

**Wissenschaftszentrum
Nordrhein-Westfalen**

Institut Arbeit
und Technik



Kulturwissenschaftliches
Institut

**Wuppertal Institut für
Klima, Umwelt, Energie
GmbH**

Flächenkonkurrenz bei der weltweiten Bioenergieproduktion

**Kurzstudie im Auftrag des
Forums Umwelt und Entwicklung**

**Dr. Helmut Schütz
Dr. Stefan Bringezu
„Forschungsgruppe “Stoffströme
und Ressourcenmanagement“**



*Forum Umwelt
und Entwicklung*

Autoren:

Dr. Helmut Schütz, Dr. Stefan Bringezu

Redaktion:

Gerald Knauf

Herausgeber:

Forum Umwelt & Entwicklung
Am Michaelshof 8-10
53177 Bonn

Telefon: +49-(0)228-35 97 04
Fax: +49-(0)228-92399356
E-Mail: info@forumue.de
Internet: www.forumue.de

Verantwortlich:

Jürgen Maier

Layout:

Monika Brinkmüller

Wuppertal/Bonn, 2006

Die vorliegende Publikation wurde gefördert durch das Projekt „Welternährung und Agrobiodiversität“ des BMZ und der GTZ. Die in der Publikation vertretenen Ansichten decken sich nicht immer mit der Auffassung des BMZ und der GTZ.

Inhalt

1. Hintergrund und Zielsetzung	4
2. Bioenergie Global: Status Quo und Trends	7
2.1. <i>Abgrenzung und Kontext Gesamtprimärenergie sowie Erneuerbare Energien</i>	7
2.2. <i>Bioenergieträger und ihre wichtigsten Verwendungsbereiche</i>	7
2.3. <i>Nationale und internationale Märkte sowie Welthandel</i>	10
3. Flächenkonkurrenzen	12
3.1. <i>Aktuelle Flächenbelegungen und Trends</i>	12
3.2. <i>Zukünftiges Potenzial für Biomassenutzung - Szenarien</i>	16
3.3. <i>Hauptproblemfelder und Auswirkungen</i>	18
4. Perspektiven	20
5. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen	22
6. Quellen	24

1. Hintergrund und Zielsetzung

Bioenergie gewinnt zunehmend Bedeutung für die energetische Versorgung in vielen Ländern der Erde. Besonders in Ländern der EU sowie Brasilien, USA, China, Indien, und eine Reihe anderer Entwicklungsländer liegt der Schwerpunkt dabei auf Biokraftstoffen. Zum Teil wird diese Entwicklung durch nationale Politik gefördert, z.B. Steuerbefreiung für Biokraftstoffe oder feste Beimischungsquoten zu konventionellen Kraftstoffen. So werden weltweit Ziele für eine zukünftig ausgeweitete Nutzung von Biokraftstoffen verfolgt, die bei bestehenden Technologien mit deutlich steigenden Flächenbeanspruchungen im In- oder Ausland verbunden sind. Dies betrifft in erster Linie die EU Mitgliedstaaten, die USA und Brasilien, zukünftig aber auch Entwicklungsländer wie China und Indien. Große Flächenpotenziale für einen Anbau für den Welthandel werden vor allem in tropischen Ländern wie Brasilien, Indonesien, Indien, Tansania und Argentinien gesehen.

Nach gegenwärtigem Stand und kurz- bis mittelfristigen Aussichten liegt der Fokus dabei auf Bioethanol und Biodiesel, den sogenannten Biokraftstoffen der ersten Generation. Die Entwicklung des Ölpreises, die Sorge um Versorgungssicherheit und die Suche nach Maßnahmen zum Klimaschutz treiben deren weltweite Nutzung an. In ihrer Biomasse- und Biokraftstoffstrategie strebt z.B. die EU bis 2010 einen Anteil von 5,75% Biokraftstoffen an. Der größere Teil davon kann voraussichtlich aus dem Inland

gedeckt werden, der Rest wird aber importiert werden müssen. Erste Abschätzungen haben ergeben, dass dies in Brasilien die Umwandlung einiger Mio. ha Primärwald in Ackerland zur Folge haben könnte (European Commission 2006).

