilungsmuster (als Ausgangsmaterial für Biodiesel) (BAZ-IPA-02-1261, 4/2007 – 3/2009).

2.2. Geschäftsbereich BMBF

Im Bundesministerium für Bildung und Forschung ist die Forschungsförderung in sieben Förderschwerpunkte gegliedert. Der für diesen Bericht interessante Bereich „Gentechnische Potenziale bei Energiepflanzen“ passt thematisch sowohl in den Förderschwerpunkt „Lebenswissenschaften“ als auch in den Förderschwerpunkt „Umwelt & Nachhaltigkeit“.

Innerhalb des Förderschwerpunktes „Lebenswissenschaften“ umfasst das Rahmenprogramm „Biotechnologie“ u. a. die Bereiche „Genomforschung“ und „nachhaltige Bioproduktion“:

- Die Pflanzengenomforschung wurde von 1999 bis 2007 durch das Forschungsprogramm „Genomanalyse im biologischen System Pflanze – GABI“ gefördert. Im neuen Forschungsplan finden sich die Programme „Kulturpflanzen für die moderne Bio-Industrie“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG, 2006b) und „Pflanzen sind Rohstofflieferanten und Biofabrik der Zukunft“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG, 2006c) wieder.

Im Programm „Kulturpflanzen für die moderne Bio-Industrie“ wird explizit auf das Potenzial der Nutzpflanzen als Quelle für erneuerbare Energien hingewiesen. Auch im Programm „Pflanzen als Rohstofflieferanten und Biofabrik der Zukunft“ sollen innerhalb der Forschungsinitiative GABI-FUTURE (Genomanalyse im biologischen System Pflanze) Projekte zur Entwicklung pflanzenbasierter Systeme zur erneuerbaren Energieerzeugung gefördert werden.

- Im Bereich „nachhaltige Bioproduktion“ gibt es das Programm „Umweltfreundliche biotechnologische Verfahren für die industrielle Produktion“, in dem von 2000-2007 mehr als 20 Projekte gefördert wurden. Das Anschlussprogramm „Bioindustrie 2021“ läuft von 2006-2011 und fördert Anwendungen der weißen Biotechnologie wie z. B. den Einsatz von Mikroorganismen zur Produktion wirtschaftlich interessanter Stoffe oder den Ersatz herkömmlicher chemischer Produktionsprozesse durch den Einsatz von Mikroorganismen oder Enzymen (BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG, 2006a).

Im Förderschwerpunkt „Umwelt & Nachhaltigkeit“ werden im Programm „Forschung für Nachhaltigkeit“ (FoNa, 2004-2009) die nachhaltige Bioproduktion sowie die Forschung zu Strategien für den Schutz und die nachhaltige Nutzung biologischer Ressourcen als Schlüsselinnovationen gesehen. Die geförderten Projekte beziehen sich nicht auf die Agrarproduktion sondern auf die darauf folgende, industrielle Weiterverarbeitung (z. B. umweltfreundliche Ölsaatenverarbeitung).

Am Ende der Projektlaufzeit wurde vom BMBF das Förderprogramm "BioEnergie 2021 - Forschung für die Nutzung von Biomasse" im Rahmenprogramm "Biotechnologie - Chancen nutzen und gestalten" ausgeschrieben (23.01.2008). Ziel ist es, den Anteil von Biomasse an der Energieversorgung zukünftig deutlich zu erhöhen. Hier sollen sowohl Projekte gefördert werden, die die technische Umsetzung verbessern („Bioraffinerie der Zukunft“) als auch pflanzenzüchterische Vorhaben mit dem Ziel, Pflanzendesign und Konversion mit Blick auf die energetische Nutzung zu verbessern ("Energiepflanzen - Pflanze als Energie- und Rohstofflieferant") (BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG, 2008b).

Alle geförderten abgeschlossenen und laufenden Projekte des BMBF können im Förderkatalog des BMBF/BMWi recherchiert werden:

(<http://oas2.ip.kp.dlr.de/foekat/foekat/foekat>).

Recherche-Ergebnisse

Im Förderschwerpunkt „Lebenswissenschaften“ wurden keine Projekte gefördert, bei denen gentechnische Methoden bei der Züchtung von Energiepflanzen eingesetzt wurden (Stand: Februar 2008). Forschungsvorhaben mit **gentechnisch veränderten Pflanzen** wurden im Bereich der Sicherheitsforschung zu den Auswirkungen des Anbaus gentechnisch veränderter Pflanzen, der Nutzung der Pflanzen im Ernährungs- oder Futtermittelbereich sowie im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe durchgeführt, aber hier im Bereich der stofflichen Nutzung. Zu ihnen gehören z. B.:

- Optimierung von Anbauverfahren für gentechnisch veränderte Nutzpflanzen – zur Produktion von Pflanzenmaterial mit einheitlichen Inhaltsstoffen – unter Vermeidung von messbarem Pollenflug (Förderkennzeichen: 03WKS02, 04/2005 - 03/2008).
- Im Kohlehydratmetabolismus veränderte Kartoffeln (Fkz: 0312632C, 03/2001 – 07/2004).
- Gezielte Erhöhung des Protein-Stärkeverhältnisses und Verlängerung der Samenfülldauer in Futtererbse durch gentechnische Mittel (Fkz: 0310609TIB, 05/2002 – 04/2004).

Im Bereich **Energiepflanzen** wurde ein Verbundprojekt gefördert, bei dem konventionelle Züchtungsmethoden angewandt wurden:

- Züchtung von Industrieroggen zur Bioethanolgewinnung (Fkz: 0310639, 09/2004 – 07/2006).

Im Förderschwerpunkt **Grundlagenforschung** sowie der Nutzung nicht-gentechnischer Methoden wurden u. a. folgende Projekte gefördert:

- GABI-Energy: Biomasseproduktion bei Mais: Genomik-basierte und systemorientierte Pflanzenzüchtung auf Energiemais (Fkz: 0315045 A-E, 07/2007 – 06/2010).
- Kartierung ertragsrelevanter Gene aus Wildformen bei Weizen (AB-QTL Analyse in WEIZEN, - 07/2006).
- Identifizierung von Samenqualität determinierenden Faktoren bei Zuckerrüben (SUGAR BEET SEED, 08/2004 – 07/2007)
- Entwicklung kältetoleranter Mais-Linien (GABI-COOL 2, 04/2004 – 03/2007)

Im Bereich „nachhaltige Bioproduktion“ wurde ein Projekt gefunden, in dem möglichst effizient und umweltschonend elektrischer Strom aus Biomasse (Stroh, Holz) gewonnen werden soll. Ziel des Projektes ist der Aufbau und Betrieb einer Pilotanlage (FORSCHUNG FÜR NACHHALTIGKEIT, 2007).

2.3. Geschäftsbereich BMU

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit fördert im Rahmen des Energieforschungsprogramms der Bundesregierung Forschung und Entwicklung im Bereich erneuerbarer Energien. Gefördert werden nur Vorhaben aus den Bereichen Fotovoltaik, Niedertemperatur Solarthermie, solarthermische Kraftwerke, Windkraft, Geothermie, Wasserkraft und Meeresenergie sowie Querschnittsaktivitäten. Die Zuständigkeit für die FuE-Förderung im Bereich Biomasse liegt beim BMELV (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2005).

Nichtsdestotrotz werden einzelne Projekte zum Thema Biomasse vom BMU gefördert, diese beziehen sich aber nicht auf gentechnische Züchtungsansätze:

- Biomasseatlas: Entwicklung eines interaktiven Online-Portals (Fkz: 03MAP068, 11/2006 – 04/2007).
- Beratung und Unterstützung bei der Intensivierung der energetischen Nutzung von Biomasse (Fkz: 03MAP026, 06/2006 – 10/2008).
- 15. Europäische Biomassekonferenz und Ausstellung 7.-11. Mai 2007 in Berlin (03/2006 – 07/2007).

2.4. Forschungsförderung zu Energiepflanzen in der EU

Im 6. Forschungsrahmenprogramm der EU wurden die wissenschaftlichen und technologischen Ziele sowie die Grundzüge der Maßnahmen und Forschungsprioritäten für den Zeitraum 2002 bis 2006 festgelegt. Unter den sieben festgelegten thematischen Prioritäten war das Forschungsfeld „Biowissenschaften, Genomik und Biotechnologie“ auf den Bereich „Gesundheit“ beschränkt. In der thematischen Priorität „Nachhaltige Entwicklung, globale Veränderung und Ökosysteme“ gab es das Programm „Nachhaltige Energiesysteme“, in dem das Thema „Erneuerbare Energieträger mit Fokus auf Fotovoltaik und Biomassenutzung“ ausgeschrieben war (EUROPEAN UNION, 2002). So wurden in diesem Förderschwerpunkt zwar Projekte zur Nutzung pflanzlicher Biomasse zur Energiegewinnung gefunden, es wurden dabei aber keine gentechnischen Methoden bei Pflanzen angewandt.

Hauptforschungsinteresse lag hier auf der Nutzbarmachung von Zellulose-haltiger Biomasse, der effizienteren Nutzung von Biomasse sowie alternativen Energiepflanzen:

- PROBIO: Production of biogas and fertilisers out of wood and straw (Ref.: 508174, Laufzeit: 08/2004 – 07/2006).
- CROPGEN: Renewable energy from crops and agrowaste (EU database on bioenergy crops) (Ref.: 502824, 03/2004 – 02/2007).
- NILE: New Improvements for ligno-cellulosic ethanol (Ref.: 19882, 10/2005 – 09/2009).
- NOE-BIOENERGY: Overcoming barriers to bioenergy (Ref.: 502788, 01/2004 – 12/2008).
- EPOBIO: Realizing the economic potential of renewable resources – bioproducts from non-food crops (Teilprojekt: Optimisation of hydrolases for cell wall degradation).
- BIOPROS: Solutions for the safe application of waste water and sludge for high efficient biomass production in short-rotation plantations (Ref.: 12429, 07/2005 – 07/2008).
- BIOCARD: Global process to improve *Cynara cardunculus* exploitation for energy applications (Ref.: 19829, 09/2005 – 11/2008).

Die geförderten Projekte wurden über den Forschungs- & Entwicklungsinformationsdienst der Gemeinschaft (Cordis) abgerufen (www.cordis.europa.eu).

Auch im 7. Forschungsrahmenprogramm der EU (2007 – 2013) wird die energetische Nutzung von Biomasse gefördert werden, hier auch innerhalb des Forschungsfeldes „Food, Agriculture and Fisheries, and Biotechnology“. Ein Forschungsschwerpunkt innerhalb dieses Feldes ist „Activity 2.3: Life science biotechnology and biochemistry for sustainable non-food products and processes“ für den am 22.12.2006 folgende Aufrufe („calls“) veröffentlicht wurden (EUROPEAN UNION, 2006):

- PLANT CELL WALLS – Understanding plant cell walls for optimising biomass potential (KBBE-2007-3-1-01).
- ENERGY PLANTS – Novel plants for energy production (KBBE-2007-3-1-02).
- LIGNOCELLULOSIC ENZYMES – Development of cellulases for lignocellulosic biomass pre-treatment (KBBE-2007-3-2-01).

Am 30.11.2007 wurden weitere Projekte innerhalb dieses Forschungsschwerpunktes der EU ausgeschrieben (EUROPEAN UNION, 2007):

- SWEET SORGHUM – An alternative energy crop for biofuel production in semi-arid and temperate regions – SICA (Latin America, South Africa, India).

In keiner dieser Ausschreibungen liegt der Schwerpunkt auf neuen, gentechnischen Züchtungsansätzen bei Pflanzen.

2.5. Zusammenfassung Modul 1

In den vergangenen Jahren (2000-2007) wurden durch die öffentliche Forschungsförderung nur wenige Projekte gefördert, bei denen gentechnische Methoden zur Energiepflanzenzüchtung zum Einsatz kamen. Hauptsächlich wurden gentechnische Verfahren bei der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe herangezogen (z. B. veränderte Stärke- oder Fettsäurezusammensetzung für die chemische Industrie). Auch in der Literatur finden sich erst wenige gentechnische Ansätze bei Modellpflanzen, die Biomasseproduktion zu steigern. Diese werden in Kapitel 4.8. beschrieben.

Auf EU-Ebene werden vor allem Projekte zur energetischen Nutzung lignozellulosehaltiger Biomasse gefördert. Dazu zählen neben Rest- und Abfallstoffen insbesondere schnellwachsende Gehölze. Gezielte Züchtungsansätze zur energetischen Nutzung schnellwachsender Gehölze werden aber weder in Deutschland noch in der EU gefördert (s. auch 4.7).

3. Umfragen bei Unternehmen und Forschungseinrichtungen (Modul 2)

Im letzten Kapitel wurde erhoben, welche Forschungsprojekte zur Züchtung und zum Anbau von Energiepflanzen durch die öffentliche Hand gefördert werden und inwiefern hierbei gentechnische Methoden zum Tragen kommen. Die Mittel fließen sowohl an öffentliche Forschungseinrichtungen als auch an den privaten Sektor. Zum Stand und den Perspektiven der Gentechnik bei Pflanzen der 2. und 3. Generation, d. h. von gv-Pflanzen kurz vor der Zulassung bzw. in der Frühphase von Forschung und Entwicklung, lag zum Zeitpunkt des Abschlusses von Modul 1 eine Studie vom Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag zu den sog. „*output-traits*“ insgesamt, d. h. zu veränderten Inhaltsstoffen für Lebens- und Futtermittel, industrielle Rohstoffe für Energie und andere Verwendungen inklusive Pharmaprodukte, vor (BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG, 2006). Über die in Modul 1 dieses F+E-Vorhabens gewonnenen Erkenntnisse (durch Auswertung öffentlich geförderter Forschungsprojekte, Literatur- und Internetquellen sowie Homepages international führender Firmen der Gentechnik) und über den Stand des TAB-Berichtes hinaus, sollte durch eine Befragung von Züchtungsunternehmen und öffentlichen Forschungseinrichtungen untersucht werden, inwiefern Chancen und Potenziale der Gentechnik speziell bei der Züchtung von Energiepflanzen gesehen werden und inwiefern hier *eigenfinanzierte* Projekte durchgeführt werden.

Ein Problem derartiger Umfragen, das bereits im Zusammenhang mit der TAB-Studie auftrat, liegt darin, dass private Firmen vor einem Konflikt stehen: einerseits möchten sie geheim halten, in welche Entwicklungslinien sie investieren, andererseits möchten sie glaubhaft dokumentieren, dass sie dieses Segment für Erfolg versprechend halten, weil dies für die öffentliche Debatte und die öffentliche Forschungsförderung von Vorteil sein könnte. Vor diesem Hintergrund wurde die Umfrage mittels eines anonymisierten Fragebogens durchgeführt, um eine möglichst hohe Erfassung zu erzielen. Ein Problem liegt darin, dass auf diese Weise keine Aussage darüber getroffen werden kann, ob die wichtigen privatwirtschaftlichen Akteure geantwortet haben. Um diesen Nebeneffekt für die Aussagekraft der Ergebnisse in Grenzen zu halten, wurden zusätzlich die Homepages international führender Großunternehmen auf Projekte des Einsatzes der Gentechnik für Energiepflanzen gesichtet und Aussagen von Firmenvertretern auf Fachtagungen erfasst. Es bleibt dennoch eine prinzipielle Dunkelziffer unbestimmter Größe von Vorhaben, über die die Firmen keine

Auskunft geben wollen.

Für die Umfrage wurde ein Fragebogen (Anhang 1 und 2) entworfen, der zusammen mit einem Begleitschreiben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit an insgesamt 81 Einrichtungen geschickt wurde. Unter den 81 Einrichtungen waren 51 Firmen, Ausgründungen und Vereine (private Einrichtungen) und 30 Institute von Universitäten und öffentlichen Forschungseinrichtungen (öffentliche Einrichtungen).

Diese Liste der befragten Institutionen wurde zusammengestellt aus den Mitgliedern der Abteilung Biotechnologie und Gentechnik des Bundes Deutscher Pflanzenzüchter (BDP), den geförderten Institutionen im Genomforschungsprojekt GABI (www.gabi.de), den Antragstellern von Freisetzungsversuchen in Deutschland und persönlichen Empfehlungen aus dem Biozentrum Klein-Flottbek der Universität Hamburg (Stand 09.03.07).

Geantwortet haben 18 private Einrichtungen sowie 14 öffentliche Einrichtungen. Davon betreiben sechs private und fünf öffentliche Einrichtungen keine Forschung auf dem Gebiet „Energiepflanzen“. Der Rücklauf erhöhte sich trotz Nachfrage etwa einen Monat nach Versand des Fragebogens nur geringfügig. Die Rücklaufquote liegt im Rahmen der Erwartungen für derartige Befragungen, auch wenn man sich höhere Raten wünschte.

Mit dem Fragebogen wurden Definitionen zu Biotechnologie und Gentechnik vorgegeben, um Missverständnisse im Vorfeld auszuschließen:

Biotechnologische Verfahren in der Pflanzenzüchtung:

Unter biotechnologischen Verfahren in der Pflanzenzüchtung verstehen wir Methoden zur Neukombination und Selektion von Genomen wie z. B. Zell- und Gewebekultur oder markergestützte Selektion.

Gentechnik:

Die Gentechnik ist ein Teilgebiet der Biotechnologie. Mit ihrer Hilfe wird gezielt in das Erbgut und in die biochemischen Steuerungsvorgänge von Lebewesen bzw. viraler Genome eingegriffen. Die Gentechnik wendet Methoden zur Isolierung von Genen und zur Herstellung neukombinierter DNA, auch über Art-Grenzen hinweg, an.

3.1. Ergebnisse

Abb. 2 zeigt die Kulturen die züchterisch für die Nutzung als Energiepflanzen bearbeitet werden. Dabei wurden die Kulturen nach der Häufigkeit ihrer Nennung aufgelistet. Hierbei wird noch keine Unterscheidung zwischen konventionellen, biotechnologischen und gentechnischen Züchtungsmethoden vorgenommen. Wie bei allen weiteren Auswertungen ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Einrichtungen geantwortet haben, aber auch Mehrfachnennungen möglich waren.

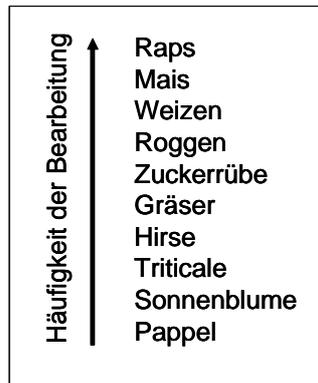


Abb. 2: Kulturen, die züchterisch für die Nutzung als Energiepflanzen bearbeitet werden (ohne Aufschlüsselung nach Züchtungsmethoden)

Die Einrichtungen, die geantwortet haben, bearbeiten mit Hilfe gentechnischer Methoden Mais, Raps, Getreide sowie die Zuckerrübe, d. h. schwerpunktmäßig Kulturen, die bereits heute als Nahrungs- und Futtermittel angebaut werden. Dabei wird unterschieden, ob das Züchtungsziel der Ertragssteigerung oder der Ertragssicherung dient (Abb. 3). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die meisten Züchtungsziele, im Besonderen zur Ertragssicherung, von allgemeinem Interesse für Züchter und Landwirte sind und bei Nahrungs- und Futtermittelpflanzen ebenso wie bei der Züchtung von Energiepflanzen angestrebt werden. Indirekt führt auch eine Ertragssicherung zu einer durchschnittlichen Ertragssteigerung. Bei Raps fällt zum einen die Vielfalt von Zuchtzielen zur Änderung von Inhaltsstoffen auf, von denen aber nur einige mit Hilfe der Gentechnik erreichbar sind. Zum anderen werden auch abiotische Stresstoleranzen (Trockenheit und Kühle), die in der Diskussion um Anpassung an den Klimawandel und die Welternährung eine große Rolle spielen, als Zuchtziele aufgeführt.

	Mais	Raps	Zuckerrübe
Ertragssteigerung		<ul style="list-style-type: none"> - Kornertrag (2) - Erhöhung Ölgehalt (2) - Verringerung Proteingehalt (1) - Fettsäuremodifikation (1) - Fettsäure-Qualität (1) - Sinapin-Reduktion (1) 	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhung Zuckergehalt (1)
Ertragssicherung	<ul style="list-style-type: none"> - Insektenresistenz (3) - Herbizidresistenz (2) 	<ul style="list-style-type: none"> - Trockentoleranz (1) - Kühletoleranz (1) - Insektenresistenz (1) - Herbizidresistenz (1) 	<ul style="list-style-type: none"> - Herbizidresistenz (1) - Virusresistenz (1) - Pilzresistenz (1)

Abb. 3: Züchtungsziele, die mittels gentechnischer Methoden verfolgt werden; () Anzahl der Nennungen

Durch zwei weitere Fragen sollte ermittelt werden, warum gentechnische Verfahren angewendet bzw. nicht angewendet werden. Abb. 4 zeigt die Antworten der Einrichtungen in Klassen eingeteilt und nach der Häufigkeit der Nennung aufgelistet. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass von einer Einrichtung mehrere Antworten in die Auswertung einfließen können (Mehrfachnennungen).

Anwendung Gentechnik	Nichtanwendung Gentechnik
<p>Häufigkeit der Nennung (n = 29)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ziel nur mit Gentechnik erreichbar - kostengünstigere und schnellere Methode - gezielter Eingriff - Vorteile für Umwelt und Gesundheit - Erweiterung der konventionellen Züchtung - sonstige 	<p>Häufigkeit der Nennung (n = 36)</p> <ul style="list-style-type: none"> - politische/rechtliche Rahmenbedingungen - konventionelle Züchtung ausreichend, teilw. besser - hohe Kosten und hoher Aufwand - Gentechnik (noch) nicht möglich - mangelnde Verbraucherakzeptanz - sonstige

Abb. 4: Warum Gentechnik angewendet bzw. nicht angewendet wird

Zu bedenken ist, dass restriktive politische und rechtliche Rahmenbedingungen durchaus in mangelnder Verbraucherakzeptanz begründet sein können, eine Unabhängigkeit dieser beiden genannten Einflussfaktoren ist eher unwahrscheinlich.

Zum Teil wurden Antworten gegeben, die sowohl bei der Befürwortung als auch bei der Ablehnung von gentechnischen Methoden in der Pflanzenzüchtung zu finden sind. Diese Antworten werden in Abb. 5 gegenübergestellt, um die unterschiedliche Einschätzung zum Potenzial der Gentechnik anhand der Anzahl der Nennungen aufzuzeigen. Diese konträren Antworten spiegeln zwar auch unterschiedliche Einschätzungen wider, sie sind aber zu einem erheblichen Anteil auch ein Resultat der Komplexität, in der sich widersprüchliche Einzelfälle nicht zu Gesamturteilen aufaddieren und verallgemeinern lassen: Prinzipiell erweitert die Gentechnik den Instrumentenkasten der Züchtung, im Einzelfall kann aber die konventionelle Züchtung ausreichend und besser sein. Dementsprechend ist die Gentechnik mal kostengünstiger und schneller, mal kostenträchtiger und aufwändiger. Das am häufigsten genannte Argument für die Anwendung ist, dass das Ziel nur mit Hilfe der Gentechnik erreichbar ist. Hier wird zum einen ein Alleinstellungsmerkmal angesprochen (ohne Gentechnik nicht erreichbar; damit weder in der technischen Machbarkeit noch in der ökonomischen Vorzüglichkeit in Konkurrenz zu anderen Züchtungsverfahren stehend), zum anderen erfordern diese Ziele umfassendere gentechnische Eingriffe, die technisch noch nicht möglich sind.

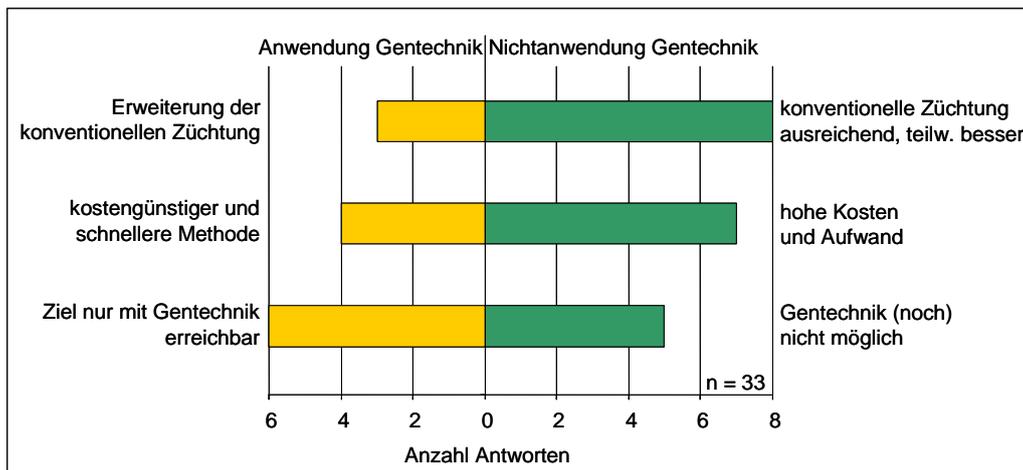


Abb. 5: Gegenläufige Antworten zu den Gründen für die Anwendung bzw. die Nichtanwendung gentechnischer Methoden in der Pflanzenzüchtung

Durch eine abschließende Frage zu möglichen Änderungen durch den Anbau von Energiepflanzen im Gegensatz zu Nahrungs- und Futtermittelpflanzen in Hinblick auf landwirtschaftliche Anbausysteme und die natürliche Umwelt sollte ein allgemeines Meinungsbild der befragten Institutionen zum Energiepflanzenanbau eingeholt werden. Dabei werden allgemein recht ausgewogen positive wie auch negative ökologische Auswirkungen, eine höhere Biodiversität, zu gleichen Teilen eine Verengung bzw. Erweiterung der Fruchtfolge, eine intensivere Landwirtschaft sowie ein erhöhter Wasserbedarf gesehen (Abb. 6).

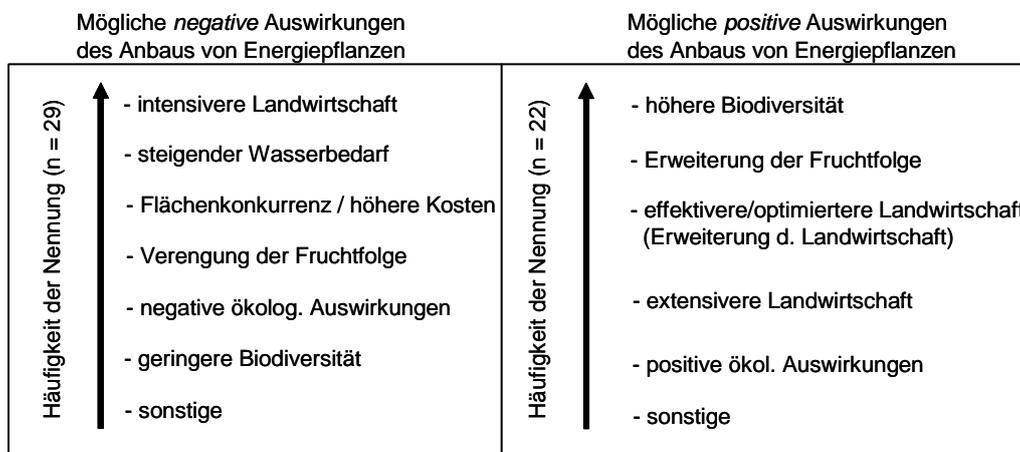


Abb. 6: Erwartete Auswirkungen auf landwirtschaftliche Anbausysteme und die natürliche Umwelt

3.2. Zusammenfassung Modul 2

Die Optimierung von Pflanzen als Energieträger wird in Zukunft eine wichtige Rolle in der Pflanzenzüchtung einnehmen. Biotechnologische und teilweise gentechnische Verfahren finden hierbei als Erweiterung der konventionellen Züchtung Anwendung. Biotechnologische Verfahren werden bereits umfassend eingesetzt. Gentechnische Verfahren werden, sofern sie als Option für die Entwicklung von Energiepflanzen angesehen werden, zurzeit (noch) überwiegend mit dem Ziel der Ertragssicherung durch Resistenzen und Toleranzen und nur selten zur direkten Ertragssteigerung und Veränderung der wertgebenden Inhaltsstoffe genutzt. Technische und ökonomische Faktoren

werden von den Entwicklern als teils fördernd, teils hemmend eingeschätzt, der politisch-rechtliche Rahmen und die Verbraucherakzeptanz als hemmend. Für die Umwelt und die Gesundheit werden teils positive, teils negative Effekte von gentechnisch veränderten Pflanzen erwartet. Die Befragung erfolgte vor der Novellierung des deutschen Gentechnikgesetzes.

Die Ergebnisse decken sich weitgehend mit Aussagen aus dem BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG (2006), mit Aussagen von Züchtungsvertretern auf „Energiepflanzentagungen“ (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2007b; BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2007a; INSTITUT FÜR ENERGETIK, 2007; LEIBNITZ-INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK, 2007) sowie mit den Angaben, die aus den Homepages wichtiger Akteure zu entnehmen sind.

4. Züchtungsziele bei Energiepflanzen

Im Gegensatz zur Nahrungsmittelproduktion sind die Ansprüche an die Qualität der Fruchterträge bei Pflanzen zur energetischen Nutzung nicht so hoch. Entscheidend für den Energiepflanzenbau ist der Energieertrag pro Hektar durch möglichst hohe Biomasseerträge. Auch sind die Aspekte der optimalen Nutzbarkeit (Anbau, Ernte, Transport, Lagerung) sowie der stofflichen Eignung der Biomasse zur Umwandlung in den zur Verfügung stehenden technischen Anlagen vordergründig. Bei der züchterischen Entwicklung von Energiepflanzen werden Methoden und Techniken genutzt, die standardmäßig bei der Weiterentwicklung von Kulturpflanzen im Nahrungs- und Futtermittelbereich Anwendung finden, wie z. B. der konventionellen Züchtung neuer Sorten, der Prüfung alter Sorten auf ihre Eignung im Energiepflanzenbau sowie der Anbau nicht heimischer Kulturpflanzenarten (RODE et al., 2005).

Die Züchtung von Energiepflanzen ist in Deutschland z. Z. überwiegend auf die Kulturen Raps und Mais ausgerichtet. Dies liegt vor allem an den bisherigen, vorrangigen Verwendungszwecken: Raps für Rapsmethylester (Biodiesel) und Mais für Biogasanlagen.

Die Züchtungsziele sind dabei verschieden: Bei der Herstellung von Biodiesel werden hochöhlhaltige Rapssamen verwendet, bei der Biogasherstellung wird die gesamte Maispflanze genutzt, ähnlich wie beim Silomais. Dementsprechend sind die Steigerung des Ölgehaltes bei Raps sowie eine Erhöhung der Gesamttrockenmasse bzw. des Methanertrages bei Mais Hauptzüchtungsziele (s. Tab. 1) Diese wurden bisher hauptsächlich mit konventionellen Züchtungsmethoden verfolgt, wobei auch biotechnologische Verfahren, wie die markergestützte Selektion, Verwendung finden.

Mittels gentechnischer Verfahren wurden bisher lediglich einzelne, agronomisch interessante Merkmale verändert, wie die Herbizid- und Insektenresistenz. Diese werden auch bei der Energiepflanzenzüchtung als ein Züchtungsziel genannt, da sie, vergleichbar mit dem Nahrungs- und Futtermittelanbau, der Ertragssicherung dienen.

Ein weiteres Züchtungsziel bei der Energiepflanzennutzung ist es, die Kosten der Kultivierung zu senken. Diese entstehen neben der Schädlingsbekämpfung vor allem bei der Stickstoffdüngung der Pflanzen. Ziel ist die Entwicklung von so genannten „low-input“ Sorten, die mit weniger Stickstoffdünger hohe Erträge liefern.

Daneben gewinnen aber auch Resistenzen gegenüber abiotischem Stress (Trockentoleranz, Kühltoleranz) an Bedeutung. Auch hier könnten in Zukunft gentechnische Methoden zum Einsatz kommen. Da diese Zuchtziele aber nicht spezifisch für den Energiepflanzenanbau und deren Nutzung sind, werden sie aus der Untersuchung ausgeklammert.

Bioethanol wird in Deutschland, im Vergleich zu den USA und Brasilien, noch wenig genutzt. Dies

spiegelt sich auch in den geringen Züchtungsanstrengungen wider. Hauptenergiepflanzen für die Bioethanolgewinnung in Deutschland sind Getreide (z. B. Roggen, s. 4.3.1.).

In Brasilien wird vor allem Zuckerrohr zur Bioethanolherstellung genutzt, in den USA Körnermais. Die Züchtung bei Zuckerrohr macht sich verstärkt die Ergebnisse der Genomanalysen zu Nutze (s. 4.9.) Dabei werden in Zukunft auch vermehrt gentechnische Methoden angewandt werden, um identifizierte, wünschenswerte Eigenschaften in die Pflanzen zu bringen.

Bioethanol könnte an Bedeutung gewinnen, wenn es gelänge, nicht nur Zucker und Stärke als Ausgangsstoffe zu nutzen, sondern auch Lignozellulose. In diesem Zusammenhang wird nicht nur über die Nutzung von Rest- und Abfallstoffen zur Bioethanolgewinnung nachgedacht, sondern auch über die Verwendung gentechnischer Methoden zur Verbesserung der Kosteneffizienz des Lignozelluloseabbaus: So könnten spezifische Enzyme entweder direkt in die Kulturpflanzen eingeführt werden oder in die Mikroorganismen, die beim Fermentationsprozess eingesetzt werden.

Tab. 1: Züchtungsziele bei Energiepflanzen in Abhängigkeit vom Verwendungszweck

Produkt	Energieträger	Pflanzenart	Züchtungsziel
Biodiesel (Raps- methylester, RME)	Öl	v. a. Raps, Öllein, Sonnenblumen	Ölertrag (Erhöhung des Ölgehaltes), Steigerung des Ölsäurege- haltes, Verringerung des Proteingehaltes im Samen
Bioethanol	Stärke/Zucker <i>In Zukunft:</i> Zellulose	Getreide (Weizen, Triticale , Roggen), Körnermais, Zuckerrüben, Kartoffeln, Zuckerhirse <i>In Zukunft:</i> ganze Pflanzen, Bäume	Ertrag (hohe Stärke- oder Zuckergehalte, geringer Rohproteingehalt) <i>In Zukunft:</i> Zellulose-Verzuckerung (Expression von Zellulasen) geringer Lignin-Gehalt
Biogas (Biomethan)	Ganzpflanze	Mais, Getreide (v. a. Roggen), Futtermasse, Zuckerhirse, Sudangras, Miscanthus	Ertrag (optimale Gesamttrocken- masse, hohe Methanausbeu- te)
Biomass-to- Liquid (BtL)	Ganzpflanze	Energiepflanzen (Miscanthus, Pappeln, Weiden, Triticale), Reststoffe	Ertrag (Gesamtbiomasse)

Quelle: eigene Zusammenstellung, (Stirn, S., Schorling, M., Beusmann, V.), s. Text 4.1 – 4.7

Im Folgenden wird näher auf die Züchtungsziele bei Energiepflanzen eingegangen, die dazu dienen, diese effizienter als Energielieferanten nutzen zu können. Hierbei wurde das Augenmerk auf landwirtschaftliche Kulturpflanzen sowie forstwirtschaftliche Kulturen gelegt.

Weiterhin soll auf mögliche Änderungen in Hinblick auf die landwirtschaftlichen Anbausysteme

sowie die Ansprüche an und Auswirkungen auf die natürliche Umwelt beim Anbau von Energiepflanzen (Kapitel 5.) eingegangen werden.

4.1. Raps (*Brassica napus*)

Wie einleitend beschrieben, steht in Deutschland der Rapsanbau an erster Stelle der Energie- und Industriepflanzen und wird auch in den nächsten Jahren an dieser Position bleiben.

Es gibt bisher keine speziellen Züchtungsziele für die Nutzung von Raps als Energiepflanze, da sich die Züchtung ertragreicher, hochölkaltiger Rapslinien für die energetische Nutzung nicht grundsätzlich von der Züchtung für die stoffliche Nutzung im industriellen Bereich (z. B. für die Herstellung von Schmierstoffen) unterscheidet (FRAUEN, 2006). In beiden Fällen ist ein hoher Gehalt der einfach ungesättigten Fettsäure Ölsäure (C 18:1) wünschenswert. Ölsäure ist im Gegensatz zu den mehrfach ungesättigten Fettsäuren (wie z.B. Linolensäure, C 18:3) relativ stabil gegenüber dem oxidativen Abbau. Diese Eigenschaft ist bei der Biodieselherstellung erwünscht, da die bei der Extraktion entstehenden freien Fettsäuren nicht mit Methanol zu Fettsäuremethylestern (Biodiesel) reagieren und die Biodieselausbeute dadurch um bis zu 5 % reduziert werden kann (EPOBIO, 2006).

Für die Verwendung des Rapsöls als Nahrungsmittel werden Sorten ohne Erucasäure gezüchtet. Als nachwachsender Rohstoff für die stoffliche Verwertung ist dagegen ein möglichst hoher Anteil an Erucasäure gefragt, da diese ein wichtiger Grundstoff bei der Herstellung von Waschmitteln ist. Durch unterschiedliche Züchtungsmethoden kann das Fettsäuremuster an die Erfordernisse der Industrie angepasst werden (ANONYMUS, 2006).

4.1.1. Gentechnische Ansätze

Mittels gentechnischer Methoden wurde bisher der Gehalt an bestimmten Fettsäuren im Samen erhöht (z. B. Laurinsäure oder Ölsäure). Hier steht allerdings die jeweilige stoffliche Nutzung im Vordergrund (ANONYMUS, 2006).

Eine im Mai 2007 erschienene Publikation berichtet erstmals über eine Erhöhung des Gesamtölgeltes von Rapsamen mit der Möglichkeit einer energetischen Nutzung. Der Ölgehalt im Samen konnte durch die Übertragung eines Enzyms aus der Hefe um bis zu 40 % gesteigert werden. Das Enzym Glycerol-3-phosphat-dehydrogenase unter Kontrolle eines samen-spezifischen Promotors führte zu einem Anstieg an Glycerol-3-Phosphat, welches ein limitierender Faktor bei der Ölakkumulation im Samen zu sein scheint (VIGEOLAS et al., 2007).