Die Entwicklung von Biokraftstoffen der zweiten Generation mit deutlich größerer Effizienz, wie z.B. BtL (Biomass-to-Liquid)¹, steckt noch weitgehend im Forschungs- und Entwicklungsstadium. Ihre Marktfähigkeit in Deutschland hängt u.a. von weiter gehender Förderung ab. Es besteht jedoch großes Interesse in der deutschen Wirtschaft, die Entwicklung zu beschleunigen (econsense 2006). Eine andere viel versprechende Option der ersten Generation stellt Biogas aus Energie- bzw. Ganzpflanzenanbau dar. Diese Technologie hat bislang zwar nur regionale Bedeutung, vor allem in Deutschland, kann aber als erprobt und in dezentralen Produktionseinheiten auch als wirtschaftlich gelten. Eine globale Verbreitung ist jedoch noch nicht absehbar.

Die Entwicklung von international ausgerichteten Märkten für Bioenergie scheint vorgezeichnet. Standortvorteile liegen dabei vor allem in tropischen Regionen mit hohen Biomassepotenzialen. Bereits heute ist ein internationaler Handel mit Rohstoffen, die auch für die Biokraftstoffproduktion verwendet werden können, relevant. Vor allem Palmöl mit global ca. 25 Mio. t und Soja mit weltweit etwa 120 Mio. t Handelsvolumen spielen hier eine Rolle. Auch Bioethanol wird bereits mit etwa 4 Mio. t auf dem Weltmarkt gehandelt. Ausmaß und Art des zukünftigen Handels mit Bioenergieträgern hängt unter anderem auch von den WTO Verhandlungen (Wegfall von Handelshemmnissen verschiedener Art) ab.

¹ BtL bezeichnet Kraftstoffe, die aus Biomasse synthetisiert werden. Dabei kann auch feste Biomasse, wie z.B. Holz verwendet werden.

Es ist eine realistische Annahme, dass Bioenergieträger in Zukunft in großem Ausmaß in tropischen Ländern produziert werden, um zur Energieversorgung von Industrieländern wie USA und EU, aber auch von China und Indien beizutragen. Diese Entwicklung zeichnet sich bereits für Brasilien als Standort für Bioethanol aus Zuckerrohr und für Malaysia und Indonesien für Biodiesel aus Palmöl ab. Argentinien plant den großflächigen Anbau von Soja für Biodiesel für den Export. Vor allem in Indien, aber auch in vielen Staaten Afrikas (D1 Oil Plc), wird der großflächige Anbau der Ölfrucht Jatropha zur Biodieselproduktion erwogen und derzeit in Pilotprojekten erprobt.

In Zukunft wird Biomasse zunehmend auch zur stofflichen Nutzung eingesetzt werden. Die Entwicklung steckt hier noch in den Anfängen, mengenmäßige Prognosen sind kaum verfügbar. Lediglich in den USA existiert bereits ein quantitatives Ziel zum Ersatz nicht nachwachsender Rohstoffe durch Biomaterialien in der industriellen Produktion von chemischen Erzeugnissen (bis 2030 soll der Anteil an Biomasse basierten Chemikalien von derzeit 5% auf 25% steigen). Auch in Deutschland werden bereits etwa 10% aller Rohstoffe für die chemische Industrie auf nachwachsender Basis bereitgestellt, davon werden rund zwei Drittel importiert (FNR 2006b). Angesichts des Gesamtaufkommens von Rohstoffen in Deutschland von ca. 1,2 Mrd. t pro Jahr (ohne Energierohstoffe) ist der Rohstoffbedarf der chemischen Industrie mit etwa 2 Mio. t unbedeutend. Hinzu kommt, dass ein Anteil von 76% des gesamten Rohstoffaufkommens in Deutschland, also rund 900 Mio. t, nicht nachwachsende Rohstoffe sind. Während nachwachsende Rohstoffe bislang nur einen kleinen Teil der Versorgung ausmachen, verdeutlichen diese Relationen ein verborgenes Potenzial. Sollte die „schlummernde Nachfrage“ nach einem steigenden Beitrag von nachwachsenden Rohstoffen zur stofflichen Versorgung „erwachen“, würde dies zu einer verstärkten Konkurrenz zwischen

Bioenergie, Biomaterialien und Nahrungsmittelversorgung führen. Zukünftige Potenziale von Biomasse für die stoffliche Nutzung werden aktuell im Auftrag des Umweltbundesamtes erforscht².