4.2. Mais (*Zea mays*)

Die Hauptzüchtungsbestrebungen bei Mais liegen in der Verbesserung seiner Nutzung für Biogasanlagen.

Für Mais liegt im Gegensatz zu anderen, für die Energieproduktion interessanten Pflanzen sehr viel verschiedenes Zuchtmaterial vor. Für neue Züchtungsziele können Komponenten daraus je nach Bedarf neu kombiniert werden (SCHMIDT, 2005; SCHMIDT und LANDBECK, 2005).

Das Hauptziel des Energiepflanzenbaues besteht in der Maximierung der Trockenmassenerträge pro Hektar und Jahr bei gleichzeitiger Optimierung der Energiebilanz (Low Input - High Output). Dies begründet eine neue Ausrichtung im Anbau und der Entwicklung von Nutzpflanzen. (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2006). Entsprechende Züchtungsprogramme sind in der Umsetzungsphase (RODE et al., 2005; KESTEN, 2003). Bislang gibt es „die“ Energiemaissorte noch

nicht. Allerdings sind laut „DMK - Sortenspiegel - Sorten-Basisinfos“ z. Z. verschiedene Maissorten im Programm, die neben ertragsstarken Silomaisarten als sog. Energiemais für die Verwertung in Biogasanlagen beschrieben sind (z. B. Kermess, KWS 1393, Mikado, Vitalina).

Trockenmasseerträge sind genauso wie Fruchterträge polygenetische Eigenschaften, d. h. sie sind von mehreren genetischen Faktoren abhängig und bisher nicht durch die Veränderung eines einzelnen Gens gezielt zu beeinflussen. Konventionelle Züchtungsmethoden sind deshalb gegenüber gentechnischen Veränderungen im Vorteil (RODE et al., 2005), wobei aber immer häufiger biotechnologische Verfahren wie z. B. die „markergestützte Selektion“ herangezogen werden. Dies spiegelt sich auch in den Umfrageergebnissen wider (Abb. 4 und Abb. 5) Durch neue züchterische Ansätze soll die Gesamttrockenmasseleistung des Maises von heute 150 bis 180 dt/ha auf 300 dt/ha angehoben werden, was bei einer gleichzeitigen Verbesserung der Methanausbeute einer Steigerung von heute 5 000 m³ auf 10 000 m³ Methan/ha entspricht.

Beim Energiemaisanbau ist zwar der Trockenmasseertrag nach wie vor das ausschlaggebende Kriterium bei der Sortenwahl, es muss aber auch in ungünstigen Jahren eine sichere Abreife gewährleistet sein. Die Sorten sollten neben hohem Ertrag und sicherer Abreife auch eine verhaltene Abreife, so genannte „stay green-Typen“, aufweisen, da mit dem Abreifeprozess eine verstärkte Verholzung der Restpflanze einhergeht (NACHWACHSENDE-ROHSTOFFE.INFO, 2007). Die Zusammensetzung des Gärsubstrates und insbesondere der Ligningehalt haben einen Einfluss auf die Abbaubarkeit des Substrates in der Biogasanlage und somit auf den Methanertrag. Je höher der Gehalt an Lignin ist, desto geringer ist der Methanertrag, da Lignin unter anaeroben Bedingungen kaum abgebaut wird (HOPFNER-SIXT et al., 2006).

Folgende Ansätze werden verfolgt (SCHMIDT, 2006; SCHMIDT, 2005; SCHMIDT und LANDBECK, 2005):

1) Verlängerung der vegetativen Wachstumsphase

Anhand von Abb. 7 wird deutlich, dass das Biomasse- und damit das Energie-leistungspotenzial des Maises durch die Verlängerung der vegetativen Entwicklungsphase gesteigert werden kann. Dargestellt sind die Wachstumskurven einer Silomaisart (SM) und einer Energiemaisart (EM).

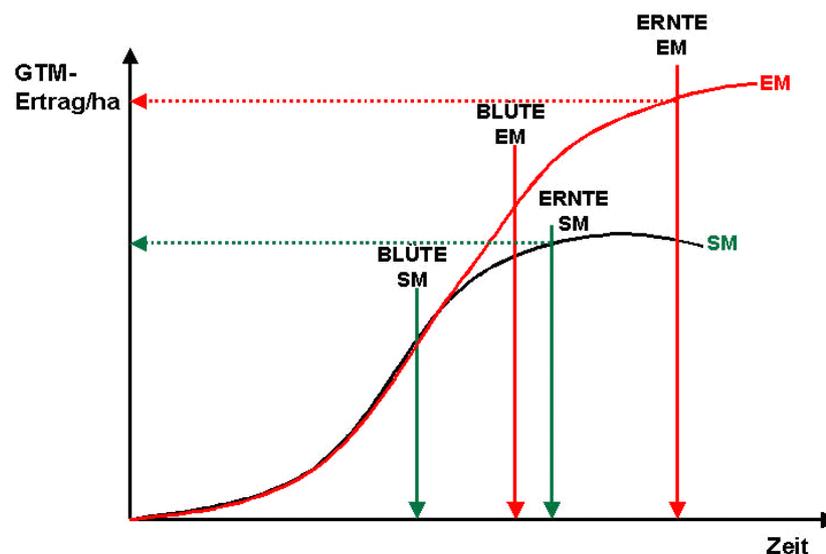


Abb. 7: Gesamttrockenmassebildung (GTM-Ertrag) bei einer Silomais- (SM) und bei einer Energiemaisart (EM)

Quelle: (SCHMIDT, 2006)

Bis zur Blüte der Silomaisorte haben die beiden Wachstumskurven einen identischen Verlauf. Die vegetative Gesamttrockenmasse beider Sorten steigt exponentiell an. Nach der Blüte der Silomaisorte laufen die beiden Wachstumskurven auseinander. Die Kurve der Silomaisorte steigt zunächst nur noch linear an und flacht dann sehr schnell ab, während die Wachstumskurve der Energiemaisorte durch den späteren Eintritt in die generative Phase weiter einen exponentiellen Anstieg zeigt. Dieser weitere exponentielle Anstieg ist darin begründet, dass die Energiemaisorte ihre gesamte Assimilationsleistung weiter in zusätzliche vegetative Blattmasse investiert, während die Silomaisorte ihre weitere Assimilationsleistung in die Kolbenbildung investiert. Die zusätzlich gebildeten Blätter tragen bei der Energiemaisorte ihrerseits weiter zur Assimilationsleistung bei. Die Überlegenheit der Energiemaisorte ist umso größer, je später die Ernte durchgeführt wird. Mit der Verlängerung der exponentiellen Wachstumsphase der Pflanzen durch eine Verschiebung der Blüte, lassen sich nicht nur bei Mais, sondern auch bei anderen Kulturarten enorme Biomasse- oder Trockenmassezuwächse erzielen. Um den Zeitpunkt der Blüte zu verschieben, werden Sorten herangezogen, die in Südfrankreich, Ungarn oder Italien angebaut werden. (SCHMIDT, 2006; SCHMIDT, 2005; SCHMIDT und LANDBECK, 2005).

2) Züchterische Kombination von Spätreife und Kältetoleranz

Der Nachteil einer wie oben beschriebenen, spätreifen Sorte besteht darin, dass sie nicht an ein kühles Klima adaptiert ist und somit keine ausreichend gute Jugendentwicklung bei Kälte besitzt. Um beide Eigenschaften (Spätreife und Kältetoleranz) zusammenzuführen, wird das Zuchtmaterial vorab auf Kältetoleranz selektiert. Um diese Selektion zu beschleunigen, bedient man sich der Dihaploidentechnik, einer Zellkulturtechnik, bei der haploide Zellen, wie z. B. Mikrosporen- oder Antherenkulturen genutzt werden, um nach Aufdoppelung des Chromosomensatzes homozygote Ausgangslinien zu erhalten (SCHMIDT, 2006; SCHMIDT, 2005; SCHMIDT und LANDBECK, 2005).

3) Integration von Kurztagsgenen aus exotischen Populationen

Eine weitere Möglichkeit, die Biomasse- und damit die Energieleistung des Mais zu steigern, besteht darin, an den tropischen Kurztag angepasste süd- oder mittelamerikanische Maispopulationen im mitteleuropäischen Langtag anzubauen. Unter diesen Bedingungen reagiert der Mais mit einem verstärkten vegetativen Wachstum. Manche dieser exotischen Maisrassen werden 4-5 m groß. Nicht nur das Längenwachstum ist bei diesen Maisformen stimuliert, sondern auch das Dickenwachstum der Stängel. Indem man die photoperiodische Empfindlichkeit (Kurztagsreaktion) sowohl auf der Saat- wie auch auf der Pollenspenderseite der Energiemaishybriden einlagert, kann deren vegetative Masseleistung erheblich verbessert werden. Die Einlagerung von solchen „Kurztagsgenen“ aus mexikanischen Quellen auf der Mutterseite und peruanischen Quellen auf der Vaterseite stellt sicher, dass die Heterosis zwischen Saater- und Pollenspender-Genpool erhalten bleibt (SCHMIDT, 2006; SCHMIDT, 2005; SCHMIDT und LANDBECK, 2005).

4) Verbesserung der weiteren Stresstoleranz

Optimale Energiemaisorten sollten neben der Kältetoleranz auch gleichzeitig eine gute „Low-Input-Eignung“ haben. Hierbei bedeutet „Low-Input-Eignung“, dass die Linien und deren Hybriden auch unter Stickstoffmangel eine akzeptable Leistung erbringen können. Es wurde festgestellt, dass Sorten, die mit einem (zumindest temporären) Stickstoffmangel gut zu Recht kommen, auch Trockenstresssituationen besser abpuffern können. Bei diesem Ansatz wird auf ungarisches Zuchtmaterial zurückgegriffen (SCHMIDT, 2005; SCHMIDT und LANDBECK, 2005).

5) Adaption des Maises an eine C3/C4-Pflanzen-Fruchtfolge

In den kühlen und kalten Monaten zwischen Mitte Oktober und Ende April wird man Biomasse, und damit Energie, in unserem Klimaraum nur sinnvoll mit C3-Pflanzen produzieren können. Hohe Biomasse- und damit hohe Energieerträge je Hektar und Jahr werden daher am besten mit einer C3/C4-Pflanzen-Fruchtfolge erreicht.

In seiner Diplomarbeit vergleicht DÖRNTE (2003), zitiert in SCHMIDT (2005), die Gesamttrockenmasseerträge verschiedener Energiemaissorten, wenn diese zum optimalen Zeitpunkt ausgesät werden, mit den Gesamttrockenmasseerträgen den die Energiemaissorten erzielen, wenn diese etwa einen Monat später ausgesät werden. Wie zu erwarten, sind die Erträge bei der verkürzten Vegetationszeit geringer. Baut man jedoch vor dem Mais die C3-Zwischenfrucht Wintererbse an, dann übertrifft die Kombination Wintererbse/Mais in der Gesamttrockenmasse den zum optimalen Zeitpunkt angebaute Mais deutlich. Die um einen Monat längere Vegetationszeit des zum optimalen Zeitpunkt angebaute Maises kann keinesfalls die Gesamttrockenmasse der C3-Pflanze kompensieren, die diese in der kühlen Jahreszeit erbringen kann. C3/C4-Pflanzen-Fruchtfolgen bieten sich daher zumindest für den Energiepflanzenanbau in Gebieten mit ausreichenden Niederschlägen an. Dies hat Rückwirkungen für die Maiszüchtung: Der Mais muss dann mit der späteren Saatzeit zurechtkommen und er muss vor allem mit dem von der Vorfrucht eingeschränkten Wasservorrat effizient umgehen können. Hierbei müssen standortabhängige Anbaubedingungen berücksichtigt werden und die Zeitspanne die man den C3- bzw. C4- Pflanzen einräumen muss, um maximale Energieerträge je Jahr und Hektar zu realisieren (SCHMIDT, 2005; SCHMIDT und LANDBECK, 2005).

4.2.1. Gentechnische Ansätze

Für die Verwirklichung des neuen Zuchtziels „Ganzpflanzennutzung für die Biogasanlage“, gibt es z. Z. keine gentechnischen Ansätze, außerdem wird in der konventionellen Züchtung noch viel Potenzial für dieses Zuchtziel gesehen (s. 4.2.).

Anders sieht es im Bereich Nutzung von Maiskörnern für die Bioethanolproduktion aus: Die erste gentechnisch veränderte Pflanze, die speziell für die Bioethanolproduktion entwickelt worden ist, ist die gentechnisch veränderte Maislinie 3272 der Fa. Syngenta. Der Mais enthält eine hitzestabile alpha-Amylase, die die ersten Schritte der Bioethanolherstellung (Stärkeverzuckerung) effizienter machen soll. Ein Antrag auf Kommerzialisierung dieser Maislinie wurde in den USA, China, Südafrika und der EU gestellt. Der Antrag auf Inverkehrbringen in der EU bezieht sich auf den Import, die Verarbeitung sowie die Verwendung als Lebens- und Futtermittel, aber nicht auf den Anbau (TRANSGEN, 2006).

Im Bereich Sicherung der Erträge, Resistenzen gegenüber abiotischem Stress, wird von den großen „life science industries“ vor allem an trockenolerantem Mais gearbeitet, der auch für energetische Zwecke genutzt werden könnte. Sowohl Monsanto als auch Pioneer und BASF haben diese Pflanzen in ihrer Entwicklungspipeline. Die Art und Herkunft der Trockenoleranz vermittelnden Gene ist streng geschützt (confidential business information, CBI). Laut einem Vortrag von KROTZKY (2006) wird bei BASF an der Übertragung entsprechender Gene aus einem Moos und der Eispflanze gearbeitet.

4.2.2. Ökologischer Anbau

Die Züchtung von Körner- und Silomaisarten für den ökologischen Anbau ist anspruchsvoller als die Züchtung für die konventionelle Bewirtschaftung. Dies gilt gleichermaßen auch für die Entwicklung von Energiemaisarten, die im ökologischen Anbau hauptsächlich für die Nutzung in Biogasanlagen angebaut werden (s. 5.2.1). Hierfür müssen vor allem 3 Kriterien erfüllt sein:

1. Sie müssen eine im Genom verankerte exzellente Keimfähigkeit und Triebkraft besitzen, da im ökologischen Anbau das Saatgut nicht mit chemisch-synthetischen Mitteln gebeizt wird.
2. Sie müssen eine gute Konkurrenzkraft gegenüber Unkraut besitzen, da im ökologischen Landbau keine Herbizide eingesetzt werden.
3. Sie müssen temporären Stickstoffstress tolerieren und den später fließenden Stickstoff gut ausnutzen können, da im ökologischen Landbau keine schnell verfügbaren mineralischen Dünger eingesetzt werden. Außerdem wäre die Sorte geeignet bei Trockenstress (s. 4.2.1.) (SCHMIDT, 2005; SCHMIDT und LANDBECK, 2005).

Eine Züchtung von Energiepflanzen für den ökologischen Anbau findet nach Aussage von Dr. R. Grass (FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe, Universität Kassel-Witzenhausen) in Deutschland nicht statt.

4.3. Weitere Getreide und Gräser

4.3.1. Roggen (*Secale cereale*) und Gerste (*Hordeum vulgare*)

Die Anbaufläche von Roggen in Deutschland ist im Jahr 2007 auf 670.000 ha ausgedehnt worden. Diese Entwicklung ist insbesondere auf die neuen Verwertungsmöglichkeiten als Energiegetreide zur Bioethanolherstellung und für die Verwertung in Biogasanlagen zurückzuführen. So wird nach Einschätzung des Roggenforums die Ernte 2007 zu 25 % als Energieroggen vermarktet (ROGGENFORUM, 2007).

In einem durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe geförderten Verbundprojekt arbeitet die Lochow-Petkus GmbH an der Entwicklung von Energieroggenhybriden. Roggen hat im Gegensatz zu den anderen Getreidearten geringe Standortansprüche verbunden mit einfachem Anbau und Ertragssicherheit. Roggen kann als Winter- oder Sommerzwischenfrucht genutzt werden, als Ganzpflanzensilage oder als gequetschtes bzw. geschrotetes Korn. Der Anbau von Roggen steht nicht in Konkurrenz zum Maisanbau. Im Gegensatz zu Mais nutzt Roggen die Vegetationszeit der kühleren Jahreszeit (September bis Mai) optimal aus und kann somit als Vorfrucht zu Mais gesät werden (MIEDANER und WILDE, 2005).

Durch den Anbau von Grünroggen und Mais in Fruchtfolge verspricht man sich höhere Trockenmasseerträge gegenüber dem alleinigen Anbau von Mais ohne Vornutzung durch Grünroggen (Überlegungen zur Zweikulturnutzung s. 4.2. (DÖRNTE, 2003)). Die Ergebnisse stehen noch aus. Für diese „Variante“ der Zweikulturnutzung hat die Saaten Union einen konventionell gezüchtete Energieroggenart (PROTECTOR) im Programm, die nach der Aussaat noch bei niedrigen Temperaturen wächst (SAATEN-UNION, 2007).

Eine Alternative zur Neuzüchtung von wachstumsstarken Energiepflanzen ist die Nutzung vorhandener alter Sorten. Am Beispiel der Wintergerste konnte nachgewiesen werden, dass alte im Vergleich zu modernen Sorten durchaus einen deutlich höheren Ertrag erbringen können (VON BUTLAR, 2006).

4.3.2. Hirse (*Sorghum bicolor*), Sudangras (*Sorghum sudanense*) und Chinaschilf (*Miscanthus sinensis*)

Hirse (*Sorghum bicolor*) ist eine annuelle C4-Pflanze. Sie weist eine genetisch bedingte hohe Photosyntheserate auf („high energy crop“) und eine hohe Trockentoleranz. *Sorghum* wird vor allem in den tropischen und subtropischen Zonen schon zur Biomasseproduktion genutzt. Hierzu eignen sich mehrschnittige *S. bicolor*-Typen oder Kreuzungen aus *S. bicolor* und *S. sudanense* (Sudangras). Unter süddeutschen Klimabedingungen werden Wuchshöhen von 2,5 bis 3 m erreicht, wobei es hier zu keiner bzw. nur zu geringer Kornausbildung kommt. In den gemäßigten Zonen spielt der Anbau von *Sorghum*-Hirsens bisher allerdings nur eine untergeordnete Rolle. In der Vorderpfalz wird Sudangras vereinzelt als Zwischenfrucht im Gemüsebau genutzt, auch um Humus zu akkumulieren und den Boden zu schützen. Sudangras kommt mit trockenen Bedingungen gut zurecht und vermehrt weder Krankheiten noch Schädlinge, die im Gemüse- oder Ackerbau bedeutend sind (ANONYMUS, 2007a; ZACHARIAS, 2005).

Bei der KWS wird an der Züchtung von Hirse als ein mögliches Glied in einer Energiefruchtfolge gearbeitet. Wichtigstes Zuchtziel ist neben der Steigerung und Stabilisierung der Biomasseleistung und der Standfestigkeit, die Identifizierung und Integration von kühetoleranten Genotypen in das Zuchtmaterial (durch markergestützte Selektion) (ZACHARIAS, 2005).

Auch das Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH (ITB), Bingen sowie das Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Bad Kreuznach, beschäftigen sich mit der Frage, ob sich *Sorghum*-Hirse in den trocken-warmen Regionen Südwestdeutschlands als Energiepflanze eignet.

Ergebnisse der Versuche der DLR sollen bis zum Jahr 2009 vorliegen. Verschiedene Fragestellungen sollen hierzu bearbeitet werden:

- Welche Sorten sind unter hiesigen Bedingungen für die Nutzungsrichtung Biomasse (Biogas) geeignet?
- Eignet sich die Kultur eher für den Hauptfruchtanbau als Alternative zu Mais oder eher für den Zweitfruchtanbau zur Erhöhung der Flächenproduktivität?
- Welchen Einfluss hat der Erntezeitpunkt auf die Ertragshöhe der *Sorghum*-Hirse, auf die Lagerungsfähigkeit der daraus (mittels Milchsäuregärung) hergestellten Silage und auf die Biogasausbeute?

Auch die Kriterien Kältetoleranz, Trockensubstanzgehalt und Standfestigkeit spielen eine Rolle für die energetische Nutzung und sollen geprüft werden (ANONYMUS, 2007a).

Bei Sudangras (*Sorghum sudanense*) oder Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*), die auf Grund ihrer Eigenschaften für die energetische Nutzung in Biogasanlagen in Frage kommen könnten, fehlen hierzulande Zuchtmaterial sowie die Erfahrungen einer langjährigen Anbaupraxis. Die Versuche konzentrieren sich daher zunächst auf die generelle Eignung vorhandenen Materials unter hiesigen Klima- und Anbaubedingungen:

Von der Thüringischen Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) werden seit dem Frühjahr 2005 in sechs typischen Anbauregionen Deutschlands drei Jahre lang Anbauversuche mit je acht verschiedenen Energiepflanzen-Fruchtfolgen koordiniert. Dabei werden auch alte oder eher unbekanntes Kulturarten wie Hirse und die nordamerikanische durchwachsene Silphie als Fruchtfolgeglieder eingesetzt. Im ersten Anbaujahr erwiesen sich an den Standorten in Thüringen und Sachsen Topinambur, durchwachsene Silphie und Sudangras als sehr vielversprechende Energiepflanzen

(GÖDECKE et al., 2007; THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (TLL), 2006; VETTER, 2006).

Forscher an der Texas A&M Universität haben *Sorghum bicolor* durch markergestützte Selektion so verändert, dass es das Doppelte der normalen Höhe erreicht, einen stärkeren Stiel hat, und eine verbesserte Dürretoleranz aufweist. So sei es für den Gebrauch in der Bioethanol-Produktion ideal, berichten die Forscher. Sie geben an, dass das Getreide besonders für den Anbau in den trockeneren, südlichen Bereichen der Vereinigten Staaten geeignet sei, z. B. im Süden und Südosten, wo es leistungsfähiger und ökonomischer als Mais sei. In dieser Region könnten drei Ernten pro Jahr eingefahren werden (GRACZYK, 2007).

4.4. Zuckerrübe (*Beta vulgaris*)

In Europa scheint es keine Züchtungsanstrengungen in Hinblick auf optimierte Zuckerrüben für die Bioethanol-Produktion zu geben. Die KWS setzt auf ihre zuckerreichen Sorten, die für die Zuckerproduktion entwickelt worden sind, da „die leistungsfähigste Zuckerrübe auch die leistungsfähigste Ethanolrübe“ sei (KWS, 2007a).

4.4.1. Gentechnische Ansätze

Eine herbizidtolerante Zuckerrübe (H7-1) ist für den Anbau in den USA zugelassen und wurde im Oktober 2007 als Lebens- und Futtermittel in der EU zugelassen (KWS, 2007c; TRANSGEN, 2007b). Diese gentechnisch veränderte Zuckerrübe ist ein Gemeinschaftsprojekt von Monsanto, die das verwendete Herbizidresistenzgen zur Verfügung stellte, und der KWS, die die Transformation durchführte (KWS, 2007b).

Am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Kiel wird z. Z. an Rüben geforscht, bei denen das Schossen gezielt an- und abgeschaltet werden soll. Durch diesen Ansatz soll eine „Winterzuckerrübe“ gezüchtet werden, die schon im Herbst ausgesät werden kann, um so im Folgejahr einen um bis zu 20 % höheren Ertrag zu bringen (BECKER, 2006). Dazu wurden Erkenntnisse zur Verschiebung des Blühzeitpunktes, die an den Modellpflanzen *Arabidopsis thaliana* und *Antirrhinum* gewonnen wurden, auf die Zuckerrüben übertragen (KLEIN und KESTEN, 2007). Bisher gibt es keine Sorte, die für den Winteranbau geeignet ist. Eine im Herbst gesäte Rübe würde nach dem Winter, wenn die Temperaturen steigen, die ganze Energie in das generative Wachstum stecken, so dass nur noch eine kleine Rübe gebildet wird. Von bereits vorliegenden, komplett schossresistenten Rüben, die überhaupt nicht mehr blühen, kann kein Saatgut geerntet werden. Daher konzentriert man sich bei diesem Ansatz auf die gezielte Steuerung des so genannten Schossgens der Zuckerrübe (CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT KIEL, 2005).

4.5. Sonnenblume (*Helianthus annuus*)

Aufgrund der begrenzten Anbaufläche für Raps und der geringen Akzeptanz gentechnisch veränderten Rapses in Europa wird über alternative Ölpflanzen nachgedacht. Als mögliche Kandidaten werden Sonnenblumen und im „non-food“ Bereich Crambe, Hanf und Lein genannt (EPOBIO, 2006).

Die Hybridzüchtung wird eingesetzt, um Energiesonnenblumen für die Biogasproduktion zu züchten. Sonnenblumen weisen aufgrund ihres Ölgehaltes rein rechnerisch eine hohe Methanausbeute auf. Bei der KWS wird untersucht, wie hoch die Methanerträge von Stängeln, Blättern und Körben

sind, um die Sonnenblume besser an das Zuchtziel „hoher Methanertrag pro ha“ anzupassen (GANßMANN, 2005).

Ebenso wie beim Raps wird auch bei diesen Pflanzen eine gleichzeitige industrielle Nutzung der Nebenprodukte angedacht. Als mögliche gentechnische Ansätze werden auch bei der Sonnenblume die Erhöhung des Ölsäure-Gehalts durch „gene silencing“ diskutiert (Zeithorizont ca. 5 Jahre) bzw. die Veränderung der Kohlenstoffverteilung zwischen Ölen und Proteinen zu Gunsten der Ölfraction (ca. 15 Jahre) (EPOBIO, 2006).

4.6. Kartoffel (*Solanum tuberosum*)

In Deutschland werden am Max-Planck-Institut (MPI) für Molekulare Pflanzenphysiologie in Golm verschiedene Freisetzungsversuche mit gentechnisch veränderten Kartoffeln durchgeführt, bei denen der Stärkemetabolismus verändert wurde (GEIGENBERGER et al., 1998; SONNEWALD et al., 1997). Ziel der Züchtung ist die Kartoffel als nachwachsender Rohstoff für die Stärkeindustrie. Im non-food-Bereich werden industrielle Anwendungen von Stärken bei der Papier- und Textilherstellung, bei Bau- und Klebstoffen, in der Verpackungs- bzw. in der Kosmetikindustrie genannt. Ein Einsatz als Energiepflanze wird nicht genannt. Ein Nachteil der Kartoffel als nachwachsende Rohstoffpflanze sei, dass die stärkehaltigen Kartoffelsorten späte Sorten sind und eine Lagerung über das gesamte Jahr nicht möglich ist (BIOSICHERHEIT, 2008a).

4.7. Schnellwachsende Gehölze

Zunächst (4.7.1. und 4.7.2.) folgt die Auswertung des Gutachtens „Ansätze und Herausforderungen der pflanzenzüchterischen Optimierung von Energiepflanzen - Schwerpunkt schnellwachsende Baumarten“ (DEGEN, 2007) aus dem TAB-Projekt "Energiepflanzen" (BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG, 2007):

4.7.1. Konventionelle Ansätze

Die Züchtung von schnellwachsenden Baumarten konzentriert sich auf Weiden (*Salix*) und Pappeln (*Populus*) aufgrund ihres überragenden Wachstums. Nach 1945 waren in Deutschland die Hauptzüchtungsansätze:

- gute Stammqualität (Schwachastigkeit, Geradschaftigkeit)
- gute Resistenzeigenschaften (u. a. Pappelkrebs, Rindenbrand, Pappelrost)

Eine gezielte Auslese auf Inhaltsstoffe fand nicht statt. Mit den Ansätzen wurden folgende Ziele verfolgt:

- Wertholzproduktion (lange Umtriebszeiten)
- Stoffliche Nutzung: Zelluloseindustrie (mittlere Umtriebszeit)
- Masse, extremes Jugendwachstum, Konkurrenzfähigkeit (Kurzumtrieb)

Anfang der 90er kamen fast alle Züchtungsaktivitäten in Deutschland aufgrund geringer Nachfrage zum Erliegen. Eine intensivere (und erfolgreichere) Züchtung, mit dem Ziel einer Erhöhung der Biomasseproduktion in Kurzumtriebsplantagen, findet in Schweden und z. T. Belgien mit folgenden Ansätzen statt:

- Wachstumssteigerung

- bessere Frosttoleranz
- Pilzresistenz

4.7.2. Gentechnische Ansätze

In Nordamerika findet eine sehr intensive Forschung durch Firmen statt. Dabei werden hauptsächlich folgende Ansätze verfolgt:

- Herbizidresistenz
- Sterilität
- Reduktion des Ligningehalts
- Resistenz gegen Pilze, Bakterien und Insekten

China ist das einzige Land mit kommerzieller Nutzung gentechnischer Bäume (Veränderung des Lignin- und Zellulosegehaltes an Pappeln), wobei hauptsächlich Pappeln mit folgenden Eigenschaften gezüchtet werden:

- Resistenz gegenüber Insekten
- Trocken- und Salztoleranz
- Pilzresistenz
- Reduktion des Ligningehalts
- Steigerung des Zellulosegehalts
- Veränderung des N-Stoffwechsels

In Europa ist nur eine geringe Forschung auf diesem Gebiet zu finden, die fast ausschließlich an öffentlichen / staatlichen Forschungseinrichtungen stattfindet. Dabei werden einige Freisetzungsvorversuche mit gentechnisch veränderten Pappeln durchgeführt. Merkmale mit kommerzieller Bedeutung betreffen die Menge des Lignins im Holz oder dessen Zusammensetzung, eine Herbizidtoleranz oder die Sanierung von Schwermetall-belasteten Böden. Andere Arbeiten mit transgenen Bäumen behandeln die Frage nach der Stabilität der gentechnisch übertragenen Gene in diesen langlebigen Pflanzen (BIOSICHERHEIT, 2007d; PILATE et al., 2002).

Die hauptsächlichsten Einrichtungen in Deutschland, die zur Züchtung von Bäumen gentechnische Methoden einsetzen, sind:

- Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFAFH)
- Uni Freiburg, Institut für Forstbotanik und Baumphysiologie

wobei folgende Forschungsansätze verfolgt werden:

- verschiedene Aspekte der Sicherheitsforschung
- Erzeugung schwermetallresistenter Pappeln für kontaminierte Standorte

An aktuellen Forschungsprojekten zu Bäumen in Deutschland sind AgroWood, Dendrom-Projekt und AgroForst zu nennen, wobei in diesen Projekten Züchtungsfragen nur am Rande berücksichtigt werden, Züchtung mit Gentechnik spielt in diesen Projekten keine Rolle. Dies scheint einerseits an einer Drosselung der Züchtungsanstrengungen generell zu liegen (DEGEN, 2007), zum anderen, im

Bereich der gentechnischen Veränderung, an den möglichen ökologischen Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Bäume.

4.7.3. Weitere Rechercheergebnisse

Trotz der z. Z. geringen Forschungsansätze bei schnellwachsenden Gehölzen, wird ihnen ein großes Potenzial als Energiepflanzen im Bereich der Bioethanolproduktion zugesprochen (SPLECHTNA und GLATZEL, 2005). Voraussetzung dafür ist die effiziente Überführung der Zellulose und Lignozellulose des Holzes in vergärbare Zucker. Auch werden weitere Ansätze angedacht. So unterscheiden sich die Züchtungsziele bei schnellwachsenden Bäumen nur wenig von denen bei Kulturpflanzen. Hierbei werden ebenfalls die Steigerung der Biomasseproduktion (m^3 Holz / Fläche und Zeiteinheit) sowie Resistenzen gegenüber biotischem (Insektenresistenz, Krankheitsresistenz) und abiotischem Stress (Trocken- und Kältetoleranz) genannt. Hinzu kommt noch die Steigerung der Effizienz der Nutzbarmachung von Zellulose und Hemizellulose als wichtiges Züchtungsziel bei Gehölzen (FLADUNG, 2007).

Die Steigerung der Biomasseproduktion könnte durch eine Steigerung der Photosyntheseleistung oder durch eine Reduktion der Photorespiration erreicht werden. Neueste Ergebnisse bei der Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* zeigen, dass dies im Prinzip durch gentechnische Methoden erreicht werden kann (s. 4.8, (CHIDA et al., 2007; KEBEISH et al., 2007)). Der Nachweis einer Übertragbarkeit dieser Ergebnisse steht noch aus.

Gentechnische Verfahren können auch eingesetzt werden, um die Effizienz der Ethanolproduktion auf der Basis von Lignozellulose zu steigern. Diese können auf zwei Ebenen angewendet werden. Zum einen können die Pflanzen so verändert werden, dass sie Enzyme bilden, die Zellulose in nutzbare Zucker abbauen. Zum anderen könnten gentechnische Ansätze bei Mikroorganismen angewendet werden, die bei der weiteren Prozessierung des pflanzlichen Materials eingesetzt werden. Dieser Ansatz eignet sich bei Verfahren, die nicht nur eigens dazu gezüchtete Energiepflanzen verwerten, sondern vor allem Rest- und Abfallstoffe. Für beide Ansätze werden nachfolgend Beispiele angeführt:

- Syngenta hat im Januar 2007 eine Zusammenarbeit mit der Fa. Diversa bekannt gegeben, die die Erforschung neuartiger Enzyme zur Umwandlung von Zellulose in fermentierbare Zucker umfasst. Syngenta hat das exklusive Recht, diese Enzyme mit Hilfe der Gentechnik in Pflanzen zu übertragen (SYNGENTA, 2007).
- In Australien hat die Firma Farmacule zusammen mit der Queensland University of Technology eine Technologie zur multiplen Nutzung von Zuckerrohr entwickelt. Nach der Extraktion des Zuckers für den Verzehr sollen die Reste der Zuckerrohrpflanzen zur Ethanolproduktion genutzt werden können. Dazu wurden Gene für Zellulasen unter der Kontrolle aktivierbarer Regulations-elemente in Zuckerrohr übertragen. Nach der Zuckerextraktion werden die Zellulasen in den Blättern aktiviert und bauen dann Zellulose zu fermentierbaren Zuckern für die Bioethanolproduktion ab (RENEWABLE ENERGY ACCESS, 2006).
- In Zukunft soll verstärkt lignozellulosehaltiges Material genutzt werden, welches nicht aus extra zu diesem Zweck angebauten Nutzpflanzen, sondern aus in der Land- und Forstwirtschaft anfallenden Rest- und Abfallstoffen stammt (z. B. Baumschnitt, Stroh). Hierbei müssen die notwendigen Prozesse der Depolymerisierung von Zellulose und Hemizellulose zu löslichen Zuckern sowie der Fermentation eines Gemisches aus Hexosen (C6-Zucker) und Pentosen (C5-Zucker) zu Ethanol noch optimiert werden (HAHN-HÄGERDAL et al., 2006). Ein möglicher Ansatz wurde von

Frankfurter Forschern beschrieben, die fünf verschiedene Gene in *Saccharomyces* eingeführt haben (drei aus Bakterien und zwei aus der Hefe *Pichia stipitis*), die die Produktion von Ethanol auch aus den Pentosen Xylose und Arabinose ermöglichen (KARHUMAA et al., 2006).

4.8. Gentechnische Ansätze bei Modellpflanzen

Es gibt gentechnische Ansätze, vor allem bei Modellpflanzen wie etwa *Arabidopsis thaliana*, die auf verschiedene Kulturarten übertragen werden könnten. So haben z. B. Forscher des Bioscience and Biotechnology Centers der Nagoya University den quantitativen Merkmalsort GW2 entdeckt, der für einen sog. Ring-Typ E3 des Enzyms Ubiquitin-Ligase kodiert. Durch Überexpression dieses Gens konnten in Reis Körner gebildet werden, die sowohl in ihrer Länge als auch im Durchmesser vergrößert waren (MATSUOKA und ASHIKARI, 2007). Diese molekulare genetische Einheit zu verstehen, könnte für weitere Getreidearten wie etwa Mais und Weizen genutzt werden (SONG et al., 2007).

Ein weiterer genetischer Ansatz zielt auf eine Steigerung der Photosynthese von C3-Pflanzen ab, um damit die Produktivität z. B. von Getreide zu verbessern. An der RWTH Aachen wurden Gene für den Glykolat-Stoffwechsel aus *E. coli* in *Arabidopsis thaliana* übertragen. Dadurch konnte die Reduzierung des örtlich festgelegten Kohlenstoffes und Stickstoffes, eine unvermeidliche Nebenerscheinung bei der Photorespiration von C3-Pflanzen, verringert werden (KEBEISH et al., 2007; LEEGOOD, 2007). Diese Ergebnisse könnten möglicherweise zukünftig für Produktivitätssteigerungen bei nachwachsenden Rohstoffen angewendet werden.

Cytochrom C6 aus Algen ist am Elektronentransport der Photosynthese beteiligt. Durch Übertragung dieses Proteins in *Arabidopsis thaliana* konnte die Photosyntheserate und dadurch das Pflanzenwachstum gesteigert werden. Dies betraf sowohl die Pflanzenhöhe als auch die Blatt- und Wurzellänge (CHIDA et al., 2007).

4.9. Übertragung der Ergebnisse der Genomforschung

Mit der kompletten Analyse der Genome mehrerer Kulturpflanzen stehen der Forschung eine Vielzahl neuer Gene zur Verfügung, die über konventionelle Züchtung, markergestützte Selektion und auch gentechnische Verfahren in neue Linien eingebracht werden können. Für die energetische Nutzung von Pflanzen sind sowohl Gene, die den Zucker- bzw. Stärkemetabolismus beeinflussen, interessant als auch solche, die den Ertrag oder die Stressresistenz beeinflussen (hier Beispiel Reis: (ZHANG, 2007)).