Anbaupflanzen in der Landwirtschaft für die stofflich-energetische Nutzung stehen in Konkurrenz zum Anbau landwirtschaftlicher Erzeugnisse für Nahrung und Futter. Darüber hinaus konkurrieren sie mit inländischen Flächen für den Natur-, Boden-, Klima- und Hochwasserschutz sowie anderen anthropogen beeinflussten Flächennutzungsoptionen wie für Siedlung und Verkehr. Auch die beabsichtigte Ausweitung des Ökolandbaus könnte bei unveränderten Konsummustern zu einer Verstärkung der Flächenkonkurrenz beitragen. Es wird davon ausgegangen, dass in den meisten Mitgliedstaaten der EU bis 2030 ein Anteil von 30% der landwirtschaftlichen Fläche für ökologischen Landbau vorgesehen wird (EEA 2006). Über den internationalen Handel landwirtschaftlicher Erzeugnisse werden von Industrieländern wie Deutschland und Wirtschaftsräumen wie der EU bereits heute zusätzlich Flächen in anderen Ländern/Regionen beansprucht, die zum größten Teil für den Konsum tierischer Nahrungsmittel belegt werden. Dadurch wird die Flächennutzung anderer Regionen teilweise erheblich beeinflusst.

Andererseits können zusätzliche Flächenpotenziale für den Anbau nachwachsender Rohstoffe unter bestimmten Bedingungen entstehen, z.B. infolge von Neuregelungen durch die EU-Agrarpolitik (Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik, GAP-Reform) infolge des Abbaus von Subventionen. Auch „flächenneutrale“ Optionen bei der Nutzung von Biomasse sind in Betracht zu ziehen, vor allem in Form von Abfall- und Reststoffen. Und schließlich besteht die Erwartung, dass in

² <http://www.wupperinst.org/Projekte/fq3/2308.html>

Zukunft neue Technologien signifikant höhere stofflich-energetische Ausbeuten pro ha ermöglichen.

Eine Reihe von Einflussfaktoren wird die zukünftige Versorgungsstruktur mit nachwachsenden Rohstoffen für stofflich-energetische Zwecke bestimmen. Hierzu gehören in erster Linie die Nachfrage durch Produzenten und Konsumenten, technologische Innovationen, Wirtschaftlichkeitsaspekte (insbesondere im Hinblick auf die Entwicklung des Ölpreises), die Handelspolitik (Außenschutz), die Produktqualität, die Flächenverfügbarkeit, staatliche Interventionen und die Entwicklung der Hektarproduktivitäten. Gerade die Entwicklung der Hektarproduktivitäten wird vermutlich häufig zu optimistisch eingeschätzt, angesichts naturgegebener Limitierungen und äußerer Einflüsse wie des Klimawandels. Die Hektarproduktivitäten traditioneller Kulturen wie Weizen, Gerste, Mais, Zuckerrüben oder Kartoffeln werden nach aktuellen Prognosen der Europäischen Kommission in der EU besonders stark von ungünstigen Witterungsbedingungen beeinträchtigt. Dagegen sind bei neuen Nutzungs- und Anbauformen wie z.B. Ganzpflanzen noch steigende Potenziale zu erwarten. Die Gesamtauswirkungen auf den Flächenbedarf sind noch nicht abschließend geklärt.

Zielperspektive sollte eine integrierte stofflich-energetische Versorgung mit nachwachsenden Rohstoffen sein. Dabei müssen Erfordernisse des Klima-, Natur- und Ressourcenschutzes einschließlich einer nachhaltigen Flächennutzung im Inland und weltweit eingehalten werden. Dies erfordert den Rückbau der gegenwärtig überwiegend nicht nachwachsenden Ressourcenbasis des sozio-industriellen Stoffwechsels und eine teilweise Substitution durch nachwachsende Rohstoffe. Biomasse wird langfristig die dominierende stofflich-regenerative Basis darstellen, aber weniger durch eine Zunahme der jetzigen Nutzungen, sondern vor allem durch eine Verminderung der mineralischen Rohstoffextraktion. Hierzu ist wiederum eine deutliche Erhöhung der Material- und Energieeffizienz von zentraler Bedeutung.

Zielsetzung