In Brasilien werden etwa 50 % des Zuckerrohranbaus für die Ethanolproduktion verwendet. Bislang werden keine gentechnisch veränderten Sorten angebaut. Aufgrund des Bioethanolbooms entstehen aber viele Forschungsk Kooperationen mit dem Ziel, gentechnisch verändertes Zuckerrohr zu entwickeln. Durch das Brasilianische Zuckerrohr-Genom-Projekt wurden 200 Gene, denen eine Funktion bei der Zuckerakkumulation zugesprochen wird, isoliert und patentiert. Die Firma CTC (Cane Technology Center) hat nach eigenen Angaben gentechnisch verändertes Zuckerrohr mit einem 15 % höheren Zuckergehalt entwickelt. Erste Freisetzungsversuche mit diesem Zuckerrohr wurden für 2007 angekündigt. Allerdings ist es bis dato ungewiss, ob die Pflanzen tatsächlich schon freigesetzt worden sind. (CHECKBIOTECH, 2008; GMO-COMPASS, 2007). Andere Biotech-Unternehmen sind auch am möglicherweise großen Markt für gentechnisch verändertes Zuckerrohr interessiert: Monsanto hat eine Forschungsk Kooperation mit der brasilianischen Firma Alellyx bekannt gegeben, die von den Wissenschaftlern des brasilianischen Genomprojektes gegründet wurde. Der brasiliani-

schen Zulassungsbehörde (Brazilian National Biosafety Committee) liegen zurzeit 73 Anträge auf Freilandversuche mit gentechnisch verändertem Zuckerrohr vor. Diese beziehen sich sowohl auf Herbizid- und Insektenresistenz als auch auf den Zuckermetabolismus (CHECKBIOTECH, 2007a).

BASF Plant Science hat im Oktober 2007 eine Forschungskooperation mit dem Crop Functional Genomics Center (CFGC) in Süd-Korea bekannt gegeben. Ziel der Kooperation ist die Erforschung und Vermarktung neuartiger Gene in Reis und Mais, die für Ertrag und Stresstoleranz mit verantwortlich sind. CFGC hat durch „metabolic profiling“ eine Reihe interessanter Gene identifiziert, die von BASF weiter analysiert und vermarktet werden sollen (BASF, 2007).

In Japan wurde eine Forschungsgruppe eingesetzt, die zum Ziel hat, innerhalb von 10 Jahren gentechnisch veränderten, ertragreichen Reis für den Biokraftstoffbereich zu entwickeln. Auch hier werden Ergebnisse aus dem Reis-Genom-Projekt verwertet (CHECKBIOTECH, 2007b).

Auch bei Gehölzen wird erwartet, dass nach der Bekanntgabe der gesamten Sequenz des Erbguts der Amerikanischen Balsampappel eine Reihe von neuen, kommerziell interessanten Genen identifiziert und isoliert werden, die dann für gentechnische Arbeiten an Bäumen zur Verfügung stehen werden (BIOSICHERHEIT, 2007d).

4.10. Zusammenfassung Züchtungsziele bei Energiepflanzen

Die Züchtungsbemühungen bei Energiepflanzen befinden sich noch in den Anfängen:

Spezielle Zuchtprogramme existieren vor allem bei Mais, Zuckerrüben und Roggen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf konventionellen Methoden, wobei biotechnologische Methoden, wie z. B. die markergestützte Selektion, Anwendung finden. Hier wird insbesondere bei dem neuen Züchtungsziel „Ganzpflanzennutzung für die Biogasanlage“ ein großes Potenzial gesehen (z. B. Energiemaiszüchtung bei der KWS).

Anders sieht es bei der Anwendung gentechnologischer Methoden aus. Die einzige gentechnisch veränderte Pflanze, die speziell zur energetischen Nutzung in Form von Bioethanol hergestellt worden ist, ist die Maislinie 3272 der Firma Syngenta mit einer hitzestabilen α -Amylase, deren Zulassung auch in Europa beantragt worden ist (Import und Verarbeitung).

Daneben könnten auch die bereits zugelassenen, gentechnisch veränderten herbizid- bzw. insektenresistenten Pflanzen, insbesondere Bt-Mais, als Energiepflanzen genutzt werden.

International wird an der Entwicklung gentechnisch veränderter, stresstoleranter Pflanzen gearbeitet. Trockentolerante Pflanzen könnten auf marginalen Standorten als Energiepflanzen angebaut werden, um so z. B. die Konkurrenz zum Nahrungs- und Futtermittelanbau zu verringern.

In Zukunft könnten Ergebnisse aus der Genomforschung auch zur Herstellung gentechnisch veränderter Pflanzen zur Energieerzeugung genutzt werden. Durch die Genomforschung und die funktionelle Genomik (Zuordnung bestimmter Funktionen zu Gensequenzen) nimmt das Verständnis der molekularen Steuerung der Stoffwechselfvorgänge sowie der vegetativen und generativen Entwicklung zu. Erste Ergebnisse liegen zur Steigerung des Zuckergehaltes bei Zuckerrohr sowie zur Steigerung der Photosyntheseleistung bei der Modellpflanze *Arabidopsis* vor.

Das größte Potenzial wird allerdings bei der Nutzung von lignozellulosehaltiger Biomasse gesehen. Ob dabei auch gentechnisch veränderte Pflanzen (z. B. Gehölze) genutzt werden oder der Schwerpunkt auf der Nutzung von Reststoffen liegt, ist zurzeit noch nicht absehbar.

5. Auswirkungen des Anbaus von Energiepflanzen auf landwirtschaftliche Anbausysteme und die natürliche Umwelt (Modul 3)

Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für stoffliche und energetische Zwecke stellt eine zusätzliche Option des Anbaus von Kulturpflanzen in der Landwirtschaft dar, die seit einigen Jahren starke Zuwachsraten aufweist. Das Ausmaß der Auswirkungen der Landbewirtschaftung auf die natürliche Umwelt ist von vielfältigen Faktoren (z. B. Standortbedingungen, Art der Bewirtschaftung, Fruchtfolge) abhängig. Neben den durch den Anbau von Nahrungs- bzw. Futtermittelpflanzen mehr oder weniger bekannten Auswirkungen (z. B. SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN seit 1985) können beim Anbau von Energiepflanzen möglicherweise weitere Auswirkungen auf die Landwirtschaft und die natürliche Umwelt hinzukommen. Auf diese wird in verschiedenen Studien eingegangen (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2007b; BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2007a; NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND, 2007a; BUND FÜR UMWELT- UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND, 2007; SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, 2007; EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2006; RAMESOHL et al., 2006; REINHARDT et al., 2006; SCHÜTZ und BRINGEZU, 2006; GRAEF et al., 2005; RODE et al., 2005; FRITSCHKE et al., 2004; SCHÜTTE et al., 2004; SCHEFFER, 2003; SCHÜTTE, 2003; SCHÜTTE, 2002; WOLTERS, 1999). Auch zu den Umweltwirkungen von *gentechnisch veränderten Organismen allgemein* gibt es eine lange und breite Diskussion (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, 2004; HENRY et al., 2003; SCHÜTTE et al., 2001; TIEDJE et al., 1989). Die Diskussion in dieser Studie fokussiert allerdings auf die weitaus engere Frage, welche Erkenntnisse und Argumente spezifisch für *gentechnisch veränderte Organismen als Energiepflanzen* relevant sind.

Das Kapitel 5. ist entsprechend aufgebaut: Die jüngste Entwicklung und das derzeitige Ausmaß des Anbaus von Energiepflanzen werden in 5.1. dargestellt. Mögliche Auswirkungen des Anbaus von Energiepflanzen auf landwirtschaftliche Anbausysteme werden in 5.2. erörtert. Dabei wird beschrieben, welche Anbauformen bestehen bzw. angedacht sind. Darauf aufbauend werden die damit einhergehenden Auswirkungen auf den Naturhaushalt (5.3.) untersucht. Eine strikte Trennung der Auswirkungen auf die Agrarlandschaft von Auswirkungen auf die Naturlandschaft ist nicht möglich. Welche Rolle gentechnisch veränderte Energiepflanzen künftig einnehmen werden, kann nach jetzigem Stand (Kapitel 2. und 4.) nur in Ansätzen beantwortet werden, da zum einen der Energiepflanzenanbau eine relativ neue landwirtschaftliche Ausrichtung darstellt, somit noch relativ wenige gesicherte Daten vorliegen, und da zum anderen die Nutzung gentechnisch veränderter Pflanzen in der Landwirtschaft zum jetzigen Zeitpunkt nur eine untergeordnete Rolle einnimmt. Im abschließenden Teilkapitel 5.4. werden die möglichen Wirkungen von gv-Energiepflanzen auf die natürliche Umwelt und landwirtschaftliche Anbauverfahren diskutiert.

5.1. Anbauflächen

Die Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe überstieg im Jahr 2006 in Deutschland nach Schätzungen der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) erneut den Vorjahreswert und erreichte den neuen Rekordwert von über 1,56 Mio. Hektar (2005: 1,4 Mio. Hektar). Dies entspricht rund 13 % der gesamten deutschen Ackerfläche. Abb. 8 verdeutlicht die Verteilung nachwachsender Rohstoffe zur stofflichen und energetischen Nutzung. Innerhalb von zehn Jahren vergrößerte sich die Fläche um mehr als das Fünffache. Wie auch im Vorjahr blieb der Rapsanbau mit einer Gesamtfläche von 1,1 Mio. Hektar an erster Stelle der Energie- und Industriepflanzen. Nach Aussage der FNR wird Raps auch in den nächsten Jahren an dieser Position sein. Allerdings wird langfristig davon ausgegangen, dass der Anteil anderer Rohstoffe jenen von Raps übertrifft, sobald deren Einsatzge-

biete weiterentwickelt sind (SCHUBERT, 2006).

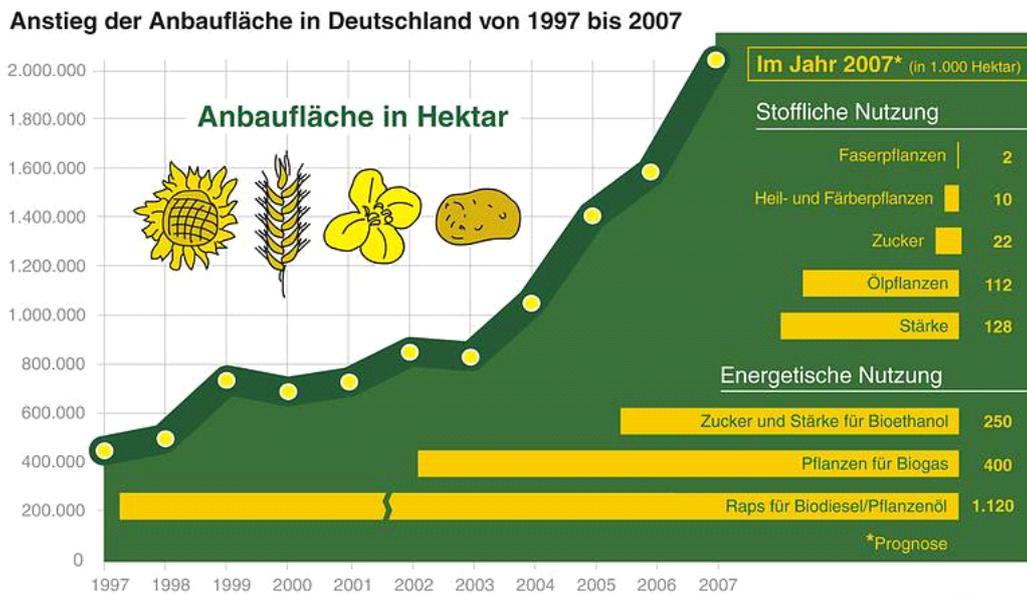


Abb. 8: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland

Quelle: FNR

Neben der Ausweitung des Rapsanbaus, der bei der Herstellung von Biodiesel eingesetzt wird, verzeichnete die FNR auch deutliche Zuwächse bei Energiegetreide und Energiemais (SCHUBERT, 2006).

Betrachtet man die Anbaufläche von Mais für die Biogasnutzung, so hat diese sich im Vergleich zu 2005 mehr als verdoppelt. Demnach wurde 2006 auf 162.072 ha Mais zur Biogasnutzung ausgesät (2005: 69.674 ha). Dieser Wert umfasst sowohl den Anbau auf Stilllegungsflächen (39.070 ha) als auch den Anbau mit Energiepflanzenprämie (123.002 ha). Diese aktuellen Zahlen zum Energiemaisanbau übertreffen die bisherigen Schätzungen für 2006 von rund 140.000 ha deutlich (AGRARHEUTE.COM, 2007). In diesem Zusammenhang gilt es zu berücksichtigen, dass diese Zahlen eine regionale Konzentration des Anbaus einer Kultur (in diesem Fall Mais) nicht widerspiegeln. So stellt Niedersachsen mit knapp 57.000 ha über ein Drittel dieser Anbaufläche, gefolgt von Bayern mit knapp 34.000 ha. Auf den Plätzen drei und vier folgen Nordrhein-Westfalen mit gut 13.000 ha und Schleswig-Holstein mit 12.400 ha. In den neuen Bundesländern Brandenburg und Sachsen-Anhalt ist das Gesamtareal zwar wesentlich kleiner, die Zuwachsraten liegen aber gegenüber dem Vorjahr mit rund 350 % bzw. über 460 % weitaus höher (LAND UND FORST, 2007).

Allerdings könne bei der Gesamtbetrachtung des Maisanbaus (Nahrungs-, Futtermittel- und Energiepflanzen) nach Aussage des Deutschen Maiskomitees e. V (DMK), angesichts vorliegender Maisanbauzahlen, z. Z. nicht von einer Entwicklung hin zu großflächigem Monokulturmais die Rede sein. Angesichts einer Flächenzunahme von 2,4 % innerhalb des letzten Jahrzehnts könne kaum von einem massiven und einseitigen Wachstum des inländischen Maisanbaus gesprochen werden, berichtet das DMK aufgrund neuer Zahlen der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (DEUTSCHES MAISKOMITEE, 2007). Hierbei ist aber zu bedenken, dass in den letzten Jahren die Anbaufläche von Körnermais bundesweit etwas zurückging und durch den verstärkten Anbau von Silomais ausgeglichen wurde und dass davon auszugehen ist, dass immer mehr Silomais zur Energieerzeugung in Biogasanlagen und nicht als Futtermittel genutzt wird (DEUTSCHES

MAISKOMITEE, 2006). Die regionale Konzentration bleibt dennoch ein zu beobachtender Indikator für evtl. Umweltprobleme.

In den nächsten Jahren soll die Anbaufläche für Energie- und Industriepflanzen weiter vergrößert werden. So geht die FNR davon aus, dass rund 17 % des derzeitigen Energiebedarfs in Deutschland durch Bioenergie gedeckt werden und bis 2030 in Deutschland bereits eine Gesamtfläche von vier Mio. Hektar zur Verfügung stehen könnte, ohne dabei die Nahrungsmittelproduktion oder den Naturschutz einzuschränken (SCHUBERT, 2006).

Dabei wird der Mais zweifellos eine der zentralen Pflanzen zur Erzeugung von Biomasse sein. Auch werden der Anbau weiterer Kulturpflanzen und die Nutzung von Teilbrachezeiten durch Zwischenfrüchte zur Steigerung der Energieerträge je Hektar beitragen, wobei Grünlandflächen einzubeziehen sind (LÜTKE ENTRUP, 2004). In den nächsten Jahren werden vor allem die Kulturen für eine energetische Nutzung zum Einsatz kommen, für die etablierte Anbautechniken vorliegen (SCHÜTTE, 2004). So sind z. B. beim Maisanbau die Aussaat, die Pflege, die Düngung und die Ernte relativ einfach und die Technik ist seit vielen Jahren verbreitet eingeführt (VOß, 2007).

5.2. Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus *allgemein* auf landwirtschaftliche Anbausysteme

5.2.1. Flächenkonkurrenz

Eines der Probleme beim Anbau von Energiepflanzen besteht in der Konkurrenz zur landwirtschaftlichen Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln. Gleichzeitig besteht eine Konkurrenz unter den Energiepflanzen (je nach Nutzungsform) bzw. weiter gefasst, den nachwachsenden Rohstoffen im Allgemeinen. So ist z. B. der Anbau von Kulturen zu berücksichtigen, die im chemisch-technischen Bereich eingesetzt werden. Ebenfalls nimmt der Anbau von Holz als Bau- und Energiematerial eine enorme Fläche in Anspruch (2006: rund elf Mio. Hektar) (SCHUBERT, 2006). Mit wachsenden Ansprüchen an diese Nutzungsformen steigt auch die Konkurrenz um Flächen, insbesondere durch Umwandlungen von Acker- und Ödlandflächen in Agroforstsysteme. Auch muss eine Konkurrenz landwirtschaftlicher Anbauformen mit Flächen für den Natur-, Boden-, Klima- und Hochwasserschutz berücksichtigt werden (SCHÜTZ und BRINGEZU, 2006) (s. 5.3.). In diesem Zusammenhang warnt der NABU vor einer Abschaffung der obligatorischen Flächenstilllegung in Deutschland zugunsten des Energiepflanzenanbaus und spricht sich für eine Weiterentwicklung der bisherigen Flächenstilllegung in eine „ökologische Flächenstilllegung“ aus. Durch die Ausdehnung des Maisanbaus wird ein Rückgang der Stilllegungsflächen sowie eine Verengung der Fruchtfolge (s. 5.2.3.) befürchtet (NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND, 2007b), ebenso eine Veränderung des Landschaftsbildes und der Verlust von Lebensräumen (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, 2007).

Eine Möglichkeit, der Flächenkonkurrenz entgegenzuwirken, besteht in der Optimierung von Pflanzen bezüglich der Qualität und der Steigerung des Ertrages, wodurch die Hektarproduktivität erhöht würde. Bei „Teilernten“, also der alleinigen Nutzung von Körnern, werden Ertragssteigerungen von 1 – 2 % pro Jahr erwartet (KALTSCHMITT, 2007; VON WITZKE et al., 2004; SCHUSTER et al., 1982). Größere Erfolge werden z. Z. bei Züchtungsbemühungen zur Ganzpflanzennutzung erzielt (s. Züchtungsansätze der KWS bzgl. des „Energiemais“, 4.2.).

Ein größeres Potenzial im internationalen - weniger im nationalen - Maßstab lassen Züchtungsansätze zur Anpassung von Sorten an ungeeignete und zuvor nicht genutzte Standorte erwarten. In diese

Richtung zielen auch Züchtungen stresstoleranter Sorten mit gentechnischen Verfahren (s. 4.2.1.). Dies zieht allerdings Konsequenzen für den Naturschutz nach sich, indem zum einen Flächen für die landwirtschaftliche Produktion (Food- und Non-Food-Bereich) ausgedehnt werden und Naturräume verloren gehen und zum anderen sich bei einem verstärkten Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Anbausysteme und die natürliche Umwelt ergeben könnten (Kap. 5.4.).

Ein großes Potenzial zur Minderung der Flächenkonkurrenz wird in den neuen Mitgliedstaaten der EU durch die Optimierung von Anbau und Sorten gesehen. Es werden Produktionssteigerungen von bis zu 100 % in den nächsten 20 bis 40 Jahren in der Landwirtschaft prognostiziert (ERICSSON, 2006). Dabei geht man u. a. auch davon aus, dass durch gezielte Pflanzenschutzmaßnahmen und Anbauverfahren weniger Flächen zur Futter- und Nahrungsmittelproduktion benötigt werden. Auch werden optimierte technische Anlagen zur Energiegewinnung genannt. So wächst z. B. das Interesse an der Nutzung erneuerbarer Energien in Polen beträchtlich. Da fast 60 % des Landes landwirtschaftlich bewirtschaftet werden und 29 % Wald und Waldland sind, könnte es folglich ein hohes Biomassepotenzial für die Energiepflanzenproduktion, aber auch aus Höfen mit Viehhaltung, geben (STEINHAUS, 2005).

Eine weitere Möglichkeit in Deutschland die Flächenkonkurrenz zu mindern, sehen Wissenschaftler des Institutes für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in der Nutzung von Straßenbegleitgrün. So könnten nach ihren Berechnungen Straßenränder für die Erzeugung von Bioenergie über den Anbau nachwachsender Rohstoffe (NaWaRo) einen wichtigen Beitrag leisten. Allein die zu Bundesstraßen und Autobahnen gehörigen Randflächen sowie die Flächen der Autobahnkreuze schätzen die Wissenschaftler der FAL derzeit auf fast 72.000 Hektar. Potenziell könnten allein hierauf, z. B. aus schnellwachsenden Gehölzen über das „Biomass-to-Liquid (BtL)“-Verfahren 284 Millionen Liter synthetischer Treibstoff („Sunfuel“) erzeugt werden. Das entspricht etwa 10 % der Menge, die 2010 voraussichtlich zur Erfüllung der angestrebten Substitutionsquote von 5,75 % bei Dieselmotoren benötigt wird bzw. 5 % der Fläche, auf denen NaWaRos in 2006 angebaut wurden (BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2007).

Der Ausbau des ökologischen Landbaus (siehe KUHNERT et al. (2005)) könnte die zukünftig zu erwartenden Produktionssteigerungen im Non-Food-Bereich bremsen, da die ökologische Nahrungsmittelerzeugung pro erzeugter Einheit einen höheren Flächeneinsatz als eine konventionelle Produktion benötigt (SIMON et al., 2007; FRITSCHKE et al., 2004). Durch den Verzicht auf synthetische Düngemittel und Pflanzenschutzmittel erzielt die ökologische Landbewirtschaftung in der EU im Vergleich zu konventionellem Anbau meist niedrigere Flächenerträge. Mit dem weiteren Ausbau des ökologischen Landbaus würde also mehr potenzielle Fläche für die Hohertragsproduktion nachwachsender Rohstoffe wegfallen (KAPHENGST, 2007). Allerdings ist auch zu berücksichtigen, dass ökologischer Landbau geringere Energieinputs und CO₂-Emissionen je Fläche zu verzeichnen hat, ebenso geringere N₂O-Emissionen je Fläche aufgrund eines deutlich geringeren N-Inputs (kein mineralischer Stickstoff) und geringerer N_{min}-Gehalte der Böden und verglichen mit konventioneller Landwirtschaft besser für den Erhalt der Agrobiodiversität ist (HÜLSBERGEN, 2007; PIMENTEL, 2006). Eine wesentliche Rolle für die Konkurrenz um Flächen zwischen ökologischem Landbau und Bioenergiepflanzenanbau spielt die Relation der öffentlichen Förderung beider Optionen.

Die Reduktion des Konsums von Fleisch und anderer tierischer Produkte wird als weitere Option diskutiert, um die Flächenkonkurrenz zu entschärfen, da hierdurch die Inanspruchnahme von Ackerfläche für den Futtermittelanbau insgesamt verringert werden könnte. Die hierfür notwendige

Bereitschaft zur Änderung von Konsumgewohnheiten wird vor allem bei den folgenden zwei, nicht strikt trennbaren, wachsenden Verbrauchergruppen erwartet: Bei denen, die ihren Konsum verstärkt auf Produkte des ökologischen Landbaus umstellen, und bei den Verbrauchern der Lebensstilgruppe LOHAS (Life of health and Sustainability) (PERRY, 2008; BROMBACHER und HAMM, 1990).

5.2.2. Wasserhaushalt

Als starker Einflussfaktor auf den Wasserhaushalt wird der Klimawandel diskutiert. Derzeitige Modellrechnungen lassen erwarten, dass zum einen die Wetterextreme größer werden und dadurch auch die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt größeren regionalen und Jahresschwankungen unterliegen werden. Daneben wird damit gerechnet, dass es in einigen Regionen Deutschlands tendenziell nasser, in anderen dagegen trockener werden wird. Für das Einzugsgebiet der Spree werden beispielsweise aufgrund des Klimawandels akute Wassermangelsituationen prognostiziert (BECKER, 2005; GRÜNEWALD, 2005). Insgesamt sind deutliche Änderungen in Flora und Fauna zu erwarten, die dynamische Leitbilder der Landnutzung erfordern.

Für den Energiepflanzenanbau werden auch stärker wasserzehrende Kulturen wie Mais oder Kurzumtriebsplantagen in Betracht gezogen. Der partielle Effekt ihres Anbaus auf den Wasserhaushalt würde darin liegen, dass die Wasserverfügbarkeit, die Grundwasserbildungsrate und u. U. der Grundwasserspiegel sinken würden (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2006; WINKELMANN, 2006; SPLECHTNA und GLATZEL, 2005). Daraus folgend wäre eine verstärkte Bewässerung, insbesondere auf durchlässigen Böden, notwendig und es wäre mit einer Veränderung der Rahmenbedingungen für die landwirtschaftliche Nutzung in diesen Gebieten zu rechnen (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, 2007). Es ist aber zu erwarten, dass sich der Anbau solcher Kulturen auf Räume mit hinreichender Wasserverfügbarkeit konzentrieren wird. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass in einigen Regionen, vor allem in solchen, die trockener werden, der Anbau wasserzehrender Energiepflanzen die Konflikte zwischen landwirtschaftlicher und außerlandwirtschaftlicher Wassernutzung verschärfen würde. Aus einer Gesamtperspektive sollte man auf beiden Seiten ansetzen: auf der Seite der Städter mit technischen Innovationen und Verhaltensänderungen zur Wassereinsparung, auf der Seite der Landwirtschaft mit Anpassung von Fruchtfolgen, wassersparenden Anbauverfahren, u. a. Beregnungstechniken, sowie mit der Züchtung trockenstresstoleranter Kulturen. Dies Züchtungsziel wird seit Jahren sowohl mit konventioneller Züchtung als auch mit dem Einsatz der Gentechnik verfolgt. Erfolge könnten dazu beitragen, die o. a. Konflikte zu vermindern oder zu vermeiden.

5.2.3. Fruchtfolgegestaltung

Obwohl eine Vielzahl von Energieträgern für die Biomasseproduktion verwendet werden kann, werden gegenwärtig vorwiegend großflächige Felder von Raps zur Erzeugung von Biokraftstoffen und Mais zur Gewinnung von Ethanol und Biogas bevorzugt (s. 5.1.). So ist z. B. Mais derzeit mit circa 90 % Anteil das mengenmäßig am häufigsten eingesetzte Co-Substrat in Biogasanlagen (DEUTSCHES MAISKOMITEE, 2007).

Durch diese einseitige Ausrichtung des Anbaus wird eine Abnahme der Kulturartenvielfalt bei gleichzeitiger Abnahme der Sortenvielfalt befürchtet, was neben der Veränderung des Landschaftsbildes und dem Verlust von Lebensräumen auch eine größere Anfälligkeit des Systems gegenüber Schaderregern und Krankheiten nach sich ziehen würde (s. 5.2.1.). Dies könnte einen verstärkten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln mit entsprechenden Umweltwirkungen auslösen. Um dem zu begegnen müssen Anstrengungen erfolgen, zukünftig Arten und Sorten für den Anbau bereitzustellen.

len, die hierzulande bisher nicht angebaut worden sind bzw. nicht mehr in der Landwirtschaft zum Einsatz kommen (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, 2007).

Bislang sind von den unter 4.3.2. genannten, nicht heimischen Arten keine ökologischen Risiken, wie z. B. eine Verdrängung einheimischer Arten durch eine selbständige Verbreitung oder sonstige über die Anbaufläche hinausgehende negative Auswirkungen auf die heimische Flora und Fauna, bekannt (RODE et al., 2005). Auch Topinambur (*Helianthus tuberosus*), der zur selben Gattung wie die Sonnenblume zählt und der sich insbesondere auf nährstoffreichen Böden entlang eutrophierter Bäche, auf frischen bis feuchten und warmen Standorten ausbreitet, stellt nach Einschätzung der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DVWK) keine Gefahr für die einheimische Artengesellschaft dar. Zum Teil könnten jedoch einzelne Reinbestände problematisch werden und müssen durch Pflegemaßnahmen reguliert werden (DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT ABWASSER UND ABFALL, 1997). Auf weitere ökologische Auswirkungen des Anbaus nichtheimischer Kulturen wird in 5.3. eingegangen.

Für einen Misanbau verschiedener Pflanzenarten, also den gleichzeitigen Anbau zweier oder mehrerer Kulturen auf einer Ackerfläche, sprechen sich AMON et al. (2004) aufgrund ihrer Forschungsergebnisse zum Gärprozess aus. So kann ein ausgewogenes Eiweiß-Energieverhältnis des Gärgutes, welches für die Methanbildung in der Biogasanlage besonders wichtig ist (s. 4.2.), zum Beispiel durch Mischungen aus eiweißreicher Grünlandbiomasse und energiereichem Silomais erreicht werden. Auch eine Sonnenblumen/Energiemais-Mischung kann höhere Methangehalte im Biogas liefern als Mais allein (SCHMIDT, 2005; SCHMIDT und LANDBECK, 2005).

Darüber hinaus kann mit weiteren positiven Synergieeffekten gerechnet werden. So könnte beispielsweise der Mais in einem Misanbau mit *Sorghum* vom geringeren Wasserverbrauch der Hirse profitieren. Im Verbundvorhaben „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA)“ ist das bisherige Fazit, dass Artenmischungen z. T. der Summe der Reinsaaten überlegen sind, jedoch noch viele ungeklärte Fragestellungen, z. B. nach Leitkultur oder optimalen Mischungspartnern (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2007b), zu erforschen sind.

Ebenfalls zeigen erste Probeanbauversuche von Zweifruchtsystemen, also dem Anbau zweier oder mehrerer Kulturen nacheinander innerhalb eines Jahres, der Landwirtschaftskammern Niedersachsen und NRW, dass alternative Energiepflanzen als Energiemix (Getreide-Ganzpflanzen plus Sonnenblume oder Hirsearten) standortabhängig sogar mehr Biogas/ha liefern können. So bringen z. B. *Sorghum*-Hirsens auf trockenen, warmen Standorten Vorteile. Auch Triticale-Ganzpflanze mit anschließendem Sonnenblumenanbau hat auf leichten Böden den Energiemais überholt. Aber auch hier zählen optimale ackerbauliche Maßnahmen wie etwa die richtige Sortenwahl, der optimale Aussaat- und Erntetermin, die Bestandesdichte und eine auf u. a. Standort und Vorfrucht ausgerichtete Düngung (BRÖCKER, 2007). Eine wie in 4.2. beschriebene C3/C4-Pflanzen-Fruchtfolge, von der hohe Biomasse- und damit hohe Energieerträge je Hektar und Jahr erwartet werden (DÖRNTE (2003); zitiert in SCHMIDT, 2005), kann die z. T. negativen Auswirkungen eines großflächigen Anbaus von Mais in Folge relativieren (weiteres s. 5.3.).

Allerdings werden Mehrkultursysteme, die auf einen vielfältigen Anbau in abgestimmten Fruchtfolgen setzen, von den Landwirten bisher kaum aus eigener Initiative nachgefragt und eingesetzt. Dies könnte damit begründet sein, dass für den Mehrkulturanbau ein breiter Erfahrungshintergrund in der Praxis fehlt und damit das Vertrauen in ein neues Anbauverfahren erst langsam wachsen muss. Zudem scheint der Mehrkulturanbau im Vergleich zu Silomais eine anspruchsvollere Planung und Bewirtschaftung der Kulturflächen zu erfordern, so dass offensichtlich zunächst den bekannten und

vermeintlich einfacheren Anbauverfahren mit einer Hauptkultur der Vorzug gegeben wird (RODE et al., 2005). Auch können die aus einem Biomasseanbau in Mehrkultursystemen resultierenden Effekte (z. B. durch andere Erntezeiten) auf den Naturhaushalt derzeit noch nicht abschließend eingeschätzt werden (GRAß, 2003).

Auch im Ökolandbau kommen die Potenziale eines Mehrkulturanbaus innerhalb des Energiepflanzenanbaus bei Anlagenkonzepten bislang kaum zum Einsatz, obwohl z. B. der Energiemaisanbau hervorragend in die Fruchtfolge des Ökolandbaus passt, zumindest dann, wenn die Energiegewinnung über die Biogasanlage erfolgt: Der Nährstoffkreislauf wäre geschlossen und nur die Energie verläße den Hof, sei es in Form elektrischer Energie oder sei es in Form von Wärme. Alle Nährstoffe, die der Mais aus dem Boden aufgenommen hat, werden über das vergorene Substrat dem Boden wieder zurückgegeben (SCHEFFER, 2003). Außerdem könnten im ökologischen Landbau mit dem gezielten Anbau von Energiepflanzen die herkömmlichen Fruchtfolgen erweitert und Aufwüchse von Flächen als Bereitstellung für Biogasanlagen genutzt werden, die ansonsten eher schwierig zu nutzen sind (z. B. Klee gras) (GRAß, 2007).

5.2.4. Regionale Konzentration

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Auswirkungen auf landwirtschaftliche Anbausysteme und die im Folgenden aufgeführten Auswirkungen auf die natürliche Umwelt müssen regionspezifisch betrachtet werden. So treten z. B. Umweltbelastungen durch den Anbau von einjährigen Früchten in unterschiedlichem Maße auf. Die Auswirkungen auf den Naturhaushalt sind dabei auch von den jeweils vorherrschenden Klima- und Bodenbedingungen abhängig. Insofern ist es notwendig, beim Vergleich der Ökobilanzen von Biomasse- und Nahrungspflanzenanbau oder verschiedener Biomasseanbaukulturen untereinander immer ein klar definiertes (standörtliches) Referenzsystem zugrunde zu legen, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Beispielsweise sind die Umweltauswirkungen von wasserverbrauchsintensiven Kulturen an trockenen Standorten anders zu gewichten als in niederschlagsreichen Regionen (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, 2007).

Auch ist bei der Nennung von allgemeinen Anbauzahlen, z. B. auf Bundesebene bezogen, zu bedenken, dass durch eine Konzentration des Anbaus von nur einer oder zwei Hauptkulturen innerhalb einer Region Probleme auftreten, die in Regionen, in denen kein konzentrierter Anbau stattfindet, nicht auftreten. In diesem Zusammenhang weist der Naturschutzbund Deutschland (NABU) darauf hin, dass insbesondere in Nord- und Westdeutschland ein Umbruch von Feuchtgrünland zu Gunsten des Maisanbaus, selbst in ökologisch sensiblen Regionen (Natura 2000-Gebiete), zu beobachten ist (SCHÖNE, 2007).

In dem im Jahr 2005 begonnenen Verbundvorhaben „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA)“ (s. 2.1.1 und 5.2.3.) wird als Zwischenfazit berichtet, dass neben vielen Faktoren der Standort erheblichen Einfluss auf den Trockenmasseertrag und in Verbindung mit der jeweiligen Fruchtart auch mit dem Methanertrag und somit auf die betriebsentscheidende Wirtschaftlichkeit des Energiepflanzenanbaus hat. Bis zum Ende 2008 sollen konkrete Anbauempfehlungen unter Nachhaltigkeitskriterien für verschiedene Regionen zur Verfügung stehen (VETTER, 2007).

5.3. Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus *allgemein* auf die natürliche Umwelt

Mit der Ausweitung des Energiepflanzenanbaus gehen mögliche Auswirkungen auf Schutzgüter des Naturhaushaltes einher. Auf einige Auswirkungen wurde bereits im vorangegangenen Kapitel 5.2. eingegangen, da die mit dem Anbau von Kulturpflanzen einhergehende Beeinflussung der Agrarlandschaft von Auswirkungen auf Naturlandschaften nicht eindeutig voneinander abgegrenzt werden können. So ist, wie in Kapitel 5.2.1. „Flächenkonkurrenz“ dargestellt, davon auszugehen, dass durch den Anbau von Energiepflanzen durch Ausweitung der landwirtschaftlichen Anbauflächen die Konkurrenz um Flächen für den Natur-, Boden-, Klima- und Hochwasserschutz zunehmen wird (SCHÜTZ und BRINGEZU, 2006). Dieses Problem wird dann verstärkt werden, wenn die Möglichkeit des Anbaus stresstoleranter Pflanzen auf zuvor ackerbaulich nicht genutzten Standorten gegeben ist. Auch und gerade in Hinblick auf die sich abzeichnenden Klimaänderungen (Stichwort Wasserhaushalt) könnte diese Option der Optimierung von Pflanzen in Zukunft eine wichtige Rolle einnehmen (s. Kapitel 5.2.2.).

Beim großflächigen Anbau von Raps und Mais, aber auch Zuckerrübe oder Kartoffel, könnte es durch den **verstärkten Einsatz von Düngemitteln** zu einem erhöhten Eintrag von Nährstoffen in Böden, Grund- und Oberflächengewässer und Luft kommen, mit der Folge einer Eutrophierung von Biotopen, der Versauerung der Böden und erhöhten Emissionen von Lachgas und Methan. Ebenso sind durch die **erhöhte Anwendung von Pestiziden** bzw. die Ausweitung des Anbaus pflanzenschutzmittelintensiver (**PSM-intensiver**) **Kulturen** erhöhte Einträge von Wirkstoffen und Metaboliten in Böden, Gewässer und Luft zu befürchten, wodurch eine verstärkte Beeinträchtigung sensibler Lebensgemeinschaften und der Nutzbarkeit von Grund- und Oberflächengewässern gegeben sein kann (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, 2007). Gerade bei einem intensiven Anbau von Silomais mit der Tendenz zur Monokultur ist als Risiko vor allem die **einseitige Belastung des Bodens** durch Verdichtungen und Erosion zu nennen. Es bestehen aber auch Gefahren einer **verstärkten Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingen** und einer ggf. verstärkten Beeinträchtigung der **Biodiversität**, insbesondere wenn es in einigen Regionen durch den Anbau von Silomais als Futtermittel und Energiepflanze zur Dominanz von Maiskulturen kommt (RODE et al., 2005).

Auch in den Vereinigten Staaten haben Umwelt- und Wissenschaftsverbände vor negativen Begleiterscheinungen angesichts der erwarteten Ausdehnung des Maisanbaus zur Herstellung von Bioethanol gewarnt. So bedeute ein verstärkter Maisanbau auch mehr Pestizide, insbesondere Unkrautvernichtungsmittel. Außerdem erhalte Mais höhere Stickstoffgaben als alle anderen wichtigen Ackerbaukulturen (ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, 2008; ANONYMUS, 2007b; PIMENTEL und PATZEK, 2005).

Durch die Vergrößerung von Schlägen können Saumbiotope und Strukturelemente verloren gehen und damit verbunden findet eine **Veränderung des Landschaftsbildes** mit Einschränkung der Erholungsfunktion statt. In diesem Zusammenhang werden Bedenken laut, dass durch neue Kulturen oder durch spezielle Sorten von Energiepflanzen (z. B. sechs Meter hoher Mais) sich das Landschaftsbild ändert. Außerdem ist unter diesem Gesichtspunkt zu befürchten, dass es durch die erhöhte Nachfrage nach Ackerland zu **Landnutzungsänderungen** bzw. Umwandlungen von Flächen kommt und ein Anbau auch in sensiblen Gebieten (NATURA 2000, Naturschutz-/Landschaftsschutz-, Wasserschutzgebiete) stattfindet. Dies könnte den Verlust und die Zerstörung von Treibhausgas-Senken (THG-Senken), den Verlust von Funktionen des Naturhaushaltes durch erhöhte Erosion und schnellen Wasserabfluss oder den Verlust von Lebensräumen und dadurch eine Gefährdung von Arten und Lebensgemeinschaften zur Folge haben (ANONYMUS, 2007b;

SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, 2007; PIMENTEL und PATZEK, 2005; WICHTMANN und SCHÄFER, 2005).

Durch Entnahme organischen Materials, insbesondere bei der Ganzpflanzennutzung, ist mit einer **negativen Humusbilanz**, Versauerung der Böden (VETTER, 2001), einem schnelleren Wasserabfluss, Habitatverlust (insbesondere bei Tot- und Restholzentnahme im Wald) und Beeinträchtigungen von THG-Senken zu rechnen. Grundsätzlich treten geringere Beeinflussungen von Boden und Wasser immer dann auf, wenn bei der Auswahl der Pflanzen für den Anbau die unterschiedlichen Empfindlichkeiten der Standorte gegenüber Erosion, Bodenverdichtung und anderen Bodenbeeinträchtigungen berücksichtigt werden.

Speziell für den Bodenschutz kann eine veränderte **Fruchtfolge** zur Produktion von Biomasse durch eine längere Bodenbedeckung einen positiven Beitrag zur Reduktion von Erosion leisten, wenn kurz bodenbedeckende Kulturen wie Zuckerrüben oder Mais durch Fruchtfolgen mit langdeckenden Kulturen wie Wintergetreide, Klee, Gras und insbesondere durch Gehölzplantagen ersetzt werden. So kann im allgemeinen festgehalten werden, dass mehrjährige, ausdauernde Anbauverfahren (z. B. Kurzumtriebsplantagen für die Gewinnung von Holz und Grünschnitt) weniger negative Umweltauswirkungen verursachen als einjährige, da die aus der Bearbeitung resultierende Bodenerosion sowie der Nährstoff- und Pestizidbedarf geringer sind (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, 2007). Auch KAPHENGST (2007) schlägt den Anbau schnellwachsender Gehölze oder Getreide im Mischfruchtanbau als weniger umweltschädliche Anbaufrüchte vor. Hierbei sieht er allerdings das Problem in einer geringeren Energiedichte verglichen mit einem extensiven Grünlandaufwuchs. Es würden zudem bei schnellwachsenden Gehölzen ausgereifte Nutzungstechnologien fehlen.

WICHTMANN UND SCHÄFER (2005) schlagen vor, dass die bisher meist wertlosen Aufwüchse aus Pflegeschnitt von extensivem Grünland, Niederwald, Windschutzhecken und auch bestimmten Moorbiotopen durch eine energetische Verwendung neue Wertschöpfung erlangen können. Hierfür würde sich besonders die Verbrennung des Erntegutes direkt oder in Form von Hackschnitzeln und Holzpellets anbieten (WICHTMANN und SCHÄFER, 2005).

Auch werden **nichtheimische Kulturen** genannt (s. 4.3.2.), deren Nutzung der einseitigen Ausrichtung des Energiepflanzenanbaus auf die Kulturen Mais und Raps vorbeugen sollen. Allerdings muss trotz des bislang als ökologisch unbedenklich einzustufenden Anbaus o. g. gebietsfremder Arten als Energiepflanzen (s. 5.2.3.) deren Anbau langfristig kritischer betrachtet werden. Ökologische Auswirkungen nicht heimischer Arten werden möglicherweise erst dann sichtbar, wenn der Anbau in größerem Maße stattfindet. Neben unerwarteten, nicht einschätzbaren oder nicht rückgängig machbaren Auskreuzungen könnten in diesen Kulturen vermehrt Pflanzenkrankheiten auftreten oder der Schädlingsbefall zunehmen (SCHÜTTE et al., 2001). Dieses hätte zur Folge, dass, ähnlich wie bei bereits großflächig angebauten Kulturen, z. B. eine höhere Anwendung von Pflanzenschutzmitteln nötig wäre oder aber (in weiter Zukunft), auf die jeweilige Problematik optimierte, gentechnisch veränderte Pflanzen gezüchtet und angebaut werden (zu deren möglichen Umweltauswirkungen s. 5.4.). Auch kann das Problem einer möglichen Verwilderung gegeben sein, und Auswirkungen der Einführung fremder Arten werden oftmals erst zu einem viel späteren Zeitpunkt sichtbar.

Im Kontext der Auswirkungen auf die natürliche Umwelt soll auf die z. Z. laufenden Arbeiten des ZALF Müncheberg hingewiesen werden, die im Rahmen des EVA-Verbundprojektes (s. 2.1.1.) die ökologische Begleitforschung zum Energiepflanzenanbau durchführen. Dabei werden abiotische und biotische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus (Augenmerk auf Produktion von Biogas) analysiert und quantifiziert. Die abiotische Begleitforschung beschäftigt sich mit den Folgen des

Anbaus auf den Humusgehalt, die Grundwasserneubildung, den Nährstoffaustrag, die Erosion und die Energieeffizienz. Die biotische Begleitforschung konzentriert sich auf die Habitatqualität von Energiepflanzenbeständen und –anbausystemen für wildlebende Pflanzen und Tiere (HUFNAGEL et al., 2007).

In den bislang vorliegenden **Ökobilanzansätzen** wurden bei verschiedenen Anbauverfahren für Energiepflanzen zum Teil erhebliche negative Umweltbelastungen festgestellt. Dies betraf zum Beispiel Nährstoffausträge oder die Versauerung von Böden (REINHARDT et al., 2006).

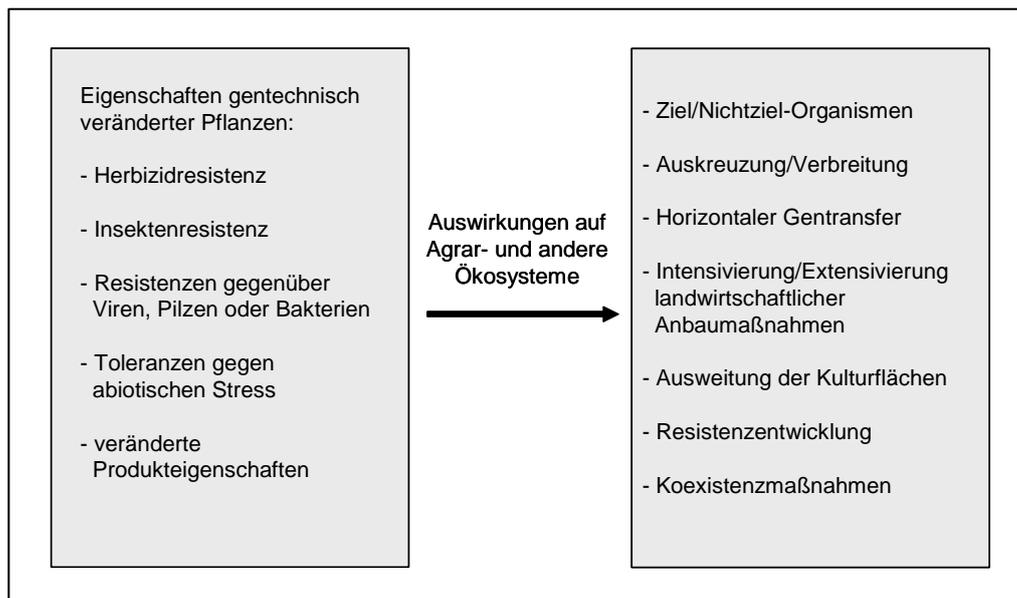
Bei Berechnungen zur Ökobilanz ist es, neben vielen anderen Faktoren, erforderlich, z. B. die Herstellung und Aufbringung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sowie die Umweltauswirkungen der notwendigen Feldbestellungs- und Bearbeitungsgänge, die wiederum mit Energieverbrauch und THG-Emissionen verbunden sind, einzubeziehen. Auch die Transportwege und gewählten Transportmittel (landwirtschaftliche Fahrzeuge oder LKW) zwischen Anbaufläche und Nutzungsstätte sind in einer THG-Bilanzierung zu berücksichtigen (K.E.R.N., 2006; PIMENTEL, 2006; RAMESOHL et al., 2006; RODE et al., 2005). Des Weiteren sollte ein zusätzlicher Energieaufwand für Lagerung oder Trocknung berücksichtigt werden. Insgesamt sollte die Energieeffizienz, d. h. das Verhältnis von gewonnener zu eingesetzter Energie, maximiert werden. (SPLECHTNA und GLATZEL, 2005; WOLTERS, 1999).

Erkannte Belastungen und Gefährdungen der natürlichen Umwelt durch Landbau- und speziell Energiepflanzenanbausysteme bieten aber zugleich Ansatzstellen für Gegenmaßnahmen: Beispielfhaft kann auf der Ebene landwirtschaftlicher Betriebe eine bessere Ausbildung und *precision farming* zur Verringerung des Einsatzes von Pflanzenschutz- und Düngemitteln führen (RÖSCH und DUSSELDORP, 2007). Auf Ebene von Forschung und Entwicklung könnten Innovationen zur Verbesserung der Effizienz, der Rentabilität und der Umweltwirkungen beitragen, auf sektoraler Ebene gilt es die Optionen von *good governance* zu nutzen (s. Kap. 6.).

5.4. Mögliche Auswirkungen des Anbaus *gentechnisch veränderter* (Energie-) Pflanzen auf landwirtschaftliche Anbausysteme und die natürliche Umwelt

Die Umweltwirkungen von gentechnisch veränderten Organismen allgemein werden seit langem auf breiter Ebene diskutiert (Schütte et al., 2001). Ein Überblick der zurzeit diskutierten Umweltwirkungen findet sich in Tab. 2. Ein direkter Bezug zu den allgemeinen Schutzzielen der Umweltpolitik (Boden, Wasser, Luft, Klima, Biodiversität) wird hier nicht systematisch, sondern fallweise nach Relevanz (siehe unten), hergestellt.

Tab. 2: Eigenschaften gentechnisch veränderter Pflanzen und deren mögliche Auswirkungen auf Agrar- und andere Ökosysteme



Quelle: eigene Zusammenstellung (Schorling, M., Stirn, S., Beusmann, V.)

Zurzeit gibt es in der EU noch keine zugelassenen gentechnisch veränderten Pflanzen mit dem speziellen Züchtungsziel der energetischen Nutzung. Die Diskussion in dieser Studie fokussiert daher auf die Frage, welche Erkenntnisse und Argumente aus der allgemeinen Diskussion um gentechnisch veränderte Organismen für deren spezielle Verwendung als Energiepflanzen relevant sein könnten. Wir folgen dem Prinzip *case-by-case*, beginnend mit Bt-Mais, gefolgt von HR-Raps, Winterzuckerrübe und stresstoleranten Pflanzen. Abschließend wird die Problematik der Koexistenz von Landbausystemen mit und ohne Gentechnikeinsatz behandelt:

Bt-Mais

Die einzige derzeit in Deutschland bzw. der EU zum Anbau zugelassene gentechnisch veränderte Nutzpflanze ist ein insektenresistenter Mais (Bt-Mais MON 810). Die Anbaufläche betrug in Deutschland im Jahr 2007 knapp 3000 ha (BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT, 2007). Genutzt wird der Bt-Mais hauptsächlich als Futtermittel. James (2008) zufolge wird der Bt-Mais in den USA bereits zur Ethanolproduktion genutzt (JAMES, 2008).

Zum Anbau von Bt-Mais liegt eine Reihe von ökologischen Studien vor, die - neben Laborversuchen - vor allem die Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen im Feld und im Feldsaum untersucht haben und untersuchen. So wurden u. a. in den Jahren 2001 – 2004 innerhalb des BMBF-Verbundprojektes „Sicherheitsforschung und Monitoring zum Anbau von Bt-Mais (Cry1Ab)“ verschiedene Teilprojekte zu diesem Thema bearbeitet (BIOSICHERHEIT, 2008b). Seit dem Jahr 2005 laufen Untersuchungen innerhalb des BMBF-Verbundprojektes „Freisetzungsbegleitende Sicherheitsforschung transgener Maissorten mit neuen Bt-Genen (Cry3Bb1)“, die sich hauptsächlich mit den Auswirkungen des Anbaus von Bt-Mais mit insektizider Wirkung gegen den Maiswurzelbohrer auf verschiedene Nicht-Zielorganismen beschäftigen (BIOSICHERHEIT, 2007g). Schwerpunktmäßig wurde in beiden Verbundprojekten und in weiteren Studien auf folgende Tierarten- bzw. -gruppen eingegangen:

Laufkäfer: (BIOSICHERHEIT, 2007h; BIOSICHERHEIT, 2007b; SCHORLING, 2006; SCHUPHAN, 2005)
Spinnen: (LANG und LUDY, 2006; SCHORLING, 2006; SCHUPHAN, 2005; FREIER et al., 2004; LANG, 2004; VOLKMAR et al., 2004; BIOSICHERHEIT, 2002a)
Blattläuse: (BIOSICHERHEIT, 2007c; SCHORLING, 2006; SCHUPHAN, 2005; VIDAL, 2004; BIOSICHERHEIT, 2002a)
Blattlausgegenspieler: (SCHORLING, 2006; SCHUPHAN, 2005; VIDAL, 2004; BIOSICHERHEIT, 2002a)
Schmetterlinge: (LANG und VOJTECH, 2006; LANG et al., 2005b; LANG et al., 2005a; FELKE und LANGENBRUCH, 2005; SCHUPHAN, 2005; DEGENHARDT, 2004; BIOSICHERHEIT, 2002a)
Maiszünsler: (KAISER-ALEXNAT und WAGNER, 2007; SCHORLING, 2006; BIOSICHERHEIT, 2002a)
Weitere Tiergruppen: Bienen: (KAATZ, 2005), Zikaden: (SCHORLING, 2006; SCHUPHAN, 2005), Schlupfwespen: (BIOSICHERHEIT, 2005a), bodenökologische/bodenmikrobiologische Untersuchungen: (BIOSICHERHEIT, 2007h; BIOSICHERHEIT, 2007c; BIOSICHERHEIT, 2007b; BIOSICHERHEIT, 2007a; LANG et al., 2005b; LANG et al., 2005a; BÜCHS et al., 2004; BIOSICHERHEIT, 2002a), Blattkäfer: (BIOSICHERHEIT, 2007i), höhere Wirbeltiere (Rind): (ALBRECHT, 2005), Vögel: (BIOSICHERHEIT, 2007f).

Zusammenfassend geht aus diesen Untersuchungen, unter Berücksichtigung der jeweiligen methodischen Herangehensweisen, hervor, dass neben der fast 100 %igen Bekämpfung des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis*) keine signifikanten Veränderungen im Auftreten von Arthropodengesellschaften in Bt-Maisfeldern festgestellt wurden. Allerdings zeigten Fütterungsversuche im Labor eine negative Beeinflussung (vermindertes Wachstum, höhere Mortalität) unterschiedlicher Schmetterlingslarven (LANG et al., 2005a; FELKE und LANGENBRUCH, 2005), der Trauermückenart *Lycoriella castanescens* (BÜCHS et al., 2004) oder Köcherfliegen (ROSI-MARSHALL et al., 2007) durch Aufnahme von Bt-Toxin. Gerade die in einigen Laboruntersuchungen u. a. verwendete Maislinie Bt-176, der mittlerweile jedoch nicht mehr angebaut oder verwendet werden darf (EU-weite Zulassung lief im April 2007 aus), ist aufgrund einer höheren Toxin-Expression problematischer als z. B. die Linie MON810.

In diesem Zusammenhang ist auf die unterschiedliche Aussagekraft von Feldversuchen bzw. Laborversuchen hinzuweisen. Für die Ausarbeitung von Fragestellungen bei Feldversuchen können Laborexperimente dienlich sein, indem man sich anhand der gewonnenen Ergebnisse im Labor (Vorstufe) auf bestimmte Fragestellungen im Feld konzentriert. Grundsätzlich kann im Labor nur ein Bruchteil der komplexen ökologischen Zusammenhänge erfasst werden. Folglich können bei Feldversuchen auch andere oder weitere Umweltwirkungen auftreten.

Laborversuche kann man aber auch mit einer weiteren Zielsetzung betreiben: Die Erfassung seltener Ereignisse (z. B. Mutationsraten, horizontaler Gentransfer) könnte in Freilandversuchen nicht direkt möglich oder aber mit prohibitiven Kosten belastet sein, da man Versuche über sehr lange Zeiträume und unter Umständen für viele Standorte durchführen müsste, um derartige seltenen Ereignisse in

den Stichproben zu erfassen. In diesen Fällen kann es sinnvoller sein, stattdessen "worst-case"-Szenarios im Laborversuch zu testen. Welche Relevanz Ergebnisse aus solchen Versuchen für die Freilandpraxis haben, muss gesondert diskutiert werden.

Zu den o. g. Fütterungsversuchen von Schmetterlingslarven mit Bt-Pollen im Labor ist Folgendes anzumerken: Verschiedene Schmetterlinge kommen z. T. selten in großen Maisschlägen bzw. der Ackerbegleitflora vor und sie können in den Saum ausweichen. Außerdem fällt der Blühzeitpunkt nicht unbedingt mit dem Auftreten von Schmetterlingslarven zusammen. Dennoch ist zu berücksichtigen, dass Bt-Pollen in dem an ein angrenzendes Bt-Feld liegenden Saum vorkommen kann und somit eine „über die Grenzen des Feldes“ hinausreichende Beeinträchtigung vorliegen kann. Dies zeigten Versuche zum Fraßverhalten unterschiedlicher Schmetterlingslarven von FELKE und LANGENBRUCH (2005). Sie schlagen vor, nur Linien mit äußerst geringer Toxin-Expression im Pollen zuzulassen und darüber hinaus sollte beim Anbau von Bt-Mais eine Mantelsaat mit konventionellem Mais angelegt und Mindestabstände im Besonderen zu Naturschutzgebieten festgelegt werden. So sei z. B. auf die Entscheidung des Verwaltungsgerichts Frankfurt/Oder vom 13.7.2007 hingewiesen, die den Anbau von MON810 an einem Naturschutzgebiet untersagt, da MON810 einem Schädlingsbekämpfungsmittel gleichzustellen sei und über Pollenflug in das Naturschutzgebiet gelangen könnte (ANONYMUS, 2007d).

Viele der genannten Studien geben Empfehlungen für ein Monitoring gentechnisch veränderter Kulturen. In weiteren Studien wurden Konzepte und Methoden zum anbaubegleitenden Monitoring erstellt (BIOSICHERHEIT, 2006b; MEIER, 2005; BEIBNER, 2004; LEIBNIZ-ZENTRUM FÜR AGRARLANDSCHAFTSFORSCHUNG, 2004; VRIES, 2004; SCHIEMANN et al., 2003; WILHELM, 2003; WILHELM, 2002). Weitere Ausführungen zum Monitoring s. 6.3.

In den fünfjährigen Untersuchungen von SCHORLING (2006) zu den ökologischen und ökonomischen Implikationen des Bt-Maisanbaus unter Praxisbedingungen wurde ein aus wirtschaftlicher Sicht relativ geringer Befall des Maiszünslers festgestellt. Ein Anbau von Bt-Mais brachte zwar eine Ertragsicherung aber keine Ertragssteigerung verglichen mit der isogenen Linie.

Mit der Ausweitung des Maisanbaus, vor allem bei einer regionalen Konzentration, einem eingegengten Fruchtwechsel und evtl. mit sich ändernden Klimabedingungen, kann der Befall durch den Maiszünsler und zukünftig auch durch den Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera*) allerdings zunehmen (GRAB, 2007; SCHORLING, 2006). Daher ist mit einer verstärkten Bekämpfung zu rechnen, die durch verschiedene Maßnahmen erfolgen könnte. So wäre eine Bekämpfung durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen wie Pflügen oder Schlägeln möglich, durch biologische Bekämpfungsvarianten mittels *Trichogramma* oder Bt-Präparaten, durch die aktuell zugelassene chemische Variante (Insektizid STEWARD) oder durch den Anbau von Bt-Mais.

Betrachtet man den Anbau von Bt-Mais als eine Insektizidmaßnahme, so steht der Anbau von Bt-Mais per se im Widerspruch zu der von verschiedenen Seiten des Naturschutzes geforderten Zielvorstellung eines möglichst ohne oder mit nur wenig Pflanzenschutzmitteleinsatz auskommen- den Energiepflanzenanbaus (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2007b; BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2007a; NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND, 2007a; BUND FÜR UMWELT- UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND, 2007). Allerdings sind ein insektenresistenter Mais und ein Insektizid, trotz identischer gewünschter Wirkung, nämlich dem Ausschalten des Schädlings, nicht ohne weiteres zu vergleichen: Sie unterscheiden sich z. B. in der Wirksamkeit und Wirkdauer. Während der Bt-Mais durch seine Bt-Toxin-Expression während der ganzen Vegetation wirksam ist, ist es beim Einsatz von Insektiziden schwierig, den richtigen Zeitpunkt der Bekämpfung zu treffen. Auch treten unterschiedliche toxikologische und ökotoxikologische Nebenwirkungen bei insektenre-

sistenten Pflanzen und bei chemischen Insektiziden auf. Im Vergleich zwischen chemischen Insektiziden und Bt-Präparaten ist zu bedenken, dass Bt-Präparate noch kürzer wirken und für einen vergleichbaren Wirkungsgrad u. U. mehrere Behandlungen erforderlich sind. Dies kann umweltfreundlicher sein, erfordert aber einen höheren Arbeitsaufwand. Schließlich unterscheiden sich Bt-Präparate und Bt-Pflanzen im Wirkungsgrad, in der Wirkdauer sowie in den eingesetzten Toxinen: Ein einzelnes Toxin in Hochdosis bei Bt-Pflanzen, ein Gemisch mehrerer Toxine in geringerer Dosierung in Bt-Präparaten (SCHÜTTE et al., 2001).

Im Hinblick auf eine gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz, nach der Pflanzenschutzmaßnahmen nur gezielt, d. h. orientiert am Schaderregerauftreten, durchzuführen sind, sollte Bt-Mais nur für bekannte Befallslagen und –prognosen in Betracht kommen. Mit Bt-Sorten wird über die gesamte Vegetationsperiode, also nicht zeitlich gezielt, ein Insektizid angewandt, wodurch nicht zuletzt eine Selektion resistenzbrechender Zünsler gefördert werden kann (LANG et al., 2005b). Aus diesem Grund werden Anbauvorschriften vorgegeben (Stichwörter: Resistenzmanagement, Refugienstrategie).

Zu den bisherigen Überlegungen eines möglichen Anbaus von Bt-Mais muss ergänzt werden, dass der Mais, der für die Nutzung in Biogasanlagen angebaut wird, schon zu einem recht frühen Zeitpunkt (wenn er noch relativ grün auf dem Feld steht) geerntet wird. Zu diesem Zeitpunkt kommt ein möglicher Maiszünslerbefall noch nicht so stark zum Tragen. Die ökonomische Schadensschwelle, ab der eine Behandlung oder Vorsorge für den Landwirt rentabel ist, wird entsprechend seltener überschritten. Erst zu einem späteren Erntezeitpunkt, wie z. B. für die Ethanolproduktion, wirkt sich der Befall stärker aus, die Pflanzen sind z. T. abgebrochen oder bilden kleinere Kolben aus.

Raps

Für die Nutzung von Raps als Energiepflanze gibt es bisher keine speziellen Züchtungsziele. Eine mögliche Option des Anbaus einer gentechnisch veränderten Rapspflanze im Energiepflanzenanbau wäre ein herbizidresistenter Raps. Hierzu liefen in den vergangenen Jahren zahlreiche Untersuchungen (BIOSICHERHEIT, 2006c; BIOSICHERHEIT, 2005b; BIOSICHERHEIT, 2004; FUNKE, 2004; MIDDELHOFF et al., 2004; SCHÖNFELD et al., 2004; SCHRÖDER, 2004; BIOSICHERHEIT, 2003; BRECKLING et al., 2003; HENRY et al., 2003; SICK et al., 2003; BIOSICHERHEIT, 2002b; SAURE et al., 2001; RUHLAND, 2000; HOFFMANN, 1994).

Der Schwerpunkt der Studien wurde auf die Auskreuzung beim großflächigen Anbau gesetzt. So zeigten z. B. Untersuchungen von DIETZ-PFEILSTETTER (1999), dass mit zunehmender Entfernung die Einkreuzung der Transgene in alle Richtungen stark abnahm. In 50 Meter Entfernung von den transgenen Pflanzen lag die Einkreuzungshäufigkeit unabhängig von der Windrichtung im Mittel unter 0,1 Prozent. Durch eine zehn Meter breite Freifläche zwischen den unterschiedlichen Rapsflächen wurde die Einkreuzung in die Mantelsaat insbesondere am inneren Feldrand deutlich reduziert.

Am Institut für integrierten Pflanzenschutz der BBA in Kleinmachnow wurde in den Jahren 1998 – 2000 unter praxisnahen Bedingungen das Ausmaß einer Pollenverbreitung von transgenem herbizidtolerantem Raps sowohl über den Wind als auch über Insekten festgestellt. Dabei wurden Wildbienen, z. B. Erdhummeln und Sandbienenarten, als wichtigste Pollenüberträger des Rapses auf verwandte Pflanzenarten ausgemacht. Die Rapspollenmenge nimmt in starker Abhängigkeit von Temperatur und Niederschlag in der Luft mit zunehmender Entfernung vom Feld rasch ab und beträgt in einem Abstand von zehn Metern noch ca. vier bis fünf Prozent. Unter Freilandbedingungen konnte eine Auskreuzung des Transgens auf *Sareptasenf* nachgewiesen werden. Die aus der

Auskreuzung von transgenem Raps auf Sareptasenf hervorgegangenen Nachkommen waren zum Teil fruchtbar (BIOSICHERHEIT, 2002b; SAURE, 1999).

In weiteren Studien des Instituts für integrierten Pflanzenschutz der BBA in Kleinmachnow und des Instituts für Agrarökologie der FAL in Braunschweig in den Jahren 2001 – 2004 wurde untersucht, welchen Anteil die DNA von transgenem Pollen an der Gesamt-DNA des gesammelten Pollens und damit am Futter von Bienenlarven besitzt und ob eine Mantelsaat aus konventionellem Raps diesen Anteil verringert, und zum anderen, ob es bei der Verdauung von Rapspollen in Bienen zu einem Gentransfer von Raps-DNA, insbesondere transgener DNA auf Mikroorganismen des Magen-Darmtraktes der Bienen kommt. Dabei stellte sich heraus, dass alle untersuchten Bienenarten transgenen Rapspollen aus den Versuchspartzen gesammelt und an ihre Brut verfüttert haben. Während bei der Honigbiene (*Apis*) und der Erdhummel (*Bombus terrestris*) die Anteile etwa drei Prozent betragen, wurde von den Mauerbienen (*Osmia rufa*) bis zu elf Prozent transgener Pollen gesammelt. Zudem zeigten die Untersuchungen, dass die Barrierefunktion einer Mantelsaat aus konventionellem Raps nicht ausreicht, um eine Pollenausbreitung in angrenzende Kulturflächen zu verhindern. Auch in einer Entfernung von 100 Metern enthalten über 30 Prozent der Brutzellen der Mauerbiene transgene Rapspollen, was bedeutet, dass transgene Pollen auch in entferntere Kulturflächen getragen werden. Der Anteil transgener Pollen am Larvenfutter erreichte in 25 Metern 1,6 Prozent, in 100 Metern 0,8 Prozent (SICK et al., 2004).

Die FAL konnte bei diesen Untersuchungen keinen Transfer von Glufosinat-Resistenzgenen aus Pollen von GVO-Raps auf Darmbakterien unter Freilandbedingungen nachweisen und sieht dies damit auch als ein sehr unwahrscheinliches Ereignis an. Dennoch sei das genetische Potenzial zur Aufnahme von DNA aus der Umwelt bei Darmbakterien vorhanden und sollte im Zusammenhang mit der Sicherheitsbewertung beim Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen berücksichtigt werden. Allerdings seien die ökologischen Konsequenzen eines horizontalen Gentransfers von herbizidtolerantem Raps nicht signifikant, da ein erheblicher Anteil der Bakterien in der Umwelt bereits natürlich resistent gegenüber Glufosinat sei (TEBBE, 2004).

Zuckerrübe

Ein Anbau gentechnisch veränderter „Winterzuckerrüben“ (s. 4.4.) wäre für die rübenverarbeitende Industrie interessant, da bisherige Rüben erst relativ spät (im Oktober) den höchsten Zuckergehalt erreichen. Das heißt, alle Rüben in Deutschland müssen innerhalb von wenigen Wochen geerntet werden. Die Zuckerfabriken müssen daher eine hohe Kapazität für wenige Wochen im Jahr bereithalten und liegen den Rest des Jahres still. Mit der Winterrübe könnte man den Erntezeitpunkt wahrscheinlich deutlich vorverlegen. Die damit mögliche Streckung des Erntezeitraums wäre für die Zuckerfabriken ökonomisch interessant (CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT KIEL, 2005). Auch könnten sich dadurch neue Möglichkeiten der Fruchtfolgegestaltung ergeben.

Welche ökologischen Auswirkungen von der gentechnisch veränderten „Winterzuckerrübe“ ausgehen, ist noch nicht abzusehen. Da aber nicht wie z. B. bei einer insektenresistenten Sorte ein Schädling ausgeschaltet wird, findet auch kein direkter Eingriff in eine trophische Interaktionskette statt. Allerdings könnte die Verschiebung des Aussaat- und Erntetermins Auswirkungen auf die Fauna in Zuckerrübenbeständen haben.

Stresstolerante Pflanzen

In Hinblick auf stresstolerante (trocken-, salz-, kühetolerante) Pflanzen (s. auch 4.10.) können durch Ausdehnung landwirtschaftlicher Produktionsflächen (Food- und Non-Food-Bereich) Naturräume, die zuvor nicht nutzbar waren, verloren gehen. Durch Auswirkungen des Klimawandels wird der Fitnessvorteil unter Stressbedingungen gegenüber nicht veränderten Pflanzen sichtbarer (s. auch 5.2.2.). Bei Auskreuzung der Stresstoleranzen auf Wildpflanzen erlangen diese einen Fitnessvorteil gegenüber Konkurrenten und können sich stärker zu deren Lasten ausbreiten. Gleiches könnte eintreten, wenn die gentechnisch veränderte Kulturpflanze in Naturräumen überlebensfähig ist (SCHÜTTE et al., 2001).

Koexistenz von Landbausystemen

Die Problematik der Auskreuzung steht auch im Zentrum der Koexistenzdebatte. Hierzu wurde seit 2004 in Deutschland ein Erprobungsanbau mit Bt-Mais durchgeführt. Die Ergebnisse der Jahre 2004 und 2005 waren recht unterschiedlich. So wurden im zweiten Untersuchungsjahr auch in größeren Entfernungen (bis 30 Meter) GVO-Einträge gemessen, die den für die Kennzeichnung maßgebenden Schwellenwert von 0,9 % überschritten. Die Projektnehmer schlagen aufgrund der Ergebnisse sowie ausgewerteter Literatur als Empfehlung für die Praxis einen Abstand zwischen Bt-Mais und konventionellem Mais von 50 Metern mit einer beliebigen anderen Feldfrucht vor. Zusätzlich sollte ein Streifen von 25 Meter des konventionellen Mais zusammen mit Bt-Mais verwertet und entsprechend gekennzeichnet werden. Der Erprobungsanbau berücksichtigt jedoch nur mögliche GVO-Einträge durch Pollenflug. Weitere Aspekte, wie etwa mögliche Vermischungen während und nach der Ernte, bei Transport, Lagerung und Verarbeitung, sollen im Weiteren untersucht werden (TRANSGEN, 2007c). Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) hat die begonnenen Versuche zur Koexistenz verschiedener landwirtschaftlicher Systeme mit und ohne Gentechnik fortgesetzt. Anhand dieser ersten Ergebnisse war eine Ableitung von verlässlichen Mindestabständen noch nicht gegeben (BIOSICHERHEIT, 2006a).

Weitere Studien geben größere Auskreuzungsraten für Mais an. So maßen HENRY et al. (2003) in 150 m Abstand 0,3 % Auskreuzung und maximal 0,14 % in 650 m. JEMISON und VAYDA (2001) maßen in 100 m Abstand 0,65 % Auskreuzung. Bei der Ableitung von Mindestabständen ist zu beachten, dass es, wie alle Untersuchungen zeigen, Jahresschwankungen gibt, und dass die 0,9 % Beimischung, ab der eine Kennzeichnung erforderlich wird, nicht gleich bei der Ernte ausgeschöpft wird, sondern dass noch ein Puffer für andere Vermischungsschritte bei gemeinsamer Lagerung oder Verarbeitung usw. verbleibt.

In der vom Bundestag am 25.01.2008 und vom Bundesrat am 15.02.2008 beschlossenen Novelle des Gentechnikrechts (BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG, 2008a) wird für GV-Mais ein Mindestabstand gegenüber konventionellen Maiskulturen von 150 Metern und gegenüber ökologischen Maiskulturen von 300 Metern in der Verordnung zur Guten fachlichen Praxis festgesetzt. (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2007). Für weitere Kulturen liegen Daten für Anbauempfehlungen vor (BIOSICHERHEIT, 2006a), die aber nicht gesetzlich verankert sind.

Fragen der Koexistenz könnten auch bei Ausweitung des Anbaus konventionell gezüchteter Energiepflanzen auftreten. Da bei der Züchtung von Pflanzen als nachwachsende Rohstoffe, gerade wenn neue Inhaltsstoffe aus Pflanzen nutzbar gemacht werden, oftmals ein anderes Züchtungsziel als bei Nahrungs- und Futterpflanzen verfolgt wird, könnte es beim großflächigen Anbau und letztend-

lich bei der Ernte zu Problemen kommen. Erfahrungen diesbezüglich bestehen bereits beim Anbau von Raps mit hohem Erucasäure-Gehalt für die Waschmittelindustrie (s. 4.1.) und mit geringem Erucasäure-Gehalt für Futter- und Nahrungsmittel. Um die Gefahr einer Vermischung des Erntegutes mit unterschiedlichen Erucasäure-Gehalten bei der Ernte, Transport oder Lagerung, aber auch durch Auskreuzung oder Durchwuchs zu minimieren, findet z. Z. der Anbau von Eruca-Raps in geschlossenen Anbaubereichen statt. Eine regionale Spezialisierung ist auch für den Anbau von Energiepflanzen, bei denen keine Vermischung stattfinden soll, als Lösung des Koexistenzproblems denkbar.

5.5. Zusammenfassung Modul 3

Zurzeit stellt der Anbau von Energiepflanzen im Vergleich zum Anbau von Nahrungs- und Futterpflanzen, zumindest was das Angebot an Sorten betrifft, keine gravierend neue Form der Landwirtschaft dar. So gibt es zwar bereits einzelne Sorten, welche als Energiepflanzen vermarktet werden, weil sie auch für diesen Anbau besonders geeignet sind. Die Unterschiede zu Sorten für den Nahrungs- und Futtermittelbereich sind aber nur marginal, so dass aus ökologischer Perspektive die direkten Auswirkungen einer angebauten Sorte bzw. Kultur, unabhängig vom Verwendungszweck, zunächst nahezu identisch sein dürften. Eine Ausnahme bildet der in der Entwicklung befindliche „Energieraps“ der KWS, der aufgrund seiner großen Wuchshöhe (bis zu 5 m) im wahrsten Sinne des Wortes aus dem Angebot an Energiepflanzen herausragt.

Die Unterschiede zwischen dem Energiepflanzenanbau und dem Anbau von Nahrungs- und Futterpflanzen sind deutlicher, wenn man sich die ackerbaulichen Maßnahmen für die unterschiedlichen Nutzungsformen anschaut. So bestehen z. B. Unterschiede in den Aussaat- und Ernteterminen und evtl. im Aufwand an Pflanzenschutzmitteln, der beim Energiepflanzenanbau aufgrund geringerer Qualitätsansprüche z. T. geringer ausfallen kann. Dies wirkt sich auf ökonomischer Ebene aus, aber auch auf die natürliche Umwelt.

Die Probleme um „Flächenkonkurrenz“, „Wasserhaushalt“, „Fruchtfolgegestaltung“ und „regionale Konzentration“ werden im Besonderen sichtbar, wenn man sich von einem Einzelflächenvergleich löst und alle Anbau- bzw. Nutzungsformen zusammen betrachtet, was im Sinne der nachhaltigen Gestaltung der Landwirtschaft zwingend erforderlich ist.

Die Züchtung kann Beiträge zur Lösung bestimmter Herausforderungen leisten: Die Konkurrenz um Flächen könnte durch Sorten mit höherem Ertragspotenzial verringert werden. Allerdings werden hier nach Aussage der befragten Züchter und Forscher z. Z. keine Potenziale in der Gentechnik gesehen. Konventionelle Züchtung mit biotechnologischen Verfahren wird als ausreichend erachtet. Die Probleme um „Wasserhaushalt“, die sich mit zunehmender Klimaänderung verschärfen wird, könnte durch Züchtung stresstoleranter Pflanzen begegnet werden. Hierbei werden neben konventioneller Züchtung auch Potenziale in der Züchtung mittels gentechnischer Verfahren gesehen. Durch den Anbau trocken-/stresstoleranter Pflanzen würde sich die ackerbaulich genutzte Fläche zu Lasten der naturnahen Fläche ausdehnen und sich die Problematik der Auskreuzung gentechnisch veränderter Kulturen verschärfen. Sollte der großflächige Anbau einzelner Kulturen ausgedehnt werden, so werden vermehrt Krankheiten und Schädlinge auftreten. Dies könnte zu einem höheren Einsatz von Pflanzenschutzmitteln führen wie auch zu einem verstärkten Einsatz der Gentechnik, z. B. in Form von insektenresistenten Sorten.

Ökologische Untersuchungen zu gentechnisch veränderten Pflanzen wurden insbesondere zu Nichtzielorganismen sowie zu Auskreuzung und Verwilderung durchgeführt. Die Untersuchungen zur Auskreuzung sind auch in Hinblick auf Fragen der Koexistenz von Landbausystemen mit und

ohne Gentechnik relevant. Bei den in Feldstudien untersuchten Nichtzielorganismen wurden bislang keine signifikanten negativen Auswirkungen gefunden. Allerdings zeigten Fütterungsversuche mit einem Bt-Mais mit höherer Bt-Toxin-Expression im Labor eine negative Beeinflussung unterschiedlicher Schmetterlingslarven, Trauermücken und Köcherfliegen durch Aufnahme von Bt-Toxin. Auf der Basis von Untersuchungen zu Auskreuzung und Verwilderung wurden für Mais, die derzeit einzige in der EU zum Anbau zugelassene gentechnisch veränderte Pflanze (MON 810), inzwischen Abstandsregeln für Koexistenz im Anbau gesetzlich festgelegt. Für stresstolerante gentechnisch veränderte Pflanzen werden zwei Effekte diskutiert: Eine Ausdehnung der Anbauflächen zu Lasten bisher nicht genutzter Flächen sowie das Risiko der Auskreuzung auf Wildpflanzen und eine Ausbreitung der Kulturpflanzen bei Fitnessvorteilen gegenüber konkurrierenden Pflanzen.

Die Optimierung von Pflanzen mittels Gentechnik ist nur eine Option unter den Züchtungsmethoden und Züchtung ist nur ein Element zur Verbesserung des Ackerbaus in Hinblick auf ökonomische und Umweltziele. Beispielhaft kann dem verstärkten Auftreten von Krankheiten und Schädlingen oder dem Problem „Flächenkonkurrenz“ z. T. auch durch eine durchdachte Fruchtfolgegestaltung begegnet werden. Ebenso könnte durch ackerbauliche Maßnahmen, wie z. B. dem Misanbau von *Sorghum* und Mais, flexibel auf ein wechselndes Wasserangebot des Standortes reagiert werden. Hierzu werden bereits einige Anbauversuche durchgeführt. In Hinblick auf zukunftsfähige Lösungen im Landbau sollten aber die Wechselbeziehungen zwischen Züchtung und Anbausystem nicht nur unter dem Gesichtspunkt möglicher Konkurrenzen, sondern vor allem unter dem Aspekt der optimalen Abstimmung und Gewichtung beider Teilkomponenten betrachtet werden.

Mittel- bis langfristig ist unter geeigneten Rahmenbedingungen vorstellbar, dass spezielle Sorten, spezifische Anbausysteme und stark verbesserte Konversionsprozesse für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung stehen. Über deren ökologische Implikationen kann derzeit noch keine Aussage getroffen werden, Umweltverträglichkeitsprüfungen müssten einzelfallspezifisch durchgeführt werden. Für gv-Pflanzen ist eine derartige Prüfung im Rahmen des Zulassungsverfahrens vorgeschrieben.

6. Herausforderungen an eine *good governance* konventioneller und gentechnisch veränderter Energiepflanzen (Modul 4)

Die vorangegangenen Analysen fokussierten auf technische Potenziale gentechnisch veränderter Energiepflanzen und ihrer möglichen Umweltwirkungen. Die folgenden Betrachtungen richten sich ergänzend auf sozioökonomische Wirkungen (Kap. 6.1) sowie auf Steuerungserfordernisse und –konzepte im Sinne einer *good governance* in Hinblick auf ökonomische, ökologische und soziale Zieldimensionen nachhaltiger Entwicklung (Kap. 6.2; zu Konzeption der Politikberatung s. a. BEUSMANN (2007); zu den Kriterien für eine *good governance* im internationalen Rahmen s. z. B. DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR AUSWÄRTIGE POLITIK (2007); DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (2007) und die dort genannten Quellen). Abschließend werden die Rolle von konventioneller und gentechnischer Züchtung sowie die Gentechnikregulation erörtert (Kap. 6.3.).

6.1. Sozioökonomische Implikationen und Steuerungsoptionen

Zu Energiepflanzen allgemein sind in letzter Zeit sehr viele, auch kontroverse Beiträge von Vertretern der Wissenschaft, der Politik, der Wirtschaftsakteure sowie nichtkommerzieller Nichtregierungsorganisationen (NGO) erschienen und von Medienvertretern aufgegriffen sowie kritisch

kommentiert worden, sowohl auf nationaler Ebene (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT AGRARPOLITIK BEIM BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2008; KLEIN und KESTEN, 2007; SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, 2007; WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG BEIRAT GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN, 2007; WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN, 2003) als auch auf internationaler Ebene (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2008; SWEDISH RESEARCH COUNCIL FOR ENVIRONMENT AGRICULTURAL SCIENCES AND SPATIAL PLANNING, 2008; CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY, 2007; DOORNBOSCH und STEENBLIK, 2007; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2007; RUNGE und SENAUER, 2007; THE WORLD BANK, 2007; HAZELL und PACHAURI, 2006; WORLDWATCH INSTITUTE, 2006).

In diesen Beiträgen geht es insbesondere darum, unter welchen Bedingungen welche Formen von Bioenergien einen wie großen Beitrag zu den verschiedenen Politikzielen leisten können, ob es dabei zu Konflikten mit anderen Politikzielen kommt und welche Schlussfolgerungen daraus für die Steuerung gezogen werden sollen.

Diesen breiten Diskurs strukturiert aufzuarbeiten und die Argumente auf den Prüfstand einer Technik- und Politikfolgenabschätzung zu stellen, wäre eine eigene umfassende Aufgabe, die den Rahmen dieser Studie sprengen würde. Der Ansatz ist hier wesentlich bescheidener, es sollen einige Konsense und Kontroversen im Sinne von Prüfkriterien im Einzelfall und einige Reflexionen zu Konsequenzen für die Steuerung im Sinne von *good governance* benannt werden. Die Untersuchung der Argumente zum Energiepflanzenanbau insgesamt im weltweiten Kontext hat hier den Zweck, den weiteren Rahmen darzustellen, in den die Frage nach gentechnisch veränderten Energiepflanzen eingebettet ist.

Im Folgenden werden zunächst einige der wichtigsten Konsensaussagen kurz benannt. Der Schwerpunkt liegt dann aber auf Kontroversen. Diese sollten im Prinzip als eine Checkliste von Voraussetzungen gelesen werden, die zu klären sind, wenn Energiepflanzen einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung liefern sollen. Die Ausführungen betreffen zunächst den Energiepflanzenanbau insgesamt und darauf aufbauend die Besonderheiten für gentechnisch veränderte Energiepflanzen.

Konsens besteht global in längerer Perspektive in den o. a. Quellen über folgende Aussagen:

1. Der Ersatz von endlichen durch erneuerbare Ressourcen wird als wichtiger Beitrag in Richtung Nachhaltigkeit eingeschätzt.
2. Energie aus land- und forstwirtschaftlicher Biomasse gilt als wichtiger Beitrag zur nachhaltigen Klima-, Energie-, Umwelt- und Agrarpolitik, so weit es sich um Reststoffe der Land- und Forstwirtschaft handelt.

Die wichtigsten **Kontroversen** drehen sich um wachsende Konkurrenz zwischen den verschiedenen Flächennutzungsoptionen, die Treibhausgasbilanzen für Energieträger aus Biomassen, Einkommens- und Beschäftigungseffekte, mögliche Gewinner und Verlierer, Versorgungssicherheit, Internationale Verträglichkeit von Energieimporten aus Energiepflanzenanbau, die Effizienz der Förderpolitiken in Hinblick auf die angestrebten Ziele der Klima-, Energie-, Umwelt-, Agrar- und Versorgungspolitik sowie die Grundsatzfrage dynamisch lernender Politikgestaltung zwischen Kontinuität und Flexibilität.

6.1.1. Flächenkonkurrenz

Vor allem Ziele in der Welthungerbekämpfung konkurrieren mit einer nachhaltigen Ressourcen- und Umweltpolitik:

Nahezu 1 Mrd. Menschen sind derzeit unzureichend mit Nahrungsmitteln versorgt, die Nachfrage nach Lebens- und Futtermitteln steigt mit der Weltbevölkerung, und der Pro-Kopf-Verbrauch wächst mit steigenden Einkommen. Insbesondere in Schwellenländern steigt die Nachfrage nach tierischen Produkten und somit nach Futtermitteln. Diese bereits lange prognostizierten Triebkräfte sind jüngst stärker geworden und mit wetterbedingten Ernteaufschlägen sowie steigenden Energiepreisen und politischen Biotreibstoffprogrammen in vielen Industrie- sowie zunehmend auch in Schwellenländern zusammengetroffen. Mais in den Tanks der Reichen verteuert und vermindert den Mais auf den Tellern der Ärmsten, die ihn als bisher günstigstes Grundnahrungsmittel verzehrt haben: Das U.S. Energieprogramm hat im Jahr 2007 erheblich zu den starken Preissteigerungen für Tortilla in Mexiko beigetragen (THE WORLD BANK, 2007).

In Südafrika hat die Regierung die Herstellung von Biosprit aus Mais gestoppt sowie das Langfristversorgungsziel, 4,5 % der Kraftstoffe aus Pflanzen herzustellen, auf 2 % gesenkt.

Das International Food Policy Research Institute (HAZELL und PACHAURI, 2006) sowie das World Watch Institute (2007) im Auftrag von BMELV, FNR und GTZ haben Studien erstellt, in denen Beispiele für Energiepflanzenproduktion dargestellt werden, die zu einer möglichst geringen Belastung der Nahrungsmittelmärkte führen (WORLDWATCH INSTITUTE, 2006). Dabei wird allerdings auch auf Biotreibstoffe der 2. Generation verwiesen, die durch Zelluloseaufschluss aus Reststoffen gewonnen werden, sich aber noch in der Entwicklung befinden.

In diesem Zusammenhang sind auch die in Kapitel 5.2.1. genannten Vorschläge zu nennen, Straßenbegleitgrün und Reststoffe für die Herstellung von Biotreibstoffen zu verwenden.

Direkte Flächenkonkurrenzen bestehen in Deutschland zwischen der Ausweitung des Energiepflanzenanbaus, der Nahrungsmittelproduktion im konventionellen und vor allem im ökologischen Landbau (sinkende inländische Marktanteile in wachsendem Markt), nachwachsenden Rohstoffen für die stoffliche Nutzung sowie bisherigen Stilllegungsflächen, die Naturschützer eher in langfristige Strategien des Biodiversitätsschutzes einbinden möchten.

Allgemein und weltweit wird die Konkurrenz zwischen Energiepflanzen und Nahrungsmitteln für die Zukunft auch für Flächen gelten, die zwar heute noch nicht für die Nahrungsmittelproduktion genutzt werden, die prinzipiell dafür aber infolge steigender Nachfrage und Preise wie unter den Möglichkeiten neuer Technologien (z. B. Sorten mit abiotischer Stresstoleranz) nutzbar wären.

6.1.2. Klima- und THG-Bilanzen für Energieträger aus Biomasse

Für Industrieländer geht es dabei vor allem darum, die gesamten Ketten von Vorleistungen der Landwirte bis hin zum Ort der Bereitstellung für die Konsumenten einzubeziehen und alle Treibhausgasemissionen exakt zu bestimmen. CRUTZEN et al. (2007) haben jüngst neue Berechnungen vorgelegt, die weniger günstige Klimaeffekte für Energie aus Biomasse ausweisen als bisherige Studien, z. B. die des (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007b; INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007a). Im Zentrum stehen die Annahmen zur N₂O – Dynamik bei intensiver Düngung. FRIEDT (2007) hat diesen Berechnungen allerdings widersprochen. Da N₂O-Emissionen stark abhängig sind von den spezifischen Standort- und Jahresbedingungen und da sie 300 mal klimaschädlicher sind als CO₂, variieren die Ergebnisse

erheblich in Abhängigkeit von den gewählten Parametern. Dieser Disput sowie ggf. weitere sollten auf jeden Fall geklärt werden, bevor die derzeit dominanten Pfade der Biokraftstoffbereitstellung weiter ausgebaut werden.

Für Länder wie Brasilien und Indonesien – die klimatisch bedingt höhere Biomasseerträge erzielen und sehr wettbewerbsfähig sind – wird darüber hinaus diskutiert, ob ein steigender Bedarf an Flächen für den Energiepflanzenanbau dazu führt, dass Ländereien trockengelegt oder Tropenwäldern gerodet oder die landarme Bevölkerung auf Standorte abgedrängt wird, die eine Weltbedeutung für den Klima- und Biodiversitätsschutz haben. Wo dies der Fall ist, werden Treibhausgasen beseitigt und können die beabsichtigten Schutzziele stark beeinträchtigt werden. Es erscheint fraglich, ob und ggf. wann diese negativen Wirkungen durch spätere positive Effekte übertroffen werden können. FARGIONE et al. (2008) haben kalkuliert, dass durch derartige Landumwandlungen und Beseitigungen von Senken 17 bis 420 mal soviel CO₂ freigesetzt wird wie durch die auf diesen Flächen produzierten Biotreibstoffe gegenüber fossilem Treibstoff jährlich eingespart wird. Die Autoren argumentieren, dass auch der zunehmende Anbau von Energiepflanzen auf zuvor für Nahrungs- und Futtermittelanbau genutzten Flächen in Industrieländern über steigende internationale Agrarpreise dazu führt, dass in Entwicklungsländern Forst- und Graslandflächen in landwirtschaftlich genutzte Flächen umgewandelt werden mit entsprechenden Freisetzungen von Treibhausgasen (SEARCHINGER et al., 2008).

Bei negativer Energie- oder THG-Bilanz sollten der Anbau von Energiepflanzen und ihre politische Förderung unterbleiben (Ausschlusskriterium). Falls die Klima- und Energiebilanzen positiv sein sollten, werden die folgenden Überlegungen relevant.

6.1.3. Einkommens- und Beschäftigungseffekte

Global betrachtet scheint es unstrittig, dass frühzeitiges umweltorientiertes Handeln in der Politik und in Firmen zu Exportvorteilen bei Umwelttechnologien mit positiven Einkommens- und Beschäftigungseffekten führen kann (HENZELMANN et al., 2007). In gleicher Weise argumentieren auch die Politiker, Grundlagenforscher und Züchter, die die Gentechnik in der Pflanzenzüchtung und der Landwirtschaft vorantreiben, sowie die Anlagenbauer (klassische „Pionierrente“ technischer Neuerungen).

Die Effekte auf einzelbetrieblicher landwirtschaftlicher Ebene sind dagegen stärker von den jeweiligen natürlichen und soziökonomischen Rahmenbedingungen abhängig und die Teileffekte können in entgegengesetzte Richtung weisen: Wenn z. B. ein Landwirt die Tierhaltung zugunsten des Anbaus von Energiepflanzen aufgibt, kann das Einkommen möglicherweise wachsen, aber der Beschäftigungsgrad sinken. Nicht nur auf dem landwirtschaftlichen Betrieb selbst, sondern auch bei den Betrieben des Bezugs von Betriebsmitteln und des Absatzes und der Verarbeitung von Produkten finden strukturelle und Substitutionseffekte statt. Insgesamt erwartet der WISSENSCHAFTLICHE BEIRAT AGRARPOLITIK BEIM BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2008) allenfalls geringe positive Beschäftigungseffekte bei einem Wechsel von der Nahrungs- und Futtermittelproduktion zum Energiepflanzenanbau.

6.1.4. Verteilungseffekte: Gewinner und Verlierer

Global und langfristig zielt der Energiepflanzenanbau auf Streckung der Nutzung von Vorräten an nicht erneuerbaren Ressourcen, Bereitstellung von Infrastruktur für die Nutzung erneuerbarer Ressourcen und für die Verminderung des Treibhauseffektes zugunsten künftiger Generationen

(Verbesserung der Intergenerationengerechtigkeit).

Auf der Weltkala wird vor allem die Frage gestellt, ob reiche Autofahrer und Energieverbraucher zu Lasten der Ärmsten und Hungernden profitieren: Mit dem Getreide für eine Tankfüllung von 100 l Ethanol könnte sich ein Mensch ein Jahr lang ernähren (THE WORLD BANK, 2007), (Gefährdung der Intragenerationengerechtigkeit).

Es wird ferner befürchtet, dass vor allem Saatgutanbieter, die Agrarindustrie und Energiekonzerne profitieren, Kleinbauern und Landlose in Entwicklungsländern dagegen verdrängt werden und die Steuerzahler über staatliche Förderprogramme sowie die Verbraucher über Beimischungsquoten oder Verbrauchssteuern die Kosten tragen müssen. Innerhalb der Wertschöpfungskette Energiepflanzenanbau (Anlagenbauer, Saatgutproduzenten, Landwirte, Energieversorger) sorgen sich die Beteiligten um ihren fairen Anteil am gemeinsam erwirtschafteten Einkommen, insbesondere die Landwirte in der Mittelposition von starken Konzentrationsprozessen in der Saatgut- und Energiebranche (BEUSMANN, 2008; INTERNATIONAL ASSESSMENT OF AGRICULTURE KNOWLEDGE SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT, 2008A; INTERNATIONAL ASSESSMENT OF AGRICULTURE KNOWLEDGE SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT, 2008B).

6.1.5. Möglicher Beitrag inländischer Produktion zur Versorgungssicherung und zur Verminderung der Abhängigkeit von Importen

Umstritten ist nicht, dass Energiepflanzen einen Beitrag liefern können, sondern wie groß dieser Beitrag und Anteil an der Gesamtversorgung künftig – d. h. unter Einbezug von Technologien der 2. Generation – sein könnte. Sowohl der SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2007) als auch der WISSENSCHAFTLICHE BEIRAT AGRARPOLITIK BEIM BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2008) legen Überschlagsrechnungen vor, nach denen der mögliche Beitrag von Bioenergieträgern zur gesamten Endenergieversorgung doch stark begrenzt ist. Umstritten ist auch, ob die inländische Produktion international wettbewerbsfähig (s. u.) und ökologisch nachhaltig sein könnte. Einig sind sich verschiedene Autoren darin, dass die von der Bundesregierung und der EU angestrebten Größenordnungen bzw. Anteile der Energiepflanzen an dem Gesamtenergiebedarf und an den Reduktionszielen im Klimaschutz einen erheblichen Anteil von Importen erfordern, und dass ein starker Zielkonflikt zwischen der Versorgungssicherung mit Lebensmitteln und der mit Energie besteht.

6.1.6. Internationale Dimension der Diskussion über Energieimporte aus Energiepflanzenanbau

Zum einen geht es um die internationale Wettbewerbsfähigkeit heimischer Produktion in Industrieländern und den Marktzugang von Drittländern in Industrieländern und speziell in der EU (insb. OECD und WTO), zum anderen um mögliche Umwelt- und soziale Belastungen in den Exportländern (VERBÄNDEPLATTFORM NACHHALTIGE BIOENERGIE, 2007). Für die Importe sind Zertifizierungssysteme erforderlich, die sicherstellen, dass die Produkte anderenorts unter Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien produziert werden. Kurzfristig wären privatwirtschaftliche Standards zu etablieren und zu nutzen, die allerdings auch Dimensionen wie die o. a. sozialen Auswirkungen umfassen sollten. Langfristig ist eine internationale Standardsetzung unter Nutzung der zwischenzeitlich gemachten Erfahrungen mit den privatwirtschaftlichen Standards anzustreben (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2007b; SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, 2007). Kritisch hinterfragt wird, ob in den Anbauländern die institutionellen Voraussetzungen für private Zertifizierer und für *good governance*

gegeben sind (s. 6.2.1.)

6.1.7. Effizienz der Förderpolitiken in Hinblick auf die angestrebten Ziele der Klima-, Energie-, Agrar- und Versorgungspolitik

Die politischen Fördermaßnahmen für die verschiedenen Energieverwendungen (Heizung, Strom, Treibstoffe) sowie die verschiedenen Rohstoffe sind historisch isoliert gewachsen, mit ihnen werden unterschiedliche Ziele der Klima-, Energie-, Agrar- und Versorgungspolitik verfolgt. Notwendig ist eine Neuausrichtung im Rahmen eines langfristigen Energie- und Klimagesamtplanes und einer Konzeption und Umsetzung von Übergangspolitiken zwischen dem heutigen Stand und den künftigen Schwerpunkten. Hierzu haben der SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2008, 2007) sowie der WISSENSCHAFTLICHE BEIRAT AGRARPOLITIK BEIM BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2008) Vorschläge unterbreitet, die im Falle von Zielkonflikten zwischen den verschiedenen Teilpolitiken eine Orientierung an den langfristig strategischen Beiträgen zur Erreichung von Reduktionszielen im Klimaschutz vorsehen.

Der WISSENSCHAFTLICHE BEIRAT AGRARPOLITIK BEIM BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2008) kritisiert – ähnlich wie der SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2008, 2007) –, dass die gegenwärtigen Schwerpunkte politischer Förderung von erneuerbaren Energiequellen falsch gesetzt sind. Er empfiehlt eine schrittweise Umorientierung zu einer nachhaltigen Politik. Die Förderung des Energiepflanzenanbaus (Biokraftstoffe und Biogas auf Basis von Mais) wird als ineffizient kritisiert, da die Vermeidungskosten je t CO₂-Äquivalent weit über denen der besten Optionen liegen: Biogaserzeugung auf der Basis von Gülle – möglichst in Kraftwärmekopplung, Kombination von Strom- und Wärmeerzeugung auf der Basis von Hackschnitzeln aus Restholz und Kurzumtriebsplantagen sowie die Co-Verbrennung von Hackschnitzeln und – in Grenzen – Stroh in Großkraftwerken.

Der potentielle Beitrag eines ausgeweiteten Energiepflanzenanbaus für die Versorgungssicherung wird als relativ begrenzt eingeschätzt, zudem liegen Konflikte mit anderen Politikzielen vor. Der Effekt des Bioenergiepflanzenanbaus auf die inländische Beschäftigung wird in Ackerregionen allenfalls als leicht positiv eingeschätzt, bei der Verdrängung von Tierproduktion als deutlich negativ und lediglich im Sektor Anlagenbau als deutlich positiv. Der Wissenschaftliche Beirat Agrarpolitik spricht sich gegen einen weiteren Ausbau des inländischen Energiepflanzenanbaus aus sowie für eine schrittweise Umstrukturierung der Förderpolitik, orientiert an der Effizienz, d. h. den höchsten Vermeidungspotentialen für Treibhausgase. Auch im Rahmen regenerativer Energiequellen sieht der Beirat den Bioenergiepflanzenanbau nicht nur als eine räumlich, sondern auch als eine zeitlich begrenzte Strategie für Deutschland und empfiehlt langfristig eine stärkere Ausrichtung auf Wind und Sonnenenergie sowie Energieimporte.

Vor allem die Förderung von Biokraftstoffen in Industrieländern wird in diesem Zusammenhang als dringend zu revidieren eingestuft (DOORNBOSCH und STEENBLIK, 2007; SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, 2007; ISERMEYER und ZIMMER, 2006). Im Hinblick auf Vertrauensschutz derjenigen, die durch Förderpolitiken Investitionen getätigt haben, werden angemessene Übergangsfristen gefordert.

6.1.8. Dynamisch lernende Politikgestaltung zwischen Kontinuität und Verlässlichkeit vs. Flexibilität

Investitionen in alternative Energiesysteme und das Anpflanzen von Wäldern zählen – wie Förde-

rungen im Bildungs- und Forschungssystem – zu den sehr langfristigen Investitionen einer Volkswirtschaft mit später Verzinsung. Aus diesem Grunde sind Kontinuität und Verlässlichkeit über den kurzen Zeitraum von Legislaturperioden hinaus wichtige Faktoren für die Vertrauensbildung. Polar gegenüber steht die Erkenntnis nach sich verkürzenden Halbwertszeiten gültigen Wissens und dadurch ausgelösten Neubewertungen. Dies erfordert eine Balance zwischen beiden Polen. Im Energiesektor kann man diesen Konflikt derzeit an der Diskussion um Restlaufzeiten von Kernkraftwerken und die jüngst erschienene Krebsstudie (KAATSCH et al., 2007) verfolgen, aber auch an Klagen im Biodieselsektor, dass der Ersatz von Steuervorteilen durch Beimischungszwang zu einzelbetrieblichen Friktionen in Form von Verlusten für Transportunternehmen geführt habe (AGENCE FRANCE-PRESSE, 2008; INSTITUT FÜR ENERGETIK, 2007), andererseits aber auch die rasche Umstellung von alten PKW auf höhere Beimischungsquoten technisch nicht möglich sei (s. 6.2.).

6.2. Aktuelle Beschlüsse der Bundesregierung als Rahmen für den Bioenergiepflanzenanbau

Am 5. Dezember 2007 hat das Bundeskabinett ein umfangreiches Paket mit 14 Gesetzen und Verordnungen vorgelegt, um die Beschlüsse des Energie- und Klimaprogramms vom August 2007 in Meseberg umzusetzen. Ein zweites Paket mit weiteren Rechtsetzungsvorhaben wird spätestens am 21. Mai 2008 geschnürt werden. Die Gesetze behandeln zunächst die Bereiche „Energieeffizienz“, „Erneuerbare Energien bei Strom und Wärme“, „Biokraftstoffe“, „Verkehr“ und „Nicht CO₂-Treibhausgasemissionen“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2007a).

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben liegt in Deutschland / in der EU der größte Teil der energetischen Nutzung von Biomasse in den Bereichen Biogas zur Wärme- und Stromproduktion und Biokraftstoffe. Auf nationaler Ebene finden sich Regelungen bezüglich der Biogasproduktion im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), Regelungen zu Biokraftstoffen im Biokraftstoffquotengesetz, der Entwurf der Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung für Biokraftstoffe (BUNDESMINISTERIUM DER FINANZEN, 2007) und der Kraftstoffqualitätsverordnung wieder. In diesem Zusammenhang verständigten sich das BMU und das BMELV zusammen mit der Automobilindustrie, der Mineralölindustrie, der Landwirtschaft sowie der Biokraftstoffindustrie auf eine gemeinsame Strategie zur Steigerung des Biokraftstoffanteils in den kommenden Jahren. Das Ergebnis ist die „Roadmap Biokraftstoffe“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2007b) und damit die Ausbauperspektive für die Biokraftstoffe in Deutschland. Herausragende Ziele der Strategie sind die Erhöhung der Beimischungsgrenze von Bioethanol zu Ottokraftstoff von derzeit max. 5 Vol % auf 10 Vol % und die Erhöhung der Biodieselbeimischung von 5 Vol % auf 7 Vol %. Die Umsetzung wurde allerdings ausgesetzt und die Autohersteller zu einer neuen belastbaren Meldung aufgefordert, für wie viele alte Autos die höhere Beimischungsquote technisch problematisch ist, so dass die Eigentümer auf Super-Plus-Kraftstoff ausweichen müssten (ASSOCIATED PRESS, 2008).

Mit der „Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Erzeugung von Biomasse zur Verwendung als Biokraftstoff“ (Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung – BioNachV (BUNDESMINISTERIUM DER FINANZEN, 2007) werden drei Ziele verfolgt:

1. Die Bewirtschaftung der Flächen soll Nachhaltigkeitskriterien genügen. Hierunter werden insbesondere der Schutz von Naturgütern verstanden, problematische Emissionen sollen begrenzt werden, Boden und Bodenfruchtbarkeit, Wasserqualität und –haushalt, Arten und

Ökosystemvielfalt sollen vor Verschlechterungen geschützt werden und der Düngemittel- und Pflanzenschutzmitteleinsatz soll umweltgerecht nach Regeln guter fachlicher Praxis und EU-Cross Compliance Kriterien oder vergleichbaren Standards in Drittländern erfolgen.

2. Die Biomasse soll nicht in Gebieten mit hohem Naturschutzwert angebaut werden.
3. Die Biokraftstoffe müssen ein Treibhausgasverminderungspotential von anfangs 30%, ab 1.1.2011 von 40 % aufweisen.

Im Abschnitt 2 der Verordnung wird der Rahmen für Zertifizierungssysteme von Biokraftstoffen festgelegt (BUNDESMINISTERIUM DER FINANZEN, 2007). Hierzu sollen einige erste Überlegungen angestellt werden, eine Gesamtbewertung der Beschlüsse kann an dieser Stelle nicht erfolgen.

6.2.1. Zertifizierung

Zertifizierungen von Qualitätsstandards werden sowohl von der Privatwirtschaft wie auch von der Politik national und international betrieben. Zu den Zielen zählen allgemein die Qualitäts- und Risikokontrolle inklusive der Möglichkeiten der Rückverfolgbarkeit bei Qualitätsmängeln und Skandalen. Aus Sicht der Privatwirtschaft können weitere spezifische Ziele verfolgt werden, wie die Etablierung von Markenprodukten mit Qualitätsstandards oberhalb gesetzlicher Mindeststandards und die Durchsetzung höherer Preise, die wirtschaftliche Selbstorganisation zur Vermeidung staatlicher Regelungen und die stärkere Kontrolle innerhalb von Wertschöpfungsketten, nicht nur in Hinblick auf die Qualitätssicherung, sondern auch auf die Verteilung von Einkommen innerhalb der Wertschöpfungsketten. Aus staatlicher Sicht kann die Überlassung der Qualitätssicherung an die Privatwirtschaft der Minimierung öffentlicher Ausgaben der Qualitätssicherung dienen, wie auch der Zuordnung der Kosten der Qualitätssicherung zu den Produktionsverfahren und den hergestellten Produkten und damit den wirtschaftlich an einer Wertschöpfungskette Beteiligten statt dem allgemeinen Steuerzahler.

Welche Mischung aus staatlicher und privatwirtschaftlicher Qualitäts- und Risikokontrolle gewählt wird, hängt ab von der gesellschaftlichen Kultur (USA stärkeres Gewicht auf privatwirtschaftliches Recht vs. EU stärkeres Gewicht auf Zulassungsrecht; ein Problem bei der Etablierung internationaler Standards), von der politischen Grundhaltung (Schwerpunkte Mensch als Individuum oder als Sozialwesen), vom Regelungsgegenstand (Medikamente vs. Lebensmittel) sowie von den Schutzgütern (private Güter vs. öffentliche Güter). In der Realität gibt es innerhalb dieser Pole weite Spektren von Mischformen (z. B. staatliche Kontrolle der privatwirtschaftlichen Kontrolleure im Bereich der Lebensmittelsicherheit). Diese Formen sind historisch gewachsen. Sie spiegeln auch die Tatsachen wider, dass häufig die Grenzen in den o. a. Kategorien fließender geworden sind, und dass die klassische Spaltung in den Privatsektor und den Staat durch differenziertere Formen von *governance*, der gesellschaftlichen Steuerung unter Beteiligung Betroffener, ersetzt wird. Diese *Governance*- und Partizipationsansätze werden von engagierten Bürgern, Wissenschaftlern und Politikern eingefordert, und sie werden aus verschiedenen Vorstellungsquellen gespeist, u. a. aus der Demokratietheorie, der Institutionenökonomie, der Technikfolgenabschätzung und -bewertung, der Diskussion um die Implikationen der Wissensgesellschaft und der Agenda 21 zur Nachhaltigen Entwicklung (UNITED NATIONS, 1992).

Voraussetzungen für das Funktionieren privater Zertifikationen sind die Qualifikation der Zertifizierer sowie die Unabhängigkeit der Zertifizierer von den Zertifizierten. *Good governance* ist Voraussetzung für die Qualität staatlicher wie privater Zertifizierung. Gerade in Entwicklungsländern ist zu prüfen, ob diese Voraussetzungen erfüllt oder z. B. durch Korruption gefährdet sind. Skandale in der

Lebensmittelindustrie, auch in Deutschland, haben aber auch Schwächen in den Systemen der Industrieländer deutlich gemacht. Da Menschen fehlbar sind, wird es auch nie fehlerfreie Systeme der Qualitätssicherung geben, nur fehlerarme.

Auch im Bereich des Energiepflanzenanbaus und des Anbaus gentechnisch veränderter Pflanzen gibt es zahlreiche öffentliche und privatwirtschaftliche Aktivitäten zur Etablierung von Zertifizierungssystemen (Überblick zu Möglichkeiten, Grenzen und laufenden Entwicklungsprojekten in SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2007)); privatwirtschaftliche Ansätze zu nachhaltiger Rapsproduktion (UNILEVER und UNION ZUR FÖRDERUNG VON ÖL- UND PROTEINPFLANZEN, 2007), Monsanto u. a. zu Regeln guter fachlicher Praxis des Anbaus gentechnisch veränderten Maises (TRANSGEN, 2007a); öffentliche Ansätze s. Entwurf der Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung für Biokraftstoffe (BUNDESMINISTERIUM DER FINANZEN, 2007) und Projekt von meo consulting für BMELV und FNR sowie BMU und BfN (SCHMITZ, 2007).

Die Zertifizierungsansätze werden in der Öffentlichkeit kontrovers diskutiert. Ein Problem liegt u. a. darin, dass der Begriff Nachhaltigkeit sehr unterschiedlich gebraucht wird bzw. sich z. T. nur auf Ausschnitte und Teilbeiträge oder -ebenen bezieht. Dies wird insbesondere in Aussagen zu den verschiedenen landwirtschaftlichen Anbausysteme deutlich: Für den Großteil der landwirtschaftlichen Flächennutzung und Produktion wird Nachhaltigkeit verstanden als Verbesserung der umwelt- und sozialverträglichen sowie wettbewerbsfähigen Landwirtschaft unter möglichst sparsamer Nutzung gesetzlich zugelassener Produktionsmittel, insb. Mineraldünger, chemischer Pflanzenschutzmittel sowie von zugelassenen gentechnisch veränderten Pflanzensorten (UNILEVER und UNION ZUR FÖRDERUNG VON ÖL- UND PROTEINPFLANZEN, 2007). Dem steht der ökologische Landbau mit einem geringen, aber rasch wachsenden Anteil gegenüber, der durch Nutzung von integrierten Anbausystemen und Selbststeuerungskräften auf die zuvor genannten Produktionsfaktoren verzichtet. Beide Landbausysteme unterscheiden sich entsprechend stark in ihren Aufwands- und Ertragsrelationen sowie in ihren Energie- und Treibhausgasbilanzen, die man zu verschiedenen Bezugsgrößen in Relation setzen kann: Anbaufläche, hergestellte Produktionsmenge oder Warenkorb eines Haushaltes mit überwiegend konventionellem oder ökologischem Konsumstil. Vertreter der Umweltpolitik (BMU, BfN, SRU und Vertreter des ökologischen Landbaus und der Umweltverbände) messen dem ökologischen Landbau eine Vorbildfunktion zu oder sehen ihn als langfristig allein nachhaltige Form an. Ökonomen und Wirtschaftsvertreter betrachten beide Systeme tendenziell eher als nebeneinander existierende Marktsegmente.

Ein weiterer wesentlicher Kritikpunkt liegt darin, dass oftmals die verschiedenen Dimensionen der Nachhaltigkeit unterschiedlich stark gewichtet werden. So sind soziale Ziele häufig unterrepräsentiert oder werden überhaupt nicht behandelt.

In diesem Zusammenhang werden im Entwurf der o. g. Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung für Biokraftstoffe Schwachpunkte gesehen: So ist nach Ansicht mehrerer Entwicklungs- und Umweltverbände (AbL, ARA, BUND, Forum Umwelt & Entwicklung, Greenpeace Deutschland, FIAN, KLJB, Misereor, NABU und WWF Deutschland) eine Nachhaltigkeit nicht ohne die Integration von international anerkannten Sozialstandards bei Produktion, Handel und Nutzung von Biomasse zu erzielen. Auch aus ökologischer Sicht seien die im bisherigen Entwurf der Nachhaltigkeitsverordnung enthaltenen Nachhaltigkeitskriterien unzureichend (VERBÄNDEPLATTFORM NACHHALTIGE BIOENERGIE, 2007; WORLD WIDE FUND FOR NATURE, 2007). Zertifizierungen, die einen nachhaltigen Energiepflanzenanbau garantieren sollen, seien in Drittländern beim Vorliegen von Staatsversagen und Korruption nur schwer zu kontrollieren und würden bestehende Probleme verschärfen (BICKEL, 2007). Diesbezüglich sieht die FDP hier ebenfalls Schwachpunkte (FDP-FRAKTION, 2007).

Auch von Politikern weiterer Parteien wird Kritik an der Nachhaltigkeitsverordnung laut. So kritisieren BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und DIE LINKE ebenfalls den Verzicht auf soziale Standards, die gerade für Bioenergie-Importe aus Entwicklungsländern von hoher Bedeutung seien. Auch werden nach wie vor Schwachpunkte in der „guten fachlichen Praxis“ gesehen, die die Grundlage der Nachhaltigkeitsverordnung darstellt. Außerdem sollten Zertifizierungen von Bundesfachbehörden durchgeführt werden und nicht wie geplant von privatwirtschaftlichen Stellen, was zu Interessenskonflikten führen könnte (BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN, 2007; FRAKTION DIE LINKE, 2007).

Zertifizierungssysteme können nur unter bestimmten Voraussetzungen (s. Seite 83) einen Beitrag zur Regelung nachhaltiger Bioenergieproduktion liefern. Für Länder, in denen diese Voraussetzungen nicht erfüllt sind, leisten sie daher keinen Beitrag zu einer an Nachhaltigkeit orientierten Steuerung. Langfristig ist zu erwarten, dass eine gut abgestimmte Mischung aus regionalen und internationalen öffentlich-rechtlichen und privatwirtschaftlichen Systemen optimal wäre. Wie der SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2007) darlegt, ist davon auszugehen, dass für die Etablierung von öffentlich-rechtlichen Systemen ein Zeitraum von 10 Jahren zu veranschlagen ist. Von privatwirtschaftlichen und bilateralen internationalen Systemen erwartet man eine schnellere Umsetzung und Lerneffekte, die für die öffentlich-rechtlichen internationalen Systeme mit genutzt werden könnten und sollten. Einige Regierungen von Entwicklungs- und Schwellenländern sehen in *good governance* sowie in ökologischen und sozialen Standards auch Kritik und Einmischung in ihre Regierungssysteme sowie vorgeschobene Argumente zur Behinderung des Marktzugangs von Industrieländern.

Die Herausforderung liegt darin, Zertifizierungssysteme optimal zu gestalten, sich aber auch ihrer Grenzen bewusst zu werden und sie einzubinden in andere umfassendere Formen der Politikerfolgskontrolle, die auch gerade die sozialen und öffentlichen Dimensionen der Voraussetzungen und Folgen forcierter Bioenergie- und Klimapolitiken erfassen. Sozialstandards werden in einigen internationalen Verhandlungen inzwischen erörtert, ihre Durchsetzung bleibt aber ein schwieriges Unterfangen.

Auch die EU-Kommission hat im Januar 2008 Vorschläge zu einer Erneuerbaren- Energie-Richtlinie, die Nachhaltigkeitsanforderungen beinhaltet, formuliert (KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN, 2008). Das BMELV hat über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe als Projektträger einen Projektauftrag an die Kölner meo corporate development GmbH (meo) vergeben, die ein Konzept für ein international anwendbares Zertifizierungssystem für die großen Anbau- und Handelsländer sowie die wichtigsten derzeitigen Rohstoffe entworfen hat, das ab 2008 in einer zweijährigen Pilotphase in der Praxis getestet werden soll (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE, 2008).

6.3. Rolle von konventioneller und gentechnischer Züchtung und Gentechnikregulierung

Nach diesem Überblick über Konfliktfelder, Prüfkriterien und Steuerungserfordernisse für den Energiepflanzenanbau und dessen Förderung insgesamt ist nach den Besonderheiten in den Wirkungen der Pflanzenzüchtung allgemein und speziell der gentechnischen Ansätze zu fragen.

Das Saatgut ist – neben dem Landbausystem (konventioneller und ökologischer Landbau), den klimatischen, biotischen und abiotischen Wachstumsfaktoren sowie dem Anbaumanagement und der Qualifikation des Betriebsleiters – ein zentraler Faktor für die Ertragsbildung. Züchtung kann durch

Ertragssteigerung und –sicherung dazu beitragen, die Konflikte in den Flächenansprüchen durch höhere Leistungen je Flächeneinheit zu vermindern. Dieser Chance steht die Befürchtung gegenüber, dass damit eine Intensivierung zu Lasten von Umweltschutzgütern verbunden ist. Resistenzen gegen biotische Faktoren können dagegen zu Verminderungen des Pflanzenschutzmitteleinsatzes und daraus resultierender Umweltbeeinträchtigungen führen. Toleranzen gegen abiotischen Stress (Kühle, Trockenheit, Hitze, Versalzung, Kontamination mit Schwermetallen) können den Anbau in neuen Regionen ermöglichen sowie z. T. auch die erwarteten Einflüsse des Treibhauseffektes lindern helfen. Verbesserte Nährstoffaufnahme und –effizienz können den Düngungsbedarf reduzieren. Auch in diesen Fällen werden Belastungen von Umweltschutzgütern befürchtet, insbesondere im Fall der Verwilderung von Kulturpflanzen und der Auskreuzung von Eigenschaften, die Ausbreitungsvorteile vermitteln (Resistenzen gegen biotische und Toleranzen gegen abiotische Faktoren; Nährstoffeffizienzen).

Diese zahlreichen Eigenschaften lassen sich nur teilweise in einer einzigen Pflanzensorte integrieren. Zwischen den Züchtungszielen bestehen teilweise zwar auch Harmonien (Kühle- und Trockenheitstoleranz), andererseits aber auch Konflikte und „trade-offs“ (ein Züchtungsziel ist nur zu Lasten der Verwirklichung anderer Ziele erreichbar).

In Bezug auf die molekularbiologischen und gentechnischen Ansätze kommen wir aufgrund unserer Analysen zu folgenden Schlüssen über die technischen Potenziale:

Die Gentechnik erweitert prinzipiell das Spektrum der Züchtungsmethoden durch ihr Potenzial, genetische Informationen auch über Artgrenzen hinweg integrieren zu können, die mit klassischer Züchtung nicht überwindbar sind. Innerhalb einer Kulturpflanzenart vermag man mit ihr darüber hinaus Eigenschaften aus Landsorten bei vermindertem Rückkreuzungsaufwand einzuführen.

Die Molekularbiologie bietet neue diagnostische Möglichkeiten, die beispielsweise in der markergestützten Selektion genutzt werden können. Sie werden in der Züchtungspraxis inzwischen auf breiter Basis eingesetzt, sie fallen allerdings nicht unter die Definition der Gentechnik und sie werden nicht kontrovers beurteilt.

Bisher gibt es nur wenige, spezifisch auf Energiepflanzen ausgerichtete gentechnische Ansätze. Es wird erwartet, dass vor allem allgemeine Fortschritte in der Grundlagenforschung sowie in der angewandten Forschung und Entwicklung von Pflanzen für Lebens- und Futtermittel auch den Energiepflanzen zugute kommen werden, z. B. Ertragssteigerung und -sicherung, Resistenzen gegen biotischen und abiotischen Stress, Verbesserungen im Nährstoffaufnahmevermögen und in der Nährstoffeffizienz.

Große Hoffnungen werden auch auf die 2. Generation von pflanzlichen Energiequellen (BtL-Kraftstoffe aus z. B. Zellulose) gesetzt. Dies würde vor allem die Konkurrenz zu Nahrungsmitteln entschärfen. Noch fehlen allerdings die großtechnische Reife und die Prüfung auf Unbedenklichkeit nach umwelt- (Kapitel 5.) und sozioökonomischen (6.1.) Kriterien.

Insgesamt wird mit einem höheren Leistungsvermögen der Gentechnik im Vergleich zu anderen Züchtungsmethoden in ausgewählten Fällen gerechnet, was von den Befürwortern begrüßt und von den Gegnern befürchtet wird.

Befürworter sehen in ihr ein unverzichtbares Mittel, um die Zukunftsherausforderungen der Welternährung und des Wechsels von endlichen zu erneuerbaren Energien im Rahmen des Klimawandels und mit Rücksicht auf den Biodiversitätsschutz zu meistern. Die meisten Züchter verlangen günstige gesetzliche Rahmenbedingungen für die Gentechnik, um nicht im internationalen Techno-

logie-, Innovations- und Einkommenswettbewerb zurückzufallen, nicht nur für den Fall künftig steigender Akzeptanz im Inland, sondern gerade auch in Hinblick auf internationale Märkte. Weltweit tätige Firmen entwickeln Produktlinien mit und ohne Gentechnik für die verschiedenen Weltregionen und die unterschiedlichen Akzeptanzbedingungen. Teils erhofft man sich auch höhere Akzeptanz für die Gentechnik, wenn sie nicht im Rahmen der Lebens- und Futtermittelproduktion angewendet wird.

Gegner würden die Gentechnik am liebsten aus dem Portfolio der Zukunftsoptionen ausschließen. Sie befürchten zusätzlich zu den von ihnen als negativ bewerteten und unter dem Schlagwort „Industrialisierung“ zusammengefassten Entwicklungen vor allem unerwartete und unerwünschte Effekte für die natürliche Umwelt, steigende Konzentration in der Züchtungsbranche und im Lebensmitteleinzelhandel und daraus folgende Abhängigkeiten für Landwirte und Verbraucher. Im globalen Maßstab wird eine Spaltung zwischen Industrieländern und Entwicklungsländern sowie eine weitere Öffnung der Schere zwischen Armen und Reichen erwartet.

Hinter diesen Tendenzen in den Gruppenmeinungen stecken zum einen differenzierte Teils-/Teils- sowie Pro und Contra-Argumente von Gruppenmitgliedern wie auch Meinungsstreuungen innerhalb der Gruppen, wie wir aus eigenen (Kapitel 3.) und anderweitig durchgeführten Untersuchungen aus der Vergangenheit wissen.

Vor diesem Hintergrund besteht in der EU ein Zulassungsverfahren für gv-Pflanzen. Das Zulassungsverfahren und die daran anschließenden Regelungen orientieren sich am Prinzip *case by case and step by step*. Die Freisetzungsrichtlinie 2001/18/EG zielt auf den Schutz der menschlichen Gesundheit und Umwelt, sie gilt sowohl für Freisetzungen zum Zwecke der Durchführung von Experimenten als auch für das Inverkehrbringen von GVO (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2001). Ein Antrag auf Zulassung als Lebens- und Futtermittel erfolgt auf der Basis der VO1829/2003 („Inverkehrbringen von genetisch veränderten Lebens- und Futtermitteln“), die auch die Umweltverträglichkeitsprüfung nach der Freisetzungsrichtlinie umfasst. Voraussetzung für die Zulassung zum Inverkehrbringen ist u. a. eine Umweltverträglichkeitsprüfung, die sich auch auf indirekte, langfristige und kumulative Auswirkungen erstreckt. Falls im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung potentielle Risiken identifiziert werden, wie z. B. eine Resistenzentwicklung einer Insektenpopulation gegen eine insektenresistente Pflanzensorte, können Maßnahmen zum Risikomanagement und ein fallspezifisches Monitoring auferlegt werden (BIOSICHERHEIT, 2006b). Nur wenn keine Schäden für die menschliche Gesundheit und die natürliche Umwelt zu erwarten sind, erfolgt eine Zulassung. Dennoch kann man unerwartete Effekte prinzipiell nicht ausschließen, denn unter der Vielfalt von Praxisbedingungen können andere Auswirkungen als unter den begrenzten Prüfungsbedingungen eines Zulassungsverfahrens auftreten. Generell ist deshalb nach einer solchen Zulassung des Inverkehrbringens einer gv-Sorte parallel zum Praxisanbau immer ein allgemeines Monitoring (*general surveillance*) durchzuführen, das konzeptionell geeignet sein soll, unvorhergesehene Auswirkungen zu erfassen (BIOSICHERHEIT, 2006b). Hierzu ist anzumerken, dass dies nur in Grenzen gelingen kann, da man nach etwas Ausschau halten soll, das man nicht vorhergesehen hat. Um eine möglichst hohe Erfassung zu erreichen sind Offenheit, ein weites Blickfeld und Sensibilität gefordert.

Die EU-Kommission hat ferner Empfehlungen an die Mitgliedsstaaten zur Regelung der Koexistenz von Landbauverfahren mit und ohne Gentechnik formuliert, die einen Orientierungsrahmen für die Gestaltung durch nationale Politiken setzen. Wie bereits in Kapitel 5.4. erwähnt, haben der Bundestag am 25.01.2008 und der Bundesrat am 15.02.2008 eine entsprechende nationale Regelung beschlossen. Die Ziele des Gesetzes liegen darin, vor Gefahren für Mensch und Umwelt zu schützen,

eine Koexistenz von Landbauformen mit und ohne Gentechnik zu sichern und mögliche Nutzen der Gentechnik zu realisieren (§ 1 GentG; (BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG, 2008a)). Um die Koexistenzziele zu erreichen sind u. a. ein Standortregister, Kennzeichnungs- und Informationspflichten, Abstandsregeln zu Anbauern von nicht-gentechnisch veränderten Pflanzen sowie privatrechtliche Regelungen zur Haftung vorgesehen. Diese Rahmenregelungen gelten auch für gentechnisch veränderte Energiepflanzen. Ob darüber hinausgehende spezifische Regelungen erforderlich sind, ist im Einzelfall zu prüfen. Insbesondere die Haftungsregelungen werden von der Gentechnikbefürwortern und von Vertretern des Deutschen Bauernverbandes, die an einer Koexistenz interessiert sind, als Hemmnis für die Verbreitung gentechnisch veränderter Pflanzen in Deutschland angesehen, vor allem in klein strukturierten Anbaubereichen.

Darüber hinaus sollten nach unserer Einschätzung übergeordnete sozialökonomische Fragen durch Begleitforschung bearbeitet werden. Insbesondere ist die weltweite Konzentration nicht nur in der Agrarchemie- und Saatgutbranche, sondern auch in der Lebensmittelverarbeitung und im Lebensmittelhandel sowie unter den Anbietern der verschiedenen Energieträger zu beobachten. Ohne gesellschaftliche Kontrolle werden Verbraucher, Steuerzahler und Landwirte das Nachsehen haben. Mit anderen Worten, für die breite Verteilung von Nutzen ist die Aufrechterhaltung funktionierender Wettbewerbs auf den genannten Märkten eine Vorbedingung. In Anbetracht global handelnder Unternehmen kann dies nur international koordiniert geschehen, nationale Politiken sind nur sehr eingeschränkt wirksam.

Daneben ist es erforderlich, die politischen Aktionen anderer wichtiger Akteure zu verfolgen. Für die Zukunft sind dabei vor allem Länder mit Potenzial in Exporten von Energiepflanzen sowie in der Pflanzengentechnik von Bedeutung wie Brasilien, China, und Indien sowie die von ihnen im Rahmen der Verhandlungen der World Trade Organization geführte Gruppe der G20.

7. Zusammenfassungen

7.1. Zusammenfassung

Der Ersatz endlicher Rohstoffe durch erneuerbare gilt als ein Kernelement gesellschaftlicher Neuorientierung in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung. Die Bundesregierung sieht die energetische Nutzung von Biomasse als eine Möglichkeit an, ihre hochgesteckten Klimaschutzziele zu erreichen. Biomasse kann dabei sowohl Rest- und Abfallstoffe, wie z. B. Gülle oder Restholz, als auch eigens zu diesem Zweck angebaute, ein- oder mehrjährige Kulturpflanzen umfassen.

In diesem Bericht werden Züchtungsziele für die energetische Nutzung von Kulturpflanzen, insbesondere unter Berücksichtigung gentechnischer Methoden, zusammengestellt und deren mögliche Wirkungen auf landwirtschaftliche Anbausysteme und die Umwelt sowie Regelungsmechanismen zu ihrer nachhaltigen Nutzung dargestellt.

Die Züchtungsziele bei Energiepflanzen sind abhängig von der Form der energetischen Nutzung. Während bei den Nutzungsrichtungen Biodiesel und Bioethanol die Erhöhung der wertgebenden Inhaltsstoffe (Ölgehalt bzw. Stärke/Zuckergehalt der Samen) im Vordergrund steht, ist dies bei der Nutzung als Biogas die Erhöhung der Gesamtbiomasse (Ganzpflanzennutzung). Im ersten Fall herrscht weitgehende Übereinstimmung mit den Züchtungszielen bei einer stofflichen Nutzung der Pflanzen. Dagegen stellt die Ganzpflanzennutzung ein neues Züchtungsziel dar, bei dem noch viel Potenzial in der konventionellen Züchtung gesehen wird. Erste Ergebnisse zur Biomassesteigerung bei Mais scheinen diese Ergebnisse zu bestätigen.

Eine Analyse der in Deutschland sowie in der EU durchgeführten Forschungsvorhaben ergab, dass zurzeit (Stand: Februar 2008) noch keine gentechnischen Methoden bei der Züchtung von Energiepflanzen eingesetzt werden. Das Hauptforschungsinteresse bei den öffentlich geförderten Projekten zur energetischen Nutzung von Biomasse in Deutschland lag auf der konventionellen Züchtung neuer Biomassegenotypen, insbesondere für die Biogasnutzung (Ganzpflanzen), und auf der Optimierung von Energiepflanzenfruchtfolgen.

Konkrete Vorhaben zur Entwicklung transgener Organismen wurden nur bei der stofflichen Nutzung der Pflanzen als nachwachsende Rohstoffe gefördert (z. B. Bereitstellung bestimmter Fettsäuren oder Stärken als Rohstoffe für die Industrie) bzw. vereinzelt zur Optimierung von Mikroorganismen bei der Verarbeitung pflanzlicher Rohstoffe.

Erste gentechnische Ansätze zur Ertragssteigerung bei Energiepflanzen findet man bei Mais und Zuckerrohr für die Bioethanolproduktion in den USA bzw. Brasilien. International wird an der Entwicklung gentechnisch veränderter, stresstoleranter Pflanzen gearbeitet. Trockentolerante Pflanzen könnten auf marginalen Standorten als Energiepflanzen angebaut werden, um so z. B. die Konkurrenz zum Nahrungs- und Futtermittelanbau zu verringern. Daneben könnten auch die bereits zugelassenen, gentechnisch veränderten herbizid- bzw. insektenresistenten Pflanzen, insbesondere Bt-Mais, als Energiepflanzen genutzt werden. Mögliche zukünftige Anwendungen der Gentechnik werden bei der Nutzbarmachung lignozellulosehaltiger Biomasse gesehen.

In Zukunft könnten vermehrt Ergebnisse aus der Genomforschung zur Herstellung gentechnisch veränderter Pflanzen zur Energieerzeugung genutzt werden. Durch die Genomforschung und die funktionelle Genomik (Zuordnung bestimmter Funktionen zu Gensequenzen) nimmt das Verständnis der molekularen Steuerung der Stoffwechselvorgänge sowie der vegetativen und generativen Entwicklung zu. Erste Ergebnisse liegen z.B. bei der Modellpflanze *Arabidopsis* vor.

Die Recherche-Ergebnisse wurden durch die Auswertung eines Fragebogens zu Züchtungsansätzen bei Energiepflanzen gestützt, der an 81 Firmen und öffentlich geförderte Einrichtungen in Deutschland versandt wurde. Die Auswertung zeigte, dass biotechnologische und gentechnische Verfahren als eine Option zur Erweiterung der konventionellen Züchtung bei Energiepflanzen angesehen werden. Biotechnologische Verfahren, wie z. B. die marker-gestützte Selektion, werden bereits umfassend eingesetzt. Gentechnische Verfahren werden zurzeit (noch) überwiegend mit dem Ziel der Ertragssicherung (Resistenzen gegenüber biotischem Stress) genutzt.

Aufgrund des z. Z. in Deutschland vorherrschenden geringen Angebots an Pflanzen, die als Energiepflanzen vermarktet werden und sich nur geringfügig von Sorten für den Nahrungs- und Futtermittelbereich unterscheiden, sind bei ökologischer Betrachtung die Auswirkungen einer zur energetischen Nutzung angebauten Sorte bzw. Kultur vergleichbar mit denen für andere Nutzungen angebaute Pflanzen. Eine Ausnahme könnte der auf konventionelle Weise gezüchtete „Biomassemais“ der KWS darstellen, der aufgrund seiner außergewöhnlichen Höhe andere Umweltwirkungen haben könnte wie z. B. Änderungen des Mikroklimas, des Landschaftsbildes oder höhere Düngergaben. Dies müsste durch begleitende Forschung untersucht werden.

Trotz des ähnlichen Kulturpflanzenportfolios bestehen Unterschiede zwischen dem Energiepflanzenanbau und dem Anbau von Nahrungs- und Futterpflanzen durch verschiedene ackerbauliche Maßnahmen, die sich positiv oder auch negativ auf die Umwelt auswirken können. So sind z. B. durch unterschiedliche Aussaat- und Erntetermine Auswirkungen auf die Agrobiodiversität nicht auszuschließen, ebenso wie bei einem Anbau neuer, evtl. nicht heimischer Kulturen. Auch muss mit einem unterschiedlichen Aufwand an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln gerechnet werden. So kann

der Aufwand beim Energiepflanzenanbau aufgrund geringerer Qualitätsansprüche niedriger, bei Bevorzugung „pflegebedürftigerer“ Kulturen aber auch höher ausfallen.

Bei einer landwirtschaftlichen Gesamtbetrachtung des Energiepflanzenanbaus werden noch komplexere Problemfelder deutlich. So ist ein Hauptproblem in der möglichen Ausweitung der landwirtschaftlich genutzten Fläche zu sehen. Hier wird neben der Konkurrenz um Flächen für Nahrungs- und Futtermittel ein Verlust an ökologisch wertvollen Flächen für den Naturschutz befürchtet. Diese Konkurrenz um Flächen führt im Weltmaßstab neben tief greifenden ökologischen Eingriffen, z. B. dem Abbrennen von tropischen Regenwäldern zum Anbau von Ölpalmen, auch zu ökonomischen Folgen. So wird z. B. die Verteuerung des Grundnahrungsmittels Mais in Mexiko mit der gestiegenen Nachfrage nach Energiemais in Verbindung gebracht.

Eine möglicherweise mit dem Energiepflanzenanbau einhergehende Erweiterung der Fruchtfolge könnte sich positiv auf die Biodiversität sowie den Schutz der Böden vor Erosion auswirken. Sollte es allerdings zu einer Konzentration auf einige wenige High-Input-Energiepflanzen kommen, so könnte sich dies negativ auf die Biodiversität auswirken und zu einer Erhöhung der Anwendung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln führen, was aus ökologischer Sicht unerwünscht ist.

Der verstärkte Anbau wasserzehrender Kulturen wie etwa Mais oder Kurzumtriebsplantagen ist im Rahmen der Klimaveränderungen zu diskutieren: Es wird erwartet, dass in einigen Regionen weniger, in anderen mehr Niederschläge fallen, bei insgesamt steigender Häufigkeit von Wetterextremen. Unter diesen Bedingungen ist es wahrscheinlich, dass sich der Anbau wasserzehrender Kulturen in feuchteren Regionen konzentrieren wird. Bei ihrem Anbau in Gebieten mit sinkenden Niederschlägen ist dagegen damit zu rechnen, dass die Konflikte mit der Trinkwassergewinnung und Zielen von Natur- und Bodenschutz zunehmen.

Die Pflanzenzüchtung – ob mit oder ohne Gentechnik – könnte Lösungen zu einigen der beschriebenen Problemfelder bieten. So könnten negative Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus, wie etwa eine erhöhte Flächenkonkurrenz, durch ertragsoptimierte Pflanzen relativiert werden. Auch der sich bei Klimaänderung verschärfenden Problematik „Wasserhaushalt“ oder einem durch großflächigen Anbau einzelner Kulturen bedingten erhöhten Krankheits- und Schädlingsdruck könnte durch verbesserte Sorten, wie etwa (trocken-)stresstolerante oder insektenresistente Pflanzen, sowohl für die energetische als auch die stoffliche Nutzung, begegnet werden.

Ökologische Untersuchungen zu gentechnisch veränderten Pflanzen wurden insbesondere zur Wirkung auf Nichtzielorganismen sowie zu Auskreuzung und Verwilderung durchgeführt. Die Untersuchungen zur Auskreuzung sind auch in Hinblick auf Fragen der Koexistenz von Landbausystemen mit und ohne Gentechnik relevant. Bei Untersuchungen zu Wirkungen von Bt-Mais auf Nichtzielorganismen wurden bei Feldversuchen bislang keine signifikanten negativen Auswirkungen gefunden, in Laborversuchen gab es einige Hinweise einer negativen Wirkung. Auf der Basis von Untersuchungen zu Auskreuzung und Verwilderung wurden für Mais inzwischen Abstandsregeln für Koexistenz im Anbau gesetzlich festgelegt, für Raps stehen sie noch aus. Für stresstolerante gentechnisch veränderte Pflanzen werden zwei Effekte diskutiert: Eine Ausdehnung der Anbauflächen zu Lasten bisher nicht genutzter Flächen sowie das Risiko der Auskreuzung auf Wildpflanzen und eine Ausbreitung der Kulturpflanzen bei Fitnessvorteilen gegenüber konkurrierenden Pflanzen.

Allerdings darf bei den verschiedenen Lösungen mit unterschiedlichen Ansätzen, die die Züchtung aufzeigen kann, die Ursache für auftretende Probleme nicht in Vergessenheit geraten. So sind Problemfelder, wie etwa erhöhter Krankheits- und Schädlingsbefall oder unzureichende regionale und temporäre Wasserverfügbarkeit, durch ackerbauliche Maßnahmen bereits im Vorfeld auf ein

gewisses Maß zu begrenzen. Durch solche ackerbaulichen Maßnahmen könnte der Ertrag im Energiepflanzenanbau ebenfalls gesichert und gesteigert werden, wodurch wiederum die Konkurrenz um Flächen verringert wäre. Letztlich geht es bei der Optimierung des Energiepflanzenanbaus um optimale Nutzung und Abstimmung von Züchtung und Anbauverfahren.

Ob aus technischen Potenzialen der Nutzung gentechnisch veränderter Pflanzen auch ökologische und gesellschaftliche Vorteile resultieren, hängt von sozioökonomischen Bedingungen in weiter Definition ab. Für die Nutzung von land- und forstwirtschaftlicher Biomasse allgemein – unabhängig von der Züchtungsmethode – wurde Konsens für die Einschätzung diagnostiziert, dass sie wertvolle Beiträge zur Klima-, Energie-, Agrar- und Umweltpolitik leisten kann. Umstritten und daher im Einzelfall zu prüfen ist, wie stark dies zur Flächenkonkurrenz für die Lebensmittel- und Futtermittelproduktion führen wird, ob und in welchem Maße die Wirkungen auf die Klima- und Treibhausgasbilanzen positiv sein werden, wie groß die Einkommens- und Beschäftigungseffekte im Inland sein werden, wie Nutzen und Risiken in der Gesellschaft unter Berücksichtigung von Macht- und Konzentrationseffekten in den Branchen Saatgut, Lebensmittelverarbeitung und –handel sowie Energieversorger verteilt sein werden, welche Beiträge Biomasse zur Versorgungssicherheit im Inland leisten kann und wie die internationale Verträglichkeit für Importe gesichert werden kann.

Die ökologischen Implikationen des Energiepflanzenanbaus allgemein werden durch den Entwurf einer Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung für Biokraftstoffe aufgegriffen, die eine nachhaltige Flächenbewirtschaftung nach Regeln guter fachlicher Praxis und cross compliance, einen Schutz von Flächen mit hohem Naturschutzwert sowie einen signifikanten Beitrag zur Treibhausgasminderung sichern soll. Kritiker bemängeln Schwachpunkte in der Umsetzung der guten fachlichen Praxis und fordern die Durchführung von Zertifizierungen durch Bundesfachbehörden. Es wird wesentlich von der tatsächlichen Umsetzung der Nachhaltigkeitskriterien sowie der Durchführung einer umfassenden und gründlichen Begleitforschung und der Nutzung ihrer Ergebnisse abhängen, ob diese Ziele erreicht werden.

Zertifizierungssysteme werden auch im Zusammenhang mit Importen kontrovers diskutiert: Es wird hinterfragt, ob und in wie weit sie geeignet sind, die Nachhaltigkeit der Herstellung und Verwendung von Bioenergieträgern sicher zu stellen. Grundvoraussetzungen dafür sind die Abwesenheit von Staats- und Marktversagen – vor allem Korruption – sowie die Qualifikation und Unabhängigkeit der Zertifizierer. Skeptiker, vor allem NGOs und Oppositionsparteien, bezweifeln, dass diese Voraussetzungen in wichtigen potentiellen Exportländern gegeben sind. Unter solchen Bedingungen sehen sie ökologische Ziele trotz Zertifizierung gefährdet, z. B. durch Brandrodung und Trockenlegen von Feuchtgebieten – sowie soziale Ziele vernachlässigt, z. B. Verdrängung von Kleinbauern und unsoziale Arbeitsbedingungen. Neben der Kritik an falschen Gewichtungen der ökologischen, sozialen und ökonomischen Dimensionen nachhaltiger Entwicklung stellen wir divergierende Grundvorstellungen von Nachhaltigkeit als eine weitere wichtige Quelle für Kontroversen fest. Das Spektrum lässt sich durch folgende Pole beschreiben: Schrittweise Verbesserungen in ökologischen, sozialen und ökonomischen Zieldimensionen der Nachhaltigkeit vor allem im konventionellen Landbau vs. Verbesserung der Selbststeuerungsfähigkeit von Landbausystemen durch Übergang vom konventionellen zum ökologischen Landbau. Neben anderen Zertifizierungsansätzen wird derzeit ein Konzept für ein international anwendbares Zertifizierungssystem für die derzeit wichtigsten Importrohstoffe wird derzeit in mehreren Agrarexportländern im Rahmen eines Pilotprojektes des BMELV getestet.

Für gv-Pflanzen bestehen in der EU auf Zulassungsverfahren. Voraussetzung für die Zulassung zum Inverkehrbringen ist u. a. eine Umweltverträglichkeitsprüfung, die sich auch auf indirekte, langfristi-

ge und kumulative Auswirkungen erstreckt. Falls im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung potentielle Risiken identifiziert werden, können Maßnahmen zum Risikomanagement und ein fallspezifisches Monitoring auferlegt werden. Nur wenn keine Schäden für die menschliche Gesundheit und die natürliche Umwelt zu erwarten sind, erfolgt eine Zulassung. Dennoch kann man unerwartete Effekte prinzipiell nicht ausschließen, denn unter der Vielfalt von Praxisbedingungen können andere Auswirkungen als unter den begrenzten Prüfungsbedingungen eines Zulassungsverfahrens auftreten. Generell ist deshalb nach einer solchen Zulassung des Inverkehrbringens einer gv-Sorte parallel zum Praxisanbau immer ein allgemeines Monitoring (*general surveillance*) durchzuführen, das konzeptionell geeignet sein soll, unvorhergesehene Auswirkungen zu erfassen. Hierzu ist anzumerken, dass dies nur in Grenzen gelingen kann, da man nach etwas Ausschau halten soll, das man nicht vorhergesehen hat. Um eine möglichst hohe Erfassung zu erreichen sind Offenheit, ein weites Blickfeld und Sensibilität gefordert. Generell sollte nach einer Phase des verstärkten Anbaus von gv-Pflanzen - sei es im Energiepflanzenbereich oder für andere Anwendungen - eine Überprüfung der gv-Regelungen und ihrer praktischen Handhabung überprüft werden.

Der Bioenergiepflanzenanbau auf Ackerflächen für Kraftstoffe ist jüngst national und international von vielen Seiten in die Kritik geraten, in Deutschland u. a. durch den SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2008, 2007) sowie den WISSENSCHAFTLICHEN BEIRAT AGRARPOLITIK BEIM BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2008). Der SRU kritisiert vor allem die begrenzten Mengenpotenziale für Deutschland, warnt vor Umweltgefährdungen und fordert die Überwindung fragmentierter, historisch gewachsener, ineffektiver Förderpolitiken durch ein integriertes Gesamtkonzept. Ähnlich argumentiert der Wissenschaftliche Beirat, er kritisiert vor allem die zu geringen Wirkungen des Bioenergiepflanzenanbaus für Treibstoffe im Hinblick auf Klimaschutzziele und damit die viel zu geringe Effizienz der Förderinstrumente im Vergleich zu Alternativen. Der Beirat spricht sich gegen einen weiteren Ausbau des inländischen Energiepflanzenanbaus sowie für eine schrittweise Umstrukturierung der Förderpolitik aus, orientiert an der Effizienz, d. h. den höchsten Vermeidungspotenzialen für Treibhausgase. Für Biokraftstoffe der 2. Generation empfiehlt der Beirat die Forschung voranzutreiben, Politiken zur Förderung der breiten Markteinführung aber dann einzusetzen, wenn ihre relative Vorzüglichkeit gegenüber alternativen Energiequellen geprüft ist. Im Rahmen regenerativer Energiequellen insgesamt sieht der Beirat den Bioenergiepflanzenanbau nicht nur als eine räumlich, sondern auch zeitlich begrenzte Strategie für Deutschland und empfiehlt langfristig eine stärkere Ausrichtung auf Wind- und Sonnenenergie sowie Energieimporte. Auf EU-Ebene wurden Nachhaltigkeitsanforderungen in die Entwürfe der Erneuerbare Energien-Richtlinie und Biokraftstoffqualitätsrichtlinie aufgenommen, welche dann eine nationale Umsetzung entsprechend der EU-Anforderungen erfordert. Der Entwurf einer Biomassenachhaltigkeits-Verordnung für Biokraftstoffe wird an die Einigung auf EU-Ebene anzupassen sein.

Nach unserer Einschätzung werden sich diese ernüchternden Erwartungen auch auf die Züchtung allgemein und insbesondere mittels gentechnischer Verfahren niederschlagen. Positive Impulse von der Gentechnik wären dann zu erwarten, wenn sie erhebliche Verbesserungen vor allem in Rentabilität, Umweltverträglichkeit, Energie- und Treibhausbilanz mit sich brächte.

Im Rückblick auf die eingangs der Studie gewählte Perspektive der Agenda 21 und der Operationalisierung einer nachhaltigen Entwicklung erscheint es uns abschließend notwendig, darauf hin zu weisen, dass die derzeitigen Schwerpunkte in der öffentlichen und politischen Diskussion auf Effizienzsteigerungen und Substitution endlicher durch erneuerbare Ressourcen liegen, also sehr stark auf Technologien, die als zukunftsfähig eingeschätzt werden. Die Studie hat gezeigt, dass

unumstritten wichtige Potenziale in diesen Strategien liegen, die aber im Einzelfall zu prüfen und gegebenenfalls zu relativieren sind. Darüber hinaus hat die abschließende Diskussion sozialökonomischer Indikatoren und regulativer Voraussetzungen einer *good governance* gezeigt, dass technische Potentiale in geeignete gesellschaftliche Spielregeln und individuelle Verhaltensweisen eingebettet sein müssen, wenn sie ihr positives Potenzial in Richtung Nachhaltigkeit entfalten sollen. Schließlich erscheint es uns erforderlich, Verhaltensweisen und gesellschaftliche Spielregeln allgemein stärker in die Suche nach Wegen in die Nachhaltigkeit einzubeziehen.

7.2. Kurzfassung

Der Ersatz endlicher Rohstoffe durch erneuerbare gilt als ein Kernelement gesellschaftlicher Neuorientierung in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung. Die Bundesregierung sieht die energetische Nutzung von Biomasse als eine Möglichkeit, ihre hochgesteckten Klimaschutzziele zu erreichen. In diesem Bericht werden Züchtungsziele für die energetische Nutzung von Kulturpflanzen, insbesondere unter Berücksichtigung gentechnischer Methoden, analysiert und deren mögliche Umweltwirkungen sowie Regelungsmechanismen zu ihrer nachhaltigen Nutzung dargestellt.

Die Züchtungsziele bei Energiepflanzen sind abhängig von der Form der energetischen Nutzung: Bei den Nutzungsrichtungen Biodiesel und Bioethanol steht, wie bisher auch, die Steigerung des Samenertrages im Vordergrund. Hingegen stellt die Ganzpflanzennutzung im Falle der Biogasherstellung ein neues Züchtungsziel dar, bei dem noch viel Potenzial in der konventionellen Züchtung, einschließlich marker-gestützter Selektion, gesehen wird.

Eine Analyse der in Deutschland sowie in der EU durchgeführten Forschungsvorhaben ergab, dass es zurzeit (Stand: Februar 2008) noch keine Ansätze gibt, mit Hilfe gentechnischer Methoden den Biomassertrag von Energiepflanzen zu steigern. Erste gentechnische Ansätze zur Ertragssteigerung bei Energiepflanzen findet man bei Mais und Zuckerrohr für die Bioethanolproduktion in den USA bzw. Brasilien. International wird darüber hinaus an der Entwicklung stresstoleranter Pflanzen gearbeitet, die auf marginalen Standorten als Energiepflanzen angebaut werden könnten. Daneben könnten auch bereits zugelassene, gentechnisch veränderte Pflanzen, insbesondere insektenresistenter Mais, als Energiepflanzen genutzt werden.

Die Recherche-Ergebnisse wurden durch eine schriftliche Befragung von 81 Firmen und öffentlich geförderten Einrichtungen in Deutschland zu Züchtungsansätzen bei Energiepflanzen gestützt: Die Auswertung zeigte, dass biotechnologische und gentechnische Verfahren als eine Option zur Erweiterung der konventionellen Züchtung bei Energiepflanzen angesehen werden. Biotechnologische Verfahren, wie z. B. die marker-gestützte Selektion, werden bereits umfassend eingesetzt. Gentechnische Verfahren werden zurzeit (noch) überwiegend mit dem Ziel der Ertragssicherung (Resistenzen gegenüber biotischem Stress) genutzt.

Betrachtet man die möglichen Umweltwirkungen des Anbaus von Energiepflanzen so werden vor allem die Konkurrenz um Flächen für Nahrungs- und Futtermittel sowie ein Verlust an ökologisch wertvollen Flächen für den Naturschutz befürchtet. Weitere mögliche Umweltwirkungen werden in den Bereichen Intensivierung, Fruchtfolgegestaltung, Wasserhaushalt sowie regionale Konzentration gesehen: Eine möglicherweise mit dem Energiepflanzenanbau einhergehende Erweiterung der Fruchtfolge könnte sich positiv auf die Biodiversität sowie den Erosionsschutz auswirken. Sollte es allerdings zu einer Konzentration auf einige wenige High-Input-Energiepflanzen kommen, so könnte sich dies negativ auf die Biodiversität auswirken und zu einer Erhöhung des Verbrauchs von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln sowie eventuell einer vermehrten Wasserzehrung führen. Diese Problem-

felder sind auch bei einer zukünftigen ökologischen Betrachtung gentechnisch veränderter Energiepflanzen zu berücksichtigen. Darüber hinaus sind gentechnikspezifische Wirkung z.B. auf Nichtzielorganismen sowie Folgen der Auskreuzung und Verwilderung zu prüfen.

Ob aus den möglichen technischen Potentialen der Nutzung gentechnisch veränderter Pflanzen auch ökologische und gesellschaftliche Vorteile resultieren, hängt von sozioökonomischen Bedingungen in weiter Definition ab. Für die Nutzung von land- und forstwirtschaftlicher Biomasse allgemein wurde Konsens für die Einschätzung diagnostiziert, dass sie wertvolle Beiträge zur Klima-, Energie-, Agrar- und Umweltpolitik leisten kann. Umstritten und daher im Einzelfall zu prüfen ist, wie stark dies zur Flächenkonkurrenz mit der Lebensmittel- und Futtermittelproduktion führen wird, ob und in welchem Maße die Wirkungen auf die Klima- und Treibhausgasbilanzen positiv sein werden, wie Nutzen und Risiken in der Gesellschaft verteilt sein werden, welche Beiträge Biomasse zur Versorgungssicherheit im Inland leisten kann und wie die internationale Verträglichkeit für Importe gesichert werden kann.

Die befürchteten ökologischen Beeinträchtigungen durch den Energiepflanzenanbau werden in der Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung aufgegriffen, die eine nachhaltige Flächenbewirtschaftung nach Regeln guter fachlicher Praxis und cross compliance, einen Schutz von Vorrangflächen für den Naturschutz sowie einen signifikanten Beitrag zur Treibhausgasminderung sichern soll. Es wird wesentlich von der tatsächlichen Umsetzung der Verordnung sowie der Durchführung einer umfassenden Begleitforschung und der Nutzung ihrer Ergebnisse abhängen, ob diese Ziele erreicht werden.

Der Bioenergiepflanzenanbau auf Ackerflächen für Kraftstoffe ist jüngst heftig kritisiert worden. So gebe es nur ein begrenztes Mengenpotential für Deutschland und die Wirkungen des Bioenergiepflanzenbaus für Treibstoffe im Hinblick auf Klimaschutzziele seien zu gering. Die Förderpolitik sollte daher, orientiert an den höchsten Vermeidungspotentialen für Treibhausgase, umstrukturiert werden.

Nach unserer Einschätzung werden sich diese ernüchternden Erwartungen auch auf die Züchtung niederschlagen. Positive Impulse von der Gentechnik wären dann zu erwarten, wenn sie erhebliche Verbesserungen vor allem in Rentabilität, Umweltverträglichkeit, Energie- und Treibhausbilanz mit sich brächte.

Insgesamt gesehen liegen die Schwerpunkte der derzeitigen Diskussion stark auf technischen Potenzialen, die zu Effizienzsteigerungen oder Substitution endlicher durch erneuerbare Ressourcen führen sollen. Die Studie hat gezeigt, dass unumstritten wichtige Potentiale in diesen Strategien liegen, diese aber im Einzelfall zu prüfen und gegebenenfalls zu relativieren sind. Darüber hinaus müssen technische Potentiale aber in geeignete gesellschaftliche Spielregeln und individuelle Verhaltensweisen eingebettet sein, wenn sie ihr positives Potenzial in Richtung Nachhaltigkeit entfalten sollen. Schließlich erscheint es uns erforderlich, Verhaltensweisen und gesellschaftliche Spielregeln allgemein stärker in die Suche nach Wegen in die Nachhaltigkeit einzubeziehen.

Schlagwörter: Züchtungsziel, erneuerbare Energie, Energiepflanze, Gentechnik, Umweltwirkung, sozioökonomische Implikationen, good governance

7.3. Summary

In the discussion on the re-orientation towards sustainable development the substitution of exhaustible by renewable resources is one key element. In Germany, the energetic use of plant biomass is seen as one option to reach the ambitious climate protection targets. In this report, we analysed plant breeding objectives to enhance biomass production in energy crops, especially when genetic engineering is involved. Possible environmental impacts as well as governance options are discussed.

Plant breeding objectives are depending on the type of energy carrier: For biodiesel and bioethanol the aim is to enhance seed yield, very much the same as for current crop uses as foods and feeds. In the case of biogas, the use of the whole plant is a new breeding objective with lots of potential seen in conventional breeding, including marker assisted breeding.

A review of research projects conducted in Germany and the EU revealed no approaches applying genetic engineering to enhance plant biomass production up to now (as of February 2008). First approaches to increase plant biomass for bioethanol production via genetic engineering can be found in the United States and Brazil in maize and sugarcane, respectively. Internationally genetic engineering is used to develop plants tolerant to abiotic stresses, which could also be used as renewable resources when grown on marginal land. However, genetically modified plants already approved, especially insect-resistant maize, can also be used as energy crops.

These findings were supported by the results of a questionnaire on breeding objectives in energy plants sent to 81 companies and public research institutions in Germany: Biotechnological approaches and gene technology are seen as one valuable option for the future. Marker assisted breeding is already used frequently. In contrast, genetic engineering is still mainly used to enhance crop protection (e.g. resistance to biotic stresses).

Regarding the possible environmental impacts of energy crops, increasing pressure on land for food and feed production as well as on ecological valuable areas is suspected. Other concerns are related to further intensification of agriculture, including higher inputs of fertilisers and pesticides, narrowing of crop rotation, water imbalance and regional concentration effects. This has to be assessed on a case-by-case basis: By including energy crops, the crop rotation might be broadened with positive effects on biodiversity and erosion control. By concentrating on a few high-input energy crops, like maize, the effect might become negative due to higher inputs of fertiliser and pesticides as well as higher water consumption. These criteria are to be considered for future assessments of genetically modified energy crops. Additionally, specific effects on non-target organisms as well as outcrossing and invasiveness of genetically modified plants have to be taken into account.

Whether the use of genetically modified energy plants yields ecological and social advantages depends on socio-economic conditions. Consensus exist that crop and forest biomasses have the potential to contribute to a sustainable climate, energy, farming and environment policy. However, controversial issues remain on

- the extent of competition in land for production of energy on the one hand and food and feed on the other,
- whether there will really be any positive effects on climate balances and green house gas production and if there would be any, how large they were,
- how the benefits and risks will be distributed within society,
- what the share of domestic plant biomass to domestic energy demand might be and

- how to ensure the sustainability of imports.

The production of biofuels has recently been strongly criticized. Growing plants for bioenergy in Germany is rated as a minor potential source for fuels and at best a minor contributor to achieve climate goals. Hence, political support for different energy sources and energy use options should be restructured according to their contribution to reduce climate gas emissions. We expect that these sobering expectations will spill over to breeding activities. Genetic engineering might brighten up perspectives if it will enable substantial improvements in profitability and environmental compatibility as well as in energy and climate-gas balances. Certification systems for bioenergy imports are currently evaluated in pilot studies.

Overall the public debate focuses on technical potentials for increasing efficiency and substituting exhaustible by renewable resources. The study shows, that in principle these options might be successful and the potentials should be exploited, but this has to be proven case by case. The fruits of these technical options for sustainability can only be reaped when they are embedded in adequate institutions and patterns of behaviour. We recommend that public debate should shift emphasis from narrow technical debates to this broader frame of sustainability.

Keywords: Plant breeding objective, renewable energy, energy crop, genetic engineering, environmental impact, socio-economic implication, good governance

8. Literaturverzeichnis²

- AGENCE FRANCE-PRESSE (2008): Biodiesel-Firmen in Sorge. Branche appelliert an die Bundesregierung. Aus: Süddeutsche Zeitung Nr. 54 (04.03.2008), S. 22.
- AGRARHEUTE.COM (2007): Anteil von Energiemais steigt. <http://mobil.agrarheute.com/index.php?redid=142566> (01.03.2007).
- ALBRECHT, C. (2005): Carry over von Bt- Mais- Genen in Mikroorganismen des Magen- Darm-Traktes und Verbreitung durch Ausscheidungsvorgänge am Beispiel des Rindes. Veröffentlichung der Ergebnisse von Forschungsvorhaben im BMBF-Verbundprojekt: Sicherheitsforschung und Monitoring-Methoden zum Anbau von Bt-Mais. Schlussbericht 30 S.
- AMON, T., KRYVORUCHKO, V., AMON, B., et al. (2004): Biogas aus Klee gras-, Feldfutter- und Dauerwiesenmischungen. Der fortschrittliche Landwirt 22: 30-31.
- ANONYMUS (2006): profil online: Grüne Gentechnik X - Raps immer wertvoller als nachwachsender Rohstoff. <http://www.profil.iva.de/html/text.php?id=501> (27.07.06).
- ANONYMUS (2007a): Speyer-aktuell: Rheinland-Pfalz untersucht Eignung von Sorghum-Hirse als Energiepflanze. <http://www.speyeraktuell.de/html.php/modul/Article/op/read/nid/8589/rub/32> (12.04.2007).
- ANONYMUS (2007b): Umweltschützer warnen vor Schäden durch verstärkten Maisanbau Agra-Europe 15/07: Länderberichte 16.
- ANONYMUS (2007d): Vorläufig kein gentechnisch veränderter Mais im Naturschutzgebiet "Ruhlsdorfer Bruch". http://www.vg-frankfurt-oder.brandenburg.de/sixcms/detail.php?id=297545&template=seite_vgffo_1 (03.07.2008).
- ASSOCIATED PRESS (2008): Quote für Biosprit gestoppt. Aus: Süddeutsche Zeitung Nr. 45 (22.02.2008), S. 21.
- BASF (2007): BASF Plant Science and Crop Functional Genomics Center sign R&D agreement in South Korea. http://www.corporate.basf.com/en/presse/mitteilungen/pm.htm?pmid=2860&id=V00-2LcAWBNdlbcp*cf (10.04.07).
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2006): LfL-Information Biogas: Energiemaisanbau - Maissorten für die Biogasanlage. http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_23478.pdf (Oktober 2006).
- BECKER, A. (2005): Integrierte partizipations- und modellgestützte Wasserbewirtschaftung im Spree/Havelgebiet. In: Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. (ed.) Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, 6, Weißensee-Verlag, Berlin, S. 231-234.
- BECKER, H.C. (2006): Energie aus Biomasse. Nationale und internationale Perspektiven der Züchtung. DAF-Tagung: Energie aus Biomasse - weltwirtschaftliche, ressourcenökonomische und produktionstechnische Perspektiven Braunschweig, 25./26.Oktober 2006, Dachverband Agrarforschung (DAF), http://daf.zadi.de/download/PPT_Becker.pdf (25.10.2006).
- BEIBNER, L., WILHELM, R., SCHIEMANN, J. (2004): Methodenentwicklung für ein anbaubegleitendes Monitoring von GVP im Agrarökosystem. Posterpräsentation auf dem Statusseminar „Sicherheitsforschung und Monitoring“ 2004 in Berlin am 16. Juni 2004. <http://www.biosicherheit.de/pdf/statusseminar2004/poster69.pdf> (k.A.).

² Alle angegebenen Internet-Adressen waren im Februar 2008 aufrufbar. Das Datum hinter den Internet-Adressen bezieht sich auf die letzte Aktualisierung der jeweiligen Seite.

- BERG, P., BALTIMORE, D., BRENNER, S., et al. (1975a): Asilomar Conference on Recombinant DNA molecules. *Science* 188 (4192): 991-994.
- BERG, P., BALTIMORE, D., BRENNER, S., et al. (1975b): Summary statement of the Asilomar conference on recombinant DNA molecules. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 72 (6): 1981-1984.
- BEUSMANN, V. (2007): Dialogische Formen der Politikberatung aus Sicht universitärer Technikfolgenabschätzung, -bewertung und -gestaltung (TA) zur Grünen Gentechnik. . In: *Die Zukunft der Wissenskommunikation - Perspektiven für einen reflexiven Dialog von Wissenschaft und Politik - am Beispiel des Agrarbereichs*. Kropp, Cordula; Schiller, Frank und Jost Wagner (Hrsg.) Berlin: 129-149.
- BEUSMANN, V. (2008): Kein Konsens über begründeten Dissens - Der Streit um die Gentechnik in der Erstellung des Weltagrarberichts. *GAIA* 17 (4): 345-346.
- BICKEL, U. (2007): Podiumsdiskussion "Nachwachsende Rohstoffe und Ernährungssicherung? – Standpunkte aus Landwirtschaft, Entwicklungspolitik, Umwelt und Wirtschaft". Hamburg, 13.12.2007, im Druck, n.n.
- BIOSICHERHEIT (2002a): Ökologische Auswirkungen von insektenresistentem Bt-Mais auf verschiedene Insekten und den Maiszünsler. <http://www.biosicherheit.de/de/sicherheitsforschung/112.doku.html> (26.11.2002).
- BIOSICHERHEIT (2002b): Transgener herbizidtoleranter Raps - Pollenausbreitung durch Wind und Blüten besuchende Insekten. <http://www.biosicherheit.de/de/sicherheitsforschung/3.doku.html> (30.10.2002).
- BIOSICHERHEIT (2003): Untersuchungen zur Auskreuzung beim großflächigen Anbau von unterschiedlichem herbizidresistentem Raps. <http://www.biosicherheit.de/de/sicherheitsforschung/108.doku.html> (25.02.2003).
- BIOSICHERHEIT (2004): Die Überdauerungsneigung von gentechnisch verändertem und konventionell gezüchtetem Raps. <http://www.biosicherheit.de/de/sicherheitsforschung/6.doku.html> (01.06.2004).
- BIOSICHERHEIT (2005a): Toxizität von Bt-Mais für Schlupfwespen. <http://www.biosicherheit.de/de/sicherheitsforschung/15.doku.html> (02.08.2005).
- BIOSICHERHEIT (2005b): Wie verhalten sich Kreuzungsnachkommen von Sommerraps und Sommerrüben gegenüber pflanzlichen Krankheitserregern? <http://www.biosicherheit.de/de/sicherheitsforschung/24.doku.html> (17.06.2005).
- BIOSICHERHEIT (2006a): BMELV-Forschungsprogramm Koexistenz 2006. <http://www.biosicherheit.de/de/fokus/koexistenz/501.doku.html> (11.07.2006).
- BIOSICHERHEIT (2006b): Monitoring. <http://www.biosicherheit.de/de/monitoring/> (05.04.2006).
- BIOSICHERHEIT (2006c): Untersuchung Pflanzen-assoziiertes mikrobieller Lebensgemeinschaften. <http://www.biosicherheit.de/de/sicherheitsforschung/12.doku.html> (23.08.2006).
- BIOSICHERHEIT (2007a): Abbau des Bt-Toxins und Auswirkungen auf die Bodenmikroorganismen. <http://www.biosicherheit.de/de/sicherheitsforschung/159.doku.html> (03.08.2007).
- BIOSICHERHEIT (2007b): Auswirkungen des Anbaus von Diabrotica-resistentem Bt-Mais auf das Maisökosystem I (Boden). <http://www.biosicherheit.de/de/sicherheitsforschung/183.doku.html> (21.08.2007).
- BIOSICHERHEIT (2007c): Auswirkungen des Anbaus von Diabrotica-resistentem Bt-Mais auf das Maisökosystem II. <http://www.biosicherheit.de/de/sicherheitsforschung/193.doku.html> (21.08.2007).
- BIOSICHERHEIT (2007d): Freisetzung gentechnisch veränderter Bäume. www.biosicherheit.de/de/gehoelze/pappel/54.doku.html (17.12.2007).
- BIOSICHERHEIT (2007f): Monitoring der Auswirkungen von Bt-Mais (Cry1Ab) auf Nicht-

- Zielorganismen. <http://www.biosicherheit.de/de/sicherheitsforschung/151.doku.html> (02.10.2007).
- BIOSICHERHEIT (2007g): Sicherheitsforschung Mais: Warten auf Diabrotica. <http://www.biosicherheit.de/de/mais/boden/335.doku.html> (25.07.2007).
- BIOSICHERHEIT (2007h): Untersuchungen zum Einfluss von Bt-Mais (Cry 3Bb1) auf im Boden lebende Nicht-Ziel-Organismen und deren Prädatoren. <http://www.biosicherheit.de/de/sicherheitsforschung/184.doku.html> (19.09.2007).
- BIOSICHERHEIT (2007i): Untersuchungen zu Nebenwirkungen von Bt-Mais (Cry3Bb1) auf Nicht-Zielorganismen. <http://www.biosicherheit.de/de/sicherheitsforschung/182.doku.html> (20.07.2007).
- BIOSICHERHEIT (2008a): Die Kartoffel als nachwachsender Rohstoff. Die Stärke der Kartoffel. <http://www.biosicherheit.de/de/kartoffel/staerke/30.doku.html> (30.01.2008).
- BIOSICHERHEIT (2008b): Ergebnisse: Bt-Mais und Nicht-Zielorganismen. <http://www.biosicherheit.de/de/mais/oekosystem/317.doku.html> (25.01.2008).
- BRECKLING, B., MIDDELHOFF, U., BORGMANN, P., et al. (2003): Biologische Risikoforschung zu gentechnisch veränderten Pflanzen in der Landwirtschaft: Das Beispiel Raps in Norddeutschland. GfÖ Arbeitskreis in der Ökologie 2003: Gene, Bits und Ökosysteme. 19- 45.
- BRÖCKER, M. (2007): Welcher Energiepflanzen-Mix für hohe Gaserträge? top agrar 4: 74-79.
- BROMBACHER, J., HAMM, U. (1990): Verbrauchsstruktur von Lebensmitteln in Biohaushalten. Bio-land 2: 34-37.
- BTL - INFORMATIONSPLATTFORM (2008): BtL: Synthetische Kraftstoffe aus Biomasse. <http://www.btl-plattform.de/> (k.A.).
- BÜCHS, W., PRESCHER, S., MÜLLER, A. (2004): Entwicklungsverzögerungen bei Zersetzern und ihren Räubern nach Aufnahme von MON 810 Bt-Maisstreu - Folgen für das Ökosystem? Posterpräsentation auf dem Statusseminar 2004 des BMBF-Verbundprojektes: Sicherheitsforschung und Monitoring-Methoden zum Anbau von Bt-Mais. <http://www.biosicherheit.de/pdf/statusseminar2004/poster14.pdf> (k.A.).
- BUND FÜR UMWELT- UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND (2007): Energetische Nutzung von Biomasse. http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/energie/20070400_energie_biomasse_position.pdf (01.04.2007).
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2007a): Biomasseproduktion - der große Nutzungswandel in Natur und Landschaft in Zeiten des Klimawandels. http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/ina/vortraege/03-07-07-Vilmer_Thesen_2007.pdf (19.07.2007).
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2007b): Naturschutz und Landwirtschaft im Dialog: „Biomasseproduktion – Ein Segen für die Land(wirt)schaft? http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Thesenpapier_Webversion.pdf (15.03.2007).
- BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (2007): Standortregister. http://194.95.226.237/stareg_web/showflaechen.do?year=2007
- BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2007): Über die Autobahn heizen! FAL-Wissenschaftler erforschen Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen am Straßenrand. http://www.fal.de/cln_045/nn_786844/DE/aktuell/pressemittelungen/2007/presse_17a_2007_pb.html (24.05.2007).
- BUNDESMINISTERIUM DER FINANZEN (2007): Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung - BioNachV. http://www.bundesfinanzministerium.de/nn_82/DE/BMF_Startseite/Aktuelles/Aktuelle_Gesetze/Gesetze_Verordnungen/002_anl.templateId=raw.property=publicationFile.pdf

(12.12.2007).

- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2006a): BioIndustrie 2021: BMBF fördert weiße Biotechnologie mit 60 Millionen Euro. <http://www.biotechnologie.de/bio/generator/Navigation/Deutsch/recht-und-patente.did=45110.html> (01.09.2006).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2006b): Kulturpflanzen für die moderne Bio-Industrie. <http://www.bmbf.de/press/1724.php> (02.02.2006).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2006c): Pflanzen sind Rohstofflieferant und Biofabrik der Zukunft. <http://www.bmbf.de/press/1814.php> (09.06.2006).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2008a): Gentechnikgesetz. <http://www.bmbf.de/de/10645.php> (k.A.).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2008b): Hightech-Strategie: BioEnergie 2021. <http://www.bmbf.de/de/12075.php> (23.01.2008).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2003): Nachwachsende Rohstoffe - Programm des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft zur Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben. <http://www.fnr.de/>
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2007): Das Gentechnikrecht wird novelliert. http://www.bmelv.de/cln_045/mn_750598/DE/04-Landwirtschaft/Gentechnik/NovellierungGentechnikrecht.html__nnn=true
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2001): Richtlinie 2001/18/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. http://www.bmu.de/bio_und_gentechnik/europaeische_union/doc/38127.php
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2005): Erneuerbare Energien - Fördergebiete. <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/36061/> (September 2005).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2007a): Das integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung. http://www.bmu.de/klimaschutz/nationale_klimapolitik/doc/40550.php (k.A.).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2007b): Roadmap Biokraftstoffe - Gemeinsame Strategie von BMU/BMELV, VDA, MWG, IG, VDB und DBV. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/roadmap_biokraftstoffe.pdf (14.11.2007).
- BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN (2007): Bioenergien müssen nachhaltig werden - Verordnungsentwurf der Bundesregierung halbherzig. <http://www.gruene-bundestag.de/cms/energie/dok/205/205788.html> (28.11.2007).
- BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG (2006): Zusammenfassung des TAB-Arbeitsberichtes Nr. 104: Grüne Gentechnik - transgene Pflanzen der 2. und 3. Generation (Autoren: Sauter, A., Hüsing, B.). <http://www.tab.fzk.de/de/projekt/zusammenfassung/ab104.pdf> (Februar 2006).
- BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG (2007): Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen: Dimensionen einer umweltverträglichen Energiepflanzenproduktion - Basisanalysen (Autoren: Meyer, R., Grunwald, A., Rösch, C., Sauter, A.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 121. <http://www.tab.fzk.de/de/projekt/zusammenfassung/ab121.pdf> (28.01.2008).
- CHECKBIOTECH (2007a): Brazil: BASF joins the race for genetically modified sugarcane. http://www.checkbiotech.org/green_News_Genetics.aspx?infoId=15852 (11.10.2007).
- CHECKBIOTECH (2007b): R&D team set up to promote genetically-modified crops for biofuel.

- http://www.checkbiotech.org/green_News_Biofuels.aspx?infoId=14742 (23.05.2007).
- CHECKBIOTECH (2008): GM sugarcane trials in Brazil, Australia. http://greenbio.checkbiotech.org/news/2008-03-31/GM_sugarcane_trials_in_Brazil_Australia/ (01.06.2008).
- CHIDA, H., NAKAZAWA, A., AKAZAKI, H., et al. (2007): Expression of algal cytochrome c6 gene in *Arabidopsis* enhances photosynthesis and growth. *Plant and Cell Physiology* 48 (7): 948-957.
- CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT KIEL (2005): Zuckerrübe für den Winter. http://www.uni-kiel.de/unizeit/uz-28/pdf/uz_28_1b.pdf (05.02.2005).
- CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (2007): New and emerging issues relating to the conservation and sustainable use of biodiversity - Biodiversity and liquid biofuel production. Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice. UNEP/CBD/SBSTTA 12 (9): 17.
- CRUTZEN, P.J., MOSIER, A.R., SMITH, K.A., et al. (2007): N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 7: 11191-11205.
- DEGEN, B. (2007): Ansätze und Herausforderungen der pflanzenzüchterischen Optimierung von Energiepflanzen - Schwerpunkt schnellwachsende Baumarten. Gutachten für das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin, 47 S.
- DEGENHARDT, J. (2004): Auswirkungen von Bt-Endotoxin auf die tritrophische Interaktion zwischen Mais, Nichtziel-Lepidopteren und deren Parasitoiden. Veröffentlichung der Ergebnisse von Forschungsvorhaben im BMBF-Verbundprojekt: Sicherheitsforschung und Monitoring-Methoden zum Anbau von Bt-Mais, Schlussbericht 41 S.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR AUSWÄRTIGE POLITIK (2007): Good / Bad Governance. <http://www.weltpolitik.net/Sachgebiete/Globale%20Zukunftsfragen/Good%20Governance/> (04.10.2007).
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (2007): Good Governance. <http://www.gtz.de/de/themen/politische-reformen/882.htm> (k.A.).
- DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT ABWASSER UND ABFALL (1997): Neophyten - Gebietsfremde Pflanzenarten an Fließgewässern - Empfehlungen für die Gewässerpflege. Broschüre der GFG (Gemeinnützige Fortbildungsgesellschaft für Wasserwirtschaft und Landschaftsentwicklung), Mainz, 47 S.
- DEUTSCHES MAISKOMITEE (2006): Bedeutung des Maisanbaues in Deutschland. http://www.maiskomitee.de/fb_fakten/03_02_03.htm
- DEUTSCHES MAISKOMITEE (2007): Maisanbaufläche in Deutschland in ha, 2005 und 2006 (endgültig) nach Bundesländern und Nutzungsrichtung in ha. http://www.maiskomitee.de/dmk_download/fb_fakten/dateien_pdf/flaeche_05-06_endgueltig.pdf (17.04.2007).
- DIETZ-PFEILSTETTER, A., ZWARGER, P. (1999): Untersuchungen zur Auskreuzung von Herbizidresistenzgenen beim großflächigen Anbau von Rapspflanzen mit unterschiedlichen Herbizidresistenzen. Proceedings zum BMBF-Statusseminar, Braunschweig, 21-26.
- DOORNBOSCH, R., STEENBLIK, R. (2007): Round Table on Sustainable Development. Biofuels: Is the Cure worse than the Disease? Organisation for Economic Co-Operation and Development, Paris, 57 S.
- DÖRNTE, G. (2003): Versuche zur Integration von hochartragreichen Maissorten in das Zweikulturnutzungssystem. Diplomarbeit, Universität Kassel Witzenhausen.
- ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA (2008): Policy Statements » Statements: Biofuel Sustainability. <http://www.esa.org/pao/policyStatements/Statements/biofuel.php> (Januar 2008).

- EGNER, H. (2007): Überraschender Zufall oder gelungene wissenschaftliche Kommunikation: Wie kam der Klimawandel in die aktuelle Debatte? *gaia* 16 (4): 250-254.
- EPOBIO (2006): Products from plants - the biorefinery future. Outputs from the EPOBIO workshop. Wageningen, NL, 22. - 24. Mai 2006, 70.
- ERICSSON, K., NILSSON, L. (2006): Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass and Bioenergy* 30 (1): 1-15.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report 7/2006, Luxembourg, 72 S.
- EUROPEAN UNION (2002): The sixth framework programme in brief. www.rp6.de/service/publikationen (December 2002).
- EUROPEAN UNION (2006): Cooperation: Call for Proposals - Food, Agriculture and Fisheries, and Biotechnology, FP7-KBBE-2007-1. http://cordis.europa.eu/fp7/dc/index.cfm?fuseaction=UserSite.CooperationDetailsCallPage&call_id=16 (22.12.2006).
- EUROPEAN UNION (2007): Cooperation: Calls for Proposals - Food, Agriculture and Fisheries, and Biotechnology, FP7-KBBE-2008-2B. http://cordis.europa.eu/fp7/dc/index.cfm?fuseaction=UserSite.CooperationDetailsCallPage&call_id=90 (30.11.2007).
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (2007): Neues Energiepflanzenportal online. <http://www.nachwachsende-rohstoffe.info/index.php> (12.03.07).
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (2008): Biokraftstoffe: Zertifizierung wird konkret - Internationale Pilotphase für nachhaltig produzierte Biokraftstoffe und Biomasse startet. <http://idw-online.de/pages/de/news246154> (8. Februar 2008).
- FARGIONE, J., HILL, J., TILMAN, D., et al. (2008): Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. *Science* 319 (5867): 1235-1238.
- FDP-FRAKTION (2007): Presseinformation Nr. 1430: Während der Bali-Klimakonferenz werden in Indonesien Wälder in Brand gesetzt - Gabriels Ankündigungen unglaublich. http://www.fdp-fraktion.de/files/541/1430-Kauch-Indonesien_Waelder.pdf (07.12.2007).
- FELKE, M., LANGENBRUCH, G.-A. (2005): Auswirkungen des Pollens von transgenem Bt-Mais auf ausgewählte Schmetterlingslarven. BfN-Skripten 157, 143 S.
- FLADUNG, M. (2007): Transgenic poplar as agricultural crops. Botanikertagung, Hamburg, 03.-07.09.2007, <http://www.biologie.uni-hamburg.de/bt07/s15.htm> (07.09.2007).
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (2007): Bioenergy could drive rural development. Experts weigh bio-power impact. <http://www.fao.org/newsroom/en/news/2007/1000540/index.html> (21.12.2007).
- FORSCHUNG FÜR NACHHALTIGKEIT (2007): Von der Biomasse zur Brennstoffzelle. http://www.fona.de/de/4_serviceangebote/nachrichten/index.php?we_objectID=4970&n=070314_Von_der_Biomasse_zur_Brennstoffzelle (14.03.07).
- FRAKTION DIE LINKE (2007): Nachhaltigkeitsverordnung für Biokraftstoffe. <http://www.linksfraktion.de/nachricht.php?artikel=1439215417> (17.10.2007).
- FRAUEN, M. (2006): Perspektiven der Pflanzenproduktion aus Sicht der Pflanzenzüchtung. Raps - Biokraftstoff. DAF-Tagung Energie aus Biomasse – weltwirtschaftliche, ressourcenökonomische und produktionstechnische Perspektiven, Braunschweig, 25./26. Oktober 2006, Dachverband Agrarforschung (DAF), http://daf.zadi.de/download/PPT_Frauen.pdf (26.10.2006).
- FREIER, B., SCHORLING, M., TRAUOGOTT, M., et al. (2004): Results of a 4year plant survey and pitfall trapping in Bt maize and conventional maize fields regarding the occurrence of selected arthropod taxa. *IOBC/wprs Bull.* 27: 79-84.

- FRIEDT, W. (2007): Kommentar zur Studie "N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels". <http://www.ufop.de/2605.php> (k.A.).
- FRITSCHKE, U.R., DEHOUST, G., JENSEIT, W., et al. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Ökoinstitut e.V., Freiburg, Darmstadt, Berlin, ISBN 3-934490-20-4, 263 S.
- FUNKE, B., GLEMNITZ, M., WURBS, A. (2004): Generische Erfassung und Extrapolation der Raps-Ausbreitung, Regionalstudie Nordost-Deutschland. Posterpräsentation auf dem Statusseminar „Sicherheitsforschung und Monitoring“ 2004 in Berlin am 16. Juni 2004. http://www.biosicherheit.de/pdf/statusseminar2004/poster74_zalf.pdf (k.A.).
- GANßMANN, M. (2005): Das Nutzungsprofil von Energiesonnenblumen, Pflanzenbauliche Aspekte einer neuen Nutzungsrichtung für Sonnenblumen. 1. KWS - Energiepflanzen - Kolloquium, Einbeck, 7.-8.12.2005, KWS, <http://www.kws-energie.de/index.php?mid=8> (08.12.2005).
- GEIGENBERGER, P., HAJIREZAEI, M., GEIGER, M., et al. (1998): Overexpression of pyrophosphatase leads to increased sugar degradation and starch synthesis, increased activities of enzymes for sucrose-starch interconversions, and increased levels of nucleotides in growing potato tubers. *Planta* 205 (3): 428-437.
- GIENAPP, C. (2006): Der Landwirt als Energiewirt - Chancen und Perspektiven. DEHEMA-Tagung "Bioenergie - Basis für eine wettbewerbsfähige und nachhaltige Landwirtschaft", Güstrow, 8. - 9. März 2006, http://www.fnr-ser-ver.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/dechema2006/Praesentationen/Giena_pp.ppt (09.03.2006).
- GMO-COMPASS (2007): Are GMOs fuelling the Brazilian future? http://www.gmo-compass.org/eng/news/stories/273.gmos_fuelling_brazilian_future.html (08.03.2007).
- GÖDECKE, K., NEHRING, A., VETTER, A. (2007): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands - Ergebnisstand Februar 2007. http://www.tll.de/vbp/pdf/eva_gesamt.pdf (Februar 2007).
- GRACZYK, M. (2007): Scientists Display Modified Sorghum Crop. <http://www.happynews.com/news/522007/scientists-display-modified-sorghum-crop.htm> (02.05.2007).
- GRAEF, F., STACHOW, U., WERNER, A., et al. (2005): Review: Direct and indirect effects on agricultural practise of the cultivation of genetically modified herbicide-tolerant oilseed rape. *Agricultural Systems* 94: 111-118.
- GRAB, R. (2007): Biogas und Energiepflanzenbau - Weiterentwicklung oder Konventionalisierung des Ökologischen Landbaus?! www.koord.fh-mannheim.de/AK-NEW/Grass_Artikel02.doc (k.A.).
- GRAB, R., SCHEFFER, K., (2003): Kombiniertes Anbau von Energie- und Futterpflanzen im Rahmen eines Fruchtfolgeglieders - Beispiel Direkt- und Spätsaat von Silomais nach Wintererbsenvorfrucht. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 15: 106-109.
- GRÜNEWALD, U. (2005): Probleme der integrierten Wasserbewirtschaftung im Spree-Havel-Gebiet im Kontext des globalen Wandels. In: Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. (ed.) Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, 6, Weißensee-Verlag, Berlin, S. 209-218.
- GUGGENHEIM, D. (2006): An Inconvenient truth. Dokumentarfilm mit Al Gore. 94 min.
- HAHN-HÄGERDAL, B., GALBE, M., GORWA-GRAUSLUND, M.F., et al. (2006): Bio-ethanol - the fuel of tomorrow from the residues of today. *TRENDS in Biotechnology* 24 (12): 549-556.
- HAZELL, P., PACHAURI, R.K. (2006): Bioenergy and Agriculture. Promises and Challenges. 2020

Focus 14: 28.

- HENRY, C., MORGAN, D., WEEKS, R., et al. (2003): Farm scale evaluations of GM crops: monitoring gene flow from GM crops to non-GM equivalent crops in the vicinity. Part I: Forage Maize. DEFRA Report, contract reference EPG 1/5/138. 25 S.
- HENZELMANN, T., MEHNER, S., ZELT, T. (2007): Umweltpolitische Innovations- und Wachstumsmärkte aus Sicht der Unternehmen. Umweltbundesamt, Berlin, 257 S.
- HOFFMANN, T., GOLZ, C., SCHIEDER O. (1994): Foreign DNA sequences are received by a wild-type strain of *Aspergillus niger* after co-culture with transgenic higher plants. *Current Genetics* 27: 70-76.
- HOPFNER-SIXT, K., AMON, T., BAUER, A., et al. (2006): Möglichkeiten zur Verbesserung der Gasausbeute aus Gärrohstoffen. http://energytech.at/pdf/artikel_gasausbeute0605.pdf (k.A.).
- HUFNAGEL, J., GLEMNITZ, M., WILLMS, M. (2007): Ökologische Begleitforschung zum Energiepflanzenanbau. Vortrag auf dem BMELV-Energiepflanzen Symposium, 24. - 25.10.2007. Berlin, 24. - 25.10.2007, 2.
- HÜLSBERGEN, K.-J. (2007): Beitrag des Ökolandbaus zum Klimaschutz, BÖLW-Herbsttagung. Berlin, 25.10.2007, http://www.boelw.de/uploads/media/pdf/Veranstaltungen/Herbsttagung_2007/BOELW-Herbsttagung_07_Praesentation_Huelsbergen.pdf (25.10.2007), 32 S.
- INFORMATIONSSYSTEM NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (2000): Glossar des Informationssystems Nachwachsende Rohstoffe. http://www.inaro.de/Deutsch/ALLGEMEIN/Gloss_top.htm (k.A.).
- INSTITUT FÜR ENERGETIK (2007): Bioenergie und Grüne Rohstoffe - volkswirtschaftliche Aspekte der Biomassenutzung. Frankfurt a. M., 27.06.2007, 207.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007a): Climate change 2007. Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 939 S.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007b): Climate change 2007. The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 989 S.
- INTERNATIONAL ASSESSMENT OF AGRICULTURE KNOWLEDGE SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT (2008a): IAASTD - Executive summary of the synthesis report. http://www.agassessment.org/docs/IAASTD_EXEC_SUMMARY_JAN_2008.pdf (01/08).
- INTERNATIONAL ASSESSMENT OF AGRICULTURE KNOWLEDGE SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT (2008b): IAASTD - Global summary for decision makers. http://www.agassessment.org/docs/IAASTD_GLOBAL_SDM_JAN_2008.pdf (01/08).
- ISERMEYER, F., ZIMMER, Y. (2006): Thesen zur Bioenergie-Politik in Deutschland. Arbeitsberichte des Bereiches Agrarökonomie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
- JAMES, C. (2008): Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2007. ISAAA Brief No. 37. ISAAA, Ithaca, N.Y., 16 S.
- JEMISON, J.M., VAYDA, M.E. (2001): Cross pollination from genetically engineered corn: wind transport and seed source.
- K.E.R.N., E.V. (2006): Region 21 - Nutzung von Biomasse in der K.E.R.N.-Region (Kiel, Eckernförde, Rendsburg, Neumünster). Rendsburg: K.E.R.N.:
- KAATSCH, P., SPIX, C., SCHMIEDEL, S., et al. (2007): Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie) des BfS im Auftrag des BMU.

- <http://www.bfs.de/de/kerntechnik/papiere/kikk.html> (k.A.).
- KAATZ, H.-H. (2005): Auswirkungen von BT-Maispollen auf die Honigbiene - Methodenentwicklung zu Wirkungsprüfung und Monitoring. Veröffentlichung der Ergebnisse von Forschungsvorhaben im BMBF-Verbundprojekt: Sicherheitsforschung und Monitoring-Methoden zum Anbau von Bt-Mais. Schlussbericht 48 S.
- KAISER-ALEXNAT, R., WAGNER, W. (2007): Untersuchungen zur frühzeitigen Entdeckung einer Resistenzentwicklung des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis*) gegenüber dem B.t.- Mais- Toxin Cry1Ab und zur Aufklärung möglicher Resistenzmechanismen. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 59 (12): 302-309.
- KALTSCHMITT, M. (2007): Stand und Potenziale der Biomassenutzung in Deutschland. Vortrag auf dem BMELV-Energiepflanzen Symposium, 24. - 25.10.2007. Berlin, 24. - 25.10.2007, 3.
- KAPHENGST, T. (2007): Nachhaltige Biomassenutzung in Europa. *gaia* 16 (2): 93-97.
- KARHUMAA, K., WIEDEMANN, B., HÄGERDAL, B.H., et al. (2006): Co-utilization of L-arabinose and D-xylose by laboratory and industrial *Saccharomyces cerevisiae* strains. *Microbial Cell Factories* 5: 18.
- KEBEISH, R., NIESSEN, M., THIRUVEEDHI, K., et al. (2007): Chloroplastic photorespiratory bypass increases photosynthesis and biomass production in *Arabidopsis thaliana*. *Nature Biotechnology* 25: 593-599.
- KESTEN, E. (2003): Energiefarming. Neue Aufgaben für die Pflanzenzüchtung. *DLG-Nachrichten* 5: 95-100.
- KLEIN, H., KESTEN, E. (2007): Pflanzenzüchterische Optimierung von Energiepflanzen - Züchtung von Energiepflanzen für die Nutzung spezifischer Inhaltsstoffe und zur Nutzung als Energiequelle aus Ganzpflanzen, 1. Entwurf. Gutachten für das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin, 98 S.
- KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (2008): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. KOM(2007) 19 endgültig, 2008/0016 (COD). http://ec.europa.eu/energy/climate_actions/doc/2008_res_directive_de.pdf (23.01.2008).
- KROTZKY, A.J. (2006): Biotechnologie - Für die Pflanzen der 2. und 3. Generation. NABU Fachtagung, Berlin, 25.01.06, <http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/gentechnik/tagungsergebnisse/7.pdf> (25.01.2006).
- KUHNERT, H., FEINDT, P.H., BEUSMANN, V. (2005): Ausweitung des ökologischen Landbaus in Deutschland - Voraussetzungen, Strategien, Implikationen, politische Optionen. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 409. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 395 S.
- KWS (2007a): Bioethanol aus Zuckerrüben, Chancen für den Zuckerrübenanbau. http://www.kws.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaadneah (k.A.).
- KWS (2007b): Roundup Ready-Zuckerrübe H7-1: Herbizidtoleranz Profil. http://www.biw.kuleuven.be/ae/clo/EUWAB_files/KWS2007.pdf (Oktober 2007).
- KWS (2007c): Lebens- und Futtermittelgenehmigung für gentechnisch verbesserte Zuckerrübe der KWS. http://www.kws.de/aw/KWS/home/Ueber_uns/presse-infos/_Pressemitteilungen/~cimb/Lebens- und Futtermittelgenehmigung_fuer/ (25.10.2007).
- LAND UND FORST (2007): Pflanzenbau: Energiemais legt weiter zu. <http://www.landundforst.de/sro.php?redid=143699> (20.03.2007).
- LANG, A. (2004): Effekte von Bt-Mais auf flugfähige Blütenbesucher und Prädatoren höherer Straten. Veröffentlichung der Ergebnisse von Forschungsvorhaben im BMBF-

Verbundprojekt: Sicherheitsforschung und Monitoring-Methoden zum Anbau von Bt-Mais.
Schlussbericht 89 S.

- LANG, A., ARNDT, M., BAUCHHENß, J., et al. (2005a): Effekte von Bt-Mais auf Nichtzielorganismen. Monitoring der Umweltwirkungen von gentechnisch veränderten Organismen - Abschlussseminar zu den bayerischen Projekten. Augsburg 21.11.2005, 27-28.
- LANG, A., ARNDT, M., BECK, R., et al. (2005b): Monitoring der Umweltwirkungen des Bt- Gens. LfL Schriftenreihe 7: 115 S.
- LANG, A., LUDY, C. (2006): A 3-year field-scale monitoring of foliage-dwelling spiders (Araneae) in transgenic Bt maize fields and adjacent field margins. *Biological Control* 38: 314- 324.
- LANG, A., VOJTECH, E. (2006): The effects of pollen consumption of transgenic Bt maize on the common swallowtail, *Papilio machaon* L. (Lepidoptera, Papilionidae). *Basic and Applied Ecology* 7: 296-306.
- LEEGOOD, R.C. (2007): A welcome diversion from photorespiration. *Nature Biotechnology* 25: 539-540.
- LEIBNIZ-INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK (2007): Energiepflanzen im Aufwind - Wissenschaftliche Ergebnisse und praktische Erfahrungen zur Produktion von Biogaspflanzen und Feldholz. Fachtagung 12.-13.Juni 2007. Potsdam, 170 S.
- LEIBNIZ-ZENTRUM FÜR AGRARLANDSCHAFTSFORSCHUNG (2004): Analyse der landwirtschaftlichen Nutzung und ihrer Entwicklungsoptionen in Brandenburg als Grundlage von Konzepten für anbaubegleitendes Monitoring - Entwicklung von Monitoringkonzepten in Beziehung zu regionalspezifischen Wechselwirkungen zwischen agronomischen, ökologischen und betrieblichen Parametern am Beispiel ausgewählter Agrarlandschaften Brandenburgs. Veröffentlichung der Ergebnisse von Forschungsvorhaben im BMBF-Verbundprojekt: „Methodenentwicklung für ein anbaubegleitendes Monitoring von GVP im Agrarökosystem“. Schlussbericht 36.
- LÜTKE ENTRUP, N. (2004): Mit Biogas in die Zukunft. Sonderheft Mais Juni 2004: 2.
- MATSUOKA, M., ASHIKARI, M. (2007): A quantitative trait locus regulating rice grain width. *Nature Genetics* 39 (5): 583-584.
- MEADOWS, D.L., MEADOWS, D., ZAHN, E., et al. (1972): *The Limits to Growth*. New York; Dt.: Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, S.
- MEIER, M.S., HILBECK, A. (2005): Faunistische Indikatoren für das Monitoring der Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Organismen (GVO) - Verfahren zur Beurteilung und Auswahl. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 29, Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), Bonn, 137 S.
- MIDDELHOFF, U., WINDHORST, W., REICHE, E.W., et al. (2004): Generische Erfassung und Extrapolation der Raps-Ausbreitung, Regionalstudie Schleswig-Holstein. Posterpräsentation auf dem Statusseminar „Sicherheitsforschung und Monitoring“ 2004 in Berlin am 16. Juni 2004. <http://www.biosicherheit.de/pdf/statusseminar2004/poster146.pdf> (k.A.).
- MIEDANER, T., WILDE, P. (2005): Energieroggen - Aktueller Stand und Perspektiven aus Sicht der Pflanzenzüchter. 1. KWS - Energiepflanzen - Kolloquium, Einbeck, 7.- 8.12.2005, KWS, <http://www.kws-energie.de/media/downloads/13/energieroggen.pdf> (08.12.2005).
- NACHWACHSENDE-ROHSTOFFE.INFO (2007): Mais für Biogasanlagen. <http://www.nachwachsende-rohstoffe.info/nachricht.php?id=20070> (05.01.2007).
- NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND (2007a): Biomassenutzung aus Sicht d. Natur- und Umweltschutzes. <http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/biomasse/4.pdf> (09.12.2006).
- NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND (2007b): Die Zukunft der Flächenstilllegung - Ein Positionspapier von NABU und BirdLife International.

- <http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/naturschutz/3.pdf>
(30.03.2007).
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (2008): Biofuels: Linking Support to Performance. Round Table 138. 212 S.
- PERRY, T. (2008): Ist Tübingen die Hauptstadt der LOHAS? Navigator. Der Newsletter von Sinus Sociovision. http://www.sinus-sociovision.de/Download/Navigator/0801_3_Aktuell_Artikel_2.pdf (8. September 2008).
- PILATE, G., GUINEY, E., HOLT, K., et al. (2002): Field and pulping performances of transgenic trees with altered lignification. *Nature Biotechnology* 20: 607-612.
- PIMENTEL, D. (2006): Impacts of Organic Farming on the Efficiency of Energy Use of Agriculture. An Organic Center State of Science Review. http://organic.insightd.net/reportfiles/ENERGY_SSR.pdf (August 2006).
- PIMENTEL, D., PATZEK, T.W. (2005): Ethanol Production using corn, switchgrass, and wood and biodiesel production using soybean and sunflower. *Natural Resources and Research* 14 (1): 65-76.
- RAMESOHL, S., ARNOLD, K., KALTSCHMITT, M., et al. (2006): Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Untersuchung im Auftrag von BGW und DVGW. Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen. Wuppertal-Institut für Klima, U., Energie, , Wuppertal, 82 S.
- REINHARDT, G., GÄRTNER, S., PATYK, A., et al. (2006): Ökobilanzen zu BTL: Eine ökologische Einschätzung. IFEU, Heidelberg, 102 S.
- RENEWABLE ENERGY ACCESS (2006): New Technology Saves Sucrose in Ethanol Production. <http://www.renewableenergyaccess.com/rea/news/story?id=44639> (17.04.2006).
- RODE, M., SCHNEIDER, C., KETELHAKE, G., et al. (2005): Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung. BfN-Skript, Bonn, 183 S.
- ROGGENFORUM (2007): Roggen europaweit gefragt. <http://www.roggenforum.de/content/content2.php?CatID=29&NewsID=434&startcat=1&lang=de&sid=290036894b919e8b3bc3ce160d3ed655&sid=290036894b919e8b3bc3ce160d3ed655> (Januar 2007).
- RÖSCH, C., DUSSELDORP, M. (2007): Precision Agriculture: How Innovative Technology contributes to a more sustainable Agriculture. *GAIA* 16 (4): 272-279.
- ROSI-MARSHALL, E.J., TANK, J.L., ROYER, T.V., et al. (2007): Toxins in transgenic crop byproducts may affect headwater stream ecosystems. *PNAS* 104 (41): 16204-16208.
- RUHLAND, M., ENGELHARDT, G., PAWLIZKI, K.H. (2000): Verbleib und Metabolismus von Glufosinat in transgenen, BASTA-resistenten Raps- und Maiszellen. *Gesunde Pflanzen* 52: 248-253.
- RUNGE, C.F., SENAUER, B. (2007): How Biofuels Could Starve the Poor. *Foreign Affairs*, May/June 2007:
- SAATEN-UNION (2007): Protector: Grünschnittroggen. <http://www.saaten-union.de/index.cfm/nav/153/article/2427.html> (2008).
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (1985): Umweltprobleme der Landwirtschaft. Metzler-Poeschel, Stuttgart, 423 S.
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2004): Umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern. 668 S.
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten Hausdruck. http://www.umweltrat.de/02gutach/downlo02/sonderg/SG_Biomasse_2007_Hausdruck.pdf

(Juli 2007).

- SAURE, C., KÜHNE, S., HOMMEL, B., et al. (2001): Transgener, herbizidresistenter Raps - Blütenbesuchende Insekten, Pollenausbreitung und Auskreuzung. Verlag Agrarökologie, 103 S.
- SAURE, C., KÜHNE, S., HOMMEL, B. (1999): Untersuchungen zum Pollentransfer von transgenem Raps auf verwandte Kreuzblütler durch Wind und Insekten. Proceedings zum BMBF- Statusseminar, Braunschweig 1999. 111-119.
- SCHEFFER, K. (2003): Der Anbau von Energiepflanzen als Chance einer weiteren Ökologisierung der Landnutzung. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbaukunde 15: 114-119.
- SCHIEMANN, J., BEIBNER, L., WILHELM, R., et al. (2003): Monitoring: Aktivitäten im Geschäftsbe- reich des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. Um- weltbundesamt Texte 23 (03): 47-55.
- SCHMIDT, W. (2005): Energiemais - Aktueller Stand und Perspektiven aus Sicht der Pflanzenzüchter. 1. KWS-Energiepflanzen-Kolloquium Einbeck, 7./8.12.2005, KWS, http://www.kws-energie.de/media/downloads/13/energiemais_aktuell.pdf (08.12.2005).
- SCHMIDT, W. (2006): Strategien und Stand der Züchtung neuer Sorten bzw. neuer Pflanzenarten zur energetischen Nutzung. http://www.ikzm-d.de/addons/pdfs/136_Z_uchtung.pdf (07.07.2006).
- SCHMIDT, W., LANDBECK, M. (2005): Züchtung von Energiepflanzen aus Sicht der Industrie am Beispiel Mais. http://fnr-server.de/cms35/fileadmin/biz/pdf/energiepflanzen/SCHMIDT_FAL_FNR.pdf (03.03.2005).
- SCHMITZ, N. (2007): VDB Biokraftstoffe in der Diskussion – wie zukunftsfähig sind sie wirklich? Nachhaltigkeit und Zertifizierung von Biokraftstoffen. <http://www.unendlich-viel-energie.de/index.php?id=291> (12.06.2007).
- SCHÖNE, F. (2007): Anforderungen an die Energiepflanzenproduktion aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes. Vortrag auf dem BMELV-Energiepflanzen Symposium, 24. - 25.10.2007. Berlin, 3.
- SCHÖNFELD, J., ZWERGER, P., DIETZ-PFEILSTETTER, A. (2004): Das Ausbreitungsverhalten von verwilderten Rapspflanzen. Posterpräsentation auf dem Statusseminar „Sicherheitsforschung und Monitoring“ 2004 in Berlin am 16. Juni 2004. <http://www.biosicherheit.de/pdf/statusseminar2004/poster05.pdf> (k.A.).
- SCHORLING, M. (2006): Ökologische und phytomedizinische Untersuchungen zum Anbau von Bt-Mais im Maiszünsler-Befallsgebiet Oderbruch. Dissertation, Universität Potsdam. 143 S. <http://opus.kobv.de/ubp/volltexte/2006/626/> (01/08).
- SCHRÖDER, W., SCHMIDT, G. (2004): Generische Erfassung und Extrapolation der Raps- Ausbreitung, Geostatistisches Up-scaling und Regionalstudie Niedersachsen. Posterpräsentation auf dem Statusseminar „Sicherheitsforschung und Monitoring“ 2004 in Berlin am 16. Juni 2004. http://www.biosicherheit.de/pdf/statusseminar2004/poster74_vehtha.pdf (k.A.).
- SCHUBERT, V. (2006): Deutschland - Mehr Platz für nachwachsende Rohstoffe. <http://www.presetext.ch/pte.mc?pte=060905022> (05.09.2006).
- SCHUPHAN, I. (2005): Effekte des Anbaus von Bt-Mais auf die epigäische und die Krautschichtfauna verschiedener trophischer Bezüge. Veröffentlichung der Ergebnisse von Forschungsvorhaben im BMBF-Verbundprojekt: Sicherheitsforschung und Monitoring-Methoden zum Anbau von Bt-Mais. Schlussbericht 80 S.
- SCHUSTER, W., SCHREINER, W., LEONHÄUSER, H., et al. (1982): Über die Ertragssteigerungen bei einigen Kulturpflanzen in den letzten 30 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau (Journal for Agronomy and Crop Science) 151: 368-387.
- SCHÜTTE, A. (2004): Macht der Mais als Energieträger Karriere? Sonderheft Mais Juni 2004: 3.
- SCHÜTTE, G. (2002): Prospects of Biodiversity in Herbicide Resistant Crops. Outlook on Agriculture

31: 193-198.

- SCHÜTTE, G. (2003): Herbicide resistance: Promises and prospects of biodiversity for European Agriculture. *Agriculture and Human Values* 20: 217-230.
- SCHÜTTE, G., STACHOW, U., WERNER, A. (2004): Agronomic and environmental aspects of the cultivation of transgenic herbicide resistant plants. 111 S.
- SCHÜTTE, G., STIRN, S., BEUSMANN, V. (2001): *Transgene Nutzpflanzen: Sicherheitsforschung, Risikoabschätzung und Nachgenehmigungs-Monitoring*. Birkhäuser Verlag, Basel, 247 S.
- SCHÜTZ, H., BRINGEZU, S. (2006): Flächenkonkurrenz bei der weltweiten Bioenergieproduktion - Kurzstudie im Auftrag des Forums Umwelt und Entwicklung. 24 S.
- SEARCHINGER, T., HEIMLICH, R., HOUGHTON, R.A., et al. (2008): Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. *Science* 319 (5867): 1238-1240.
- SICK, M., KÜHNE, S., HOMMEL, B. (2003): Transgener Rapspollen in der Bienennahrung - Teil einer Modelluntersuchung zur Wahrscheinlichkeit des horizontalen Gentransfers von Pflanzen auf Bakterien. *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent.* 14: 423-426.
- SICK, M., KÜHNE, S., HOMMEL, B. (2004): Untersuchungen zum transgenen Polleneintrag von Bienen in ihre Brutzellen. Posterpräsentation auf dem Statusseminar „Sicherheitsforschung und Monitoring“ 2004 in Berlin am 16. Juni 2004. <http://www.biosicherheit.de/pdf/statusseminar2004/poster07.pdf> (k.A.).
- SIMON, S., DEMMELER, M., HEIßENHUBER, A. (2007): Bioenergie versus Ökolandbau: Flächenkonkurrenz als Entwicklungshemmnis? 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Universität Hohenheim, Stuttgart, 20.-23.03.2007, http://orgprints.org/9332/01/9332_Simon_Poster.pdf (31.03.2007).
- SONG, X.-J., HUANG, W., SHI, M., et al. (2007): A QTL for rice grain width and weight encodes a previously unknown RING-type E3 ubiquitin ligase. *Nature Genetics* 39: 623-630.
- SONNEWALD, U., HAJIREZAEI, M.-R., KOSSMANN, J., et al. (1997): Increased potato tuber size resulting from apoplastic expression of a yeast invertase. *Nature Biotechnology* 15: 794-797.
- SPLECHTNA, B., GLATZEL, G. (2005): Optionen der Bereitstellung von Biomasse aus Wäldern und Energieholzplantagen für die energetische Nutzung, *Materialien* 1., Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, 44 S.
- STEINHAUS, N. (2005): Bereit für die grüne Energie arbeitsmarkt *Umweltschutz/Naturwissenschaften* 42: 4-6.
- STERN, N. (2006): Stern review on the economics of climate change. http://www.hm-treas-ury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm (k.A.).
- SWEDISH RESEARCH COUNCIL FOR ENVIRONMENT AGRICULTURAL SCIENCES AND SPATIAL PLANNING (2008): *Bioenergy - for what and how much?* Johannson, Birgitta (Ed.) Formas Fokuserar 11, Stockholm, 403 S.
- SYNGENTA (2007): Syngenta und Diversa beschließen neue Partnerschaft zur Erforschung und Entwicklung von Enzymen für Biotreibstoffe. <http://www.syngenta.com/de/media/press/2007/01-08.htm> (08.01.2007).
- TEBBE, C. (2004): Gentransfer in Luft und Boden - Lassen sich Transgene einsperren? Präsentation auf dem Statusseminar „Sicherheitsforschung und Monitoring“ 2004 in Berlin am 16. Juni 2004. http://www.gmo-safety.eu/pdf/statusseminar2004/vortrag_tebbe.pdf (k.A.).
- THE WORLD BANK (2007): *Biofuels: The Promise and the Risks*. World Development Report 2008: Agriculture for Development. <http://go.worldbank.org/5AI2GS29Q0> (k.A.).

- THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (TLL) (2006): Anbautelegramm für durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.). <http://www.tll.de/ainfo/pdf/silp0606.pdf> (Juni 2006).
- TIEDJE, J.M., COLWELL, R.K., GROSSMAN, Y.L., et al. (1989): The Planned Introduction of Genetically Engineered Organisms: Ecological Considerations and Recommendations. *Ecology* 70 (2): 298-315.
- TRANSGEN (2006): Zulassung, Mais 3272. <http://www.transgen.de/zulassung/gvo/96.doku.html> (12.12.2006).
- TRANSGEN (2007a): Anbau Bt-Mais 2007 - Regeln der Guten fachliche Praxis. <http://www.transgen.de/anbau/deutschland/560.doku.html> (22.08.2007).
- TRANSGEN (2007b): Datenbank Zulassungen: H7-1 Zuckerrübe. <http://www.transgen.de/zulassung/gvo/18.doku.html> (24.10.2007).
- TRANSGEN (2007c): Forschung Koexistenz. http://www.transgen.de/anbau/forschung_koexistenz/ (31.03.2007).
- UNILEVER, UNION ZUR FÖRDERUNG VON ÖL- UND PROTEINPFLANZEN (2007): Nachhaltiger Winterrapsanbau. <http://www.bdoel.de/fileadmin/Dokumente/Fachinformationen/0705-UFOP-nachhaltiger-winterrapsanbau.pdf> (k.A.).
- UNITED NATIONS (1992): Report of the United Nations Conference on Environment and Development. Annex I: Rio Declaration on Environment and Development. <http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm> (12.01.2000).
- VERBAND DER DEUTSCHEN BIOKRAFTSTOFFINDUSTRIE (2005): Die Herstellung von Bioethanol. <http://www.biokraftstoffverband.de/vdb/ethanol/herstellung.html> (31.08.2005).
- VERBÄNDEPLATTFORM NACHHALTIGE BIOENERGIE (2007): Offener Brief der Verbändeplattform Nachhaltige Bioenergie, Forum Umwelt & Entwicklung an Herrn Bundesminister Horst Seehofer, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV). http://www.plattform-nachhaltige-bioenergie.de/inh/presse/biokraftstoffquotengesetz_brief_seehofer_%2020071005_ou.pdf (11.10.2007).
- VETTER, A. (2001): Qualitätsanforderungen an halmgutartige Bioenergieträger hinsichtlich der energetischen Verwertung. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (ed.) Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. Stand der Technik und Perspektiven für den ländlichen Raum. Gülzower Fachgespräche, 17, Gülzow, S. 36-50.
- VETTER, A. (2006): Entwicklung standortangepasster Anbausysteme für Energiepflanzen. http://www.biokraftstoff-portal.de/data/File/Thueringen/Veranstaltungen/06-11-02_Bioenergietag/06-11-02_12.Bioenergietag_TLL_Vetter.pdf (02.11.2006).
- VETTER, A. (2007): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen. Vortrag auf dem BMELV-Energiepflanzensymposium, 24. - 25.10.2007. Berlin, 24. - 25.10.2007, 3.
- VIDAL, S. (2004): Untersuchungen zu Kaskadeneffekten einer Bt-Toxin-Expression in Maispflanzen auf Pflanze-Herbivor-Parasitoid-Systeme am Beispiel von Blattläusen und ihren Parasitoidenkomplexen. Veröffentlichung der Ergebnisse von Forschungsvorhaben im BMBF-Verbundprojekt: Sicherheitsforschung und Monitoring-Methoden zum Anbau von Bt-Mais. Schlussbericht 32 S.
- VIGEOLAS, H., WALDECK, P., ZANK, T., et al. (2007): Increasing seed oil content in oil-seed rape (*Brassica napus* L.) by over-expression of a yeast glycerol-3-phosphate dehydrogenase under the control of a seed-specific promoter *Plant Biotechnology Journal* 5 (3): 431-441.
- VOLKMAR, C., TRAUOGOTT, M., JUEN, A., et al. (2004): Spider communities in Bt maize and conventional maize fields. *IOBC/wprs Bull.* 27: 165-170.

- VON BUTLAR, C. (2006): Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen über den Weg der energetischen Nutzung von Ganzpflanzen – am Beispiel der Wintergerste. Doktorarbeit, Universität Kassel Witzenhausen.
- VON WITZKE, H., KIRSCHKE, D., LOTZE-CAMPEN, H., et al. (2004): Die gesamtwirtschaftliche Verzinsung der Pflanzenzüchtung in Deutschland. Studie im Auftrag der Gemeinschaft zur Förderung der privaten deutschen Pflanzenzüchtung e.V. . Bonn, 39 S.
- VOß, B. (2007): Energie vom Acker - alles grundwasserfreundlich? In: BUND, 2007: Einstieg ins Grundwasser – Mehr Aufmerksamkeit für eine schutzbedürftige Ressource. S. 52-54.
- VRIES, J. (2004): Entwicklung eines Biomonitoring-Verfahrens zum Nachweis transgener DNA. Veröffentlichung der Ergebnisse von Forschungsvorhaben im BMBF-Verbundprojekt: „Methodenentwicklung für ein anbaubegleitendes Monitoring von GVP im Agrarökosystem“. Schlussbericht 32 S.
- WICHTMANN, W., SCHÄFER, A. (2005): Energiegewinnung von ertragsschwachen Ackerstandorten und Niedermooren. Standortgerechte Bewirtschaftung zur Offenhaltung von Landschaft in Nordostdeutschland. Natur und Landschaft 80 (9-10): 421-425.
- WILHELM, R., BEIBNER, L., SCHIEMANN, J. (2002): Gestaltung des Monitorings der Auswirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen im Agrarökosystem. Gesunde Pflanzen 54 (6): 194-206.
- WILHELM, R., BEIBNER, L., SCHIEMANN, J. (2003): Konzept zur Umsetzung eines GVO-Monitoring in Deutschland. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 55 (11): 258-272.
- WINKELMANN, I. (2006): Kurzumtriebsplantagen aus naturschutzfachlicher Sicht. Entwicklung einer Bewertungsmethodik für die Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf Natur und Landschaft und Ableitung von Handlungsempfehlungen. Diplomarbeit, Leibniz Universität Hannover.
- WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT AGRARPOLITIK BEIM BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2008): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung - Empfehlungen an die Politik. Verabschiedet im November 2007. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. http://www.bmelv.de/cln_044/nn_751706/SharedDocs/downloads/14-WirUeberUns/Beiraete/Agrarpolitik/GutachtenWBA_templateId=raw.property=publicationFile.pdf/GutachtenWBA.pdf (24.01.2008).
- WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG BEIRAT GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (2007): Neue Impulse für die Klimapolitik: Chancen der deutschen Doppelpräsidentschaft nutzen. Politikpapier 5. WBGU, Berlin, 20 S.
- WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (2003): Welt im Wandel – Energiewende zur Nachhaltigkeit. WBGU, Berlin, 254 S.
- WOLTERS, D. (1999): Bioenergie aus ökologischem Landbau. Möglichkeiten und Potentiale. Wuppertal-Institut für Klima, U., Energie, Wuppertal Papers 91,, 52 S.
- WORLD WIDE FUND FOR NATURE (2007): Empfehlungen des WWF Deutschland zur Ausgestaltung der Nachhaltigkeitsverordnung des Biokraftstoffquotengesetzes. http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/WWF_Biokraftstoffquote.pdf (k.A.).
- WORLDWATCH INSTITUTE (2006): Biofuels for Transport: Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century. Washington, 480 S.
- ZACHARIAS, A.K. (2005): Hirse als Energiepflanze - Aktueller Stand und Perspektiven aus Sicht der Pflanzenzüchter. 1. KWS-Energiepflanzen-Kolloquium, Einbeck, 7.- 8.12.2005, KWS, http://www.kws-energie.de/media/downloads/13/hirse_als_energiepflanze.pdf (08.12.2005).
- ZHANG, Q. (2007): Strategies for developing Green Super Rice. PNAS 104 (42): 16402-16409.

9. Danksagung

Wir bedanken uns bei allen beteiligten Personen und Institutionen für ihre freundliche Unterstützung, die zum Gelingen dieses Berichtes beigetragen hat, in zeitlicher Abfolge:

Unseren Kollegen PD Dr. Stephan Albrecht, Dr. Manuel Gottschick und Dr. Rainer Sodtke für die Mitwirkung am Projektantrag, dem BfN als Projektförderer für die Finanzierung, Myriel Cooper als studentische Hilfskraft für engagierte umfangreiche Recherchen, Kerstin Mönch vom Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter e.V. für die Ergänzung der Liste der zu befragenden Institutionen, den an der Umfrage aktiv beteiligten Züchtungsunternehmen und Forschungseinrichtungen für Ihre Antworten, dem Projektbeirat aus Vertretern des BMU und BfN für die kritisch konstruktive Diskussion und Begleitung des Projekts in mehreren Projekttreffen, Dr. Arnold Sauter vom Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag für seine wertvollen Anmerkungen zum Endberichtsentwurf, die zu Präzisierungen in der Darstellungen geführt haben, unserer Sekretärin Nina Mitra für ihre redaktionellen Korrekturbeiträge, und schließlich danken wir besonders Dr. Wolfram Reichenbecher für seinen intensiven, offenen und produktiven Austausch über die gesamte Projektlaufzeit, er hat wesentlich zur vorliegenden Gestalt des Berichtes beigetragen. Für verbliebene Unzulänglichkeiten tragen wie üblich die Autorin und die Autoren die Verantwortung gemeinsam.

10. Anhang

Anhang 1

Anschreiben zur Befragung im Rahmen des FuE-Vorhabens „Potenziale der Gentechnik bei Energiepflanzen“ des Bundesamtes für Naturschutz



Universität Hamburg

Forschungsschwerpunkt
Biotechnik, Gesellschaft
und Umwelt
Forschungsgruppe
Landwirtschaft und
Pflanzenzüchtung

BIOGUM · Ohnhorststr. 18 · D-22609 Hamburg

Dr. Markus Schorling

26. April 2007

Tel. 040 - 428 16 506 Fax 040-428 16 527
E-Mail: schorling@botanik.uni-hamburg.de
E-Mail (Sekretariat BIOGUM): mitra@botanik.uni-hamburg.de

Befragung im Rahmen des FuE-Vorhabens „Potenziale der Gentechnik bei Energiepflanzen“ des Bundesamtes für Naturschutz

Sehr geehrte Damen und Herren,

im Rahmen des Umweltforschungsplanes 2006 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) fördert das Bundesamt für Naturschutz (BfN) ein Projekt zum Thema „Potenziale der Gentechnik bei Energiepflanzen“. Hierzu führt der Forschungsschwerpunkt Biotechnik, Gesellschaft und Umwelt (FSP BIOGUM) der Universität Hamburg eine Befragung verschiedenster Forschungs- und Züchtungseinrichtungen durch.

Universität Hamburg · Tor zur Welt der Wissenschaft

www.biogum.uni-hamburg.de

Ziel dieses Projektes ist es, zu untersuchen, welches Potenzial die Gentechnik für die Züchtung von Energiepflanzen hat, welche Anbau- und Nutzungskonzepte mit gentechnisch veränderten Energiepflanzen verbunden sind und welche Auswirkungen sich daraus für den Naturschutz und die Umwelt ergeben könnten. Nähere Informationen finden Sie im Internet unter <http://www.uni-hamburg.de/fachbereiche-einrichtungen/biogum/Energiepflanzen.html>

Wir wären Ihnen dankbar, wenn Sie sich die Zeit für die Beantwortung des Fragebogens nähmen und ihn bis spätestens zum 16. Mai 2007 an uns zurückschickten:

- per Post: FSP BIOGUM, Ohnhorststr. 18, 22609 Hamburg
- per Fax: 040/42816-527
- per E-Mail: schorling@botanik.uni-hamburg.de

Die Darstellung der Ergebnisse des Fragebogens erfolgt anonym. Ihre Auskünfte werden vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.

Da Definitionen für Biotechnologie und Gentechnik sehr weitreichend und z. T. unterschiedlich sein können, finden Sie im Folgenden Definitionen der Verfahren, so wie wir sie im Zusammenhang mit diesem Fragebogen verstehen. Zusätzlich ist eine Definition für Energiepflanzen gegeben:

Definition Biotechnologische Verfahren in der Pflanzenzüchtung:
Unter biotechnologischen Verfahren in der Pflanzenzüchtung verstehen wir Methoden zur Neukombination und Selektion von Genomen wie z.B. Zell- und Gewebekultur oder markergestützte Selektion.

Definition Gentechnik:

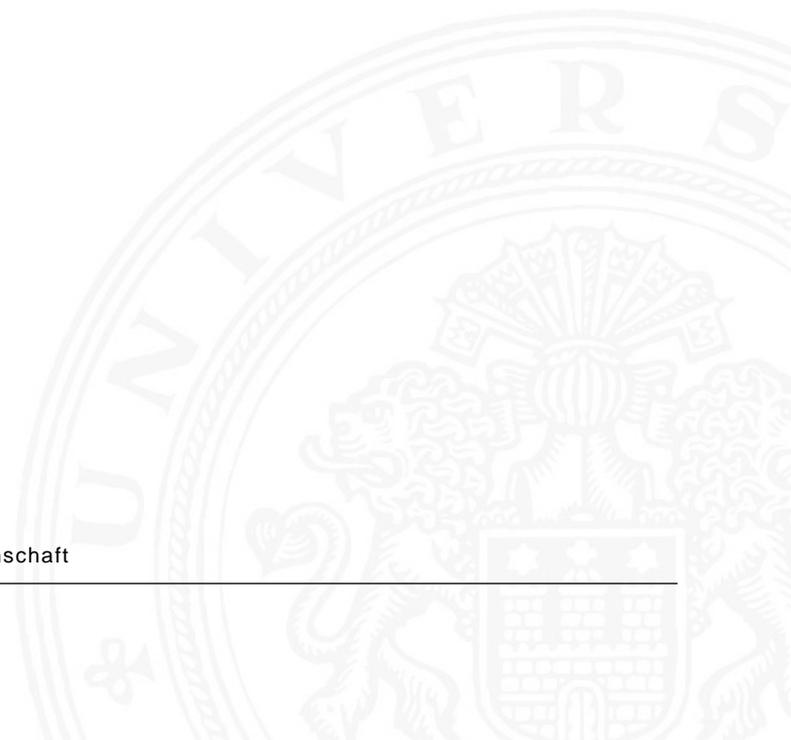
Die Gentechnik ist ein Teilgebiet der Biotechnologie. Mit ihrer Hilfe wird gezielt in das Erbgut und in die biochemischen Steuerungsvorgänge von Lebewesen bzw. viraler Genome eingegriffen. Die Gentechnik wendet Methoden zur Isolierung von Genen und zur Herstellung neukombinierter DNA, auch über Art-Grenzen hinweg, an.

Definition Energiepflanze:

Eine Energiepflanze ist eine Pflanze, die mit dem Hauptziel der energetischen Nutzung angebaut wird. Züchtungsziele bei Energiepflanzen können sowohl die Ertragssteigerung als auch die Ertragssicherung beinhalten.

Freundliche Grüße

Dr. Markus Schorling



Anhang 2: Fragebogen

1. Arbeiten Sie an einer öffentlichen oder an einer privaten Forschungseinrichtung?

Öffentlich
Privat

2. Welche Pflanzen bearbeiten Sie züchterisch für die Nutzung als Energiepflanzen?

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____
9. _____

3. Für welche Form der Bioenergie sollen die von Ihnen bearbeiteten Pflanzen genutzt werden? Bitte ankreuzen

unter 1.) genannte Pflanze	Biodiesel (Rapsmethylester)	Bioethanol	Biogas (Biomethan)	BtL	sonstige
zu 2.1.					
zu 2.2.					
zu 2.3.					
zu 2.4.					
zu 2.5.					
zu 2.6.					

4. Welche Eigenschaften verfolgen Sie mit welchen Züchtungsmethoden?

(kon. = konventionell, biot. = biotechnisch, gent. = gentechnisch)

Bitte für jede Pflanze einzeln ankreuzen.

Pflanze (bitte eintragen): Methode	2.1. _____			2.2. _____		
	kon.	biot.	gent.	kon.	biot.	gent.
Gesamtbiomasse						
Gesamttrockenmasse						
Kornertag						
Erhöhung Zucker- Stärkegehalt						
Erhöhung Ölgehalt						
Verringerung Proteingehalt						
Zellulose-Verzuckerung						
späte Reife						
Trockentoleranz						
Kühltoleranz						
Salztoleranz						
Insektenresistenz						
Herbizidresistenz						
Virusresistenz						
Kurztaggene						
sonstige: _____						
sonstige: _____						
sonstige: _____						
sonstige: _____						
sonstige: _____						

4.1. Sollten Sie gentechnische Verfahren anwenden, bitte kurz die Methode spezifizieren und den möglichen Zeitpunkt der Markteinführung nennen.

zu 2.1. _____

zu 2.2. _____

Falls Sie mehr als 2 Pflanzenarten im Hinblick auf ihre energetische Nutzung bearbeiten, finden Sie im Anhang weitere Tabellen.

5. Wenn Sie gentechnische Methoden statt konventioneller oder biotechnischer Methoden anwenden, welche Vor- und Nachteile sind aus Ihrer Sicht damit verbunden?

6. Wenn Sie keine gentechnischen Methoden anwenden, was sind die Gründe hierfür?

7. Welche Änderungen ergeben sich Ihrer Meinung nach beim Anbau von Energiepflanzen im Gegensatz zu Nahrungs- und Futtermittelpflanzen im Hinblick auf die landwirtschaftlichen Anbausysteme (Düngung, Pflanzenschutz, Stellung in der Fruchtfolge) und die Ansprüche an und Auswirkungen auf die natürliche Umwelt (Boden, Wasser, Luft, Biodiversität)?

Anhang zu Frage 4

Falls Sie mehr als 2 Pflanzenarten im Hinblick auf ihre energetische Nutzung bearbeiten (Frage 4), finden Sie hier weitere Tabellen.

(kon. = konventionell, biot. = biotechnisch, gent. = gentechnisch)
Bitte für jede Pflanze einzeln ankreuzen.

Pflanze (bitte eintragen): Methode	2.3.			2.4.		
	kon.	biot.	gent.	kon.	biot.	gent.
Gesamtbiomasse						
Gesamttrockenmasse						
Kornertrag						
Erhöhung Zucker- Stärkegehalt						
Erhöhung Ölgehalt						
Verringerung Proteingehalt						
Zellulose-Verzuckerung						
späte Reife						
Trockentoleranz						
Kühltoleranz						
Salztoleranz						
Insektenresistenz						
Herbizidresistenz						
Virusresistenz						
Kurztaggene						
sonstige: _____						
sonstige: _____						
sonstige: _____						
sonstige: _____						
sonstige: _____						

4.1. Sollten Sie gentechnische Verfahren anwenden, bitte kurz die Methode spezifizieren und den möglichen Zeitpunkt der Markteinführung nennen.

zu 2.3. _____
zu 2.4. _____

(kon. = konventionell, biot. = biotechnisch, gent. = gentechnisch)
 Bitte für jede Pflanze einzeln ankreuzen.

Pflanze (bitte eintragen): Methode	2.5. _____			2.6. _____		
	kon.	biot.	gent.	kon.	biot.	gent.
Gesamtbiomasse						
Gesamttrockenmasse						
Kornertrag						
Erhöhung Zucker- Stärkegehalt						
Erhöhung Ölgehalt						
Verringerung Proteingehalt						
Zellulose-Verzuckerung						
späte Reife						
Trockentoleranz						
Kühltoleranz						
Salztoleranz						
Insektenresistenz						
Herbizidresistenz						
Virusresistenz						
Kurztaggene						
sonstige: _____						
sonstige: _____						
sonstige: _____						
sonstige: _____						
sonstige: _____						

4.1. Sollten Sie gentechnische Verfahren anwenden, bitte kurz die Methode spezifizieren und den möglichen Zeitpunkt der Markteinführung nennen.

zu 2.5. _____

zu 2.6. _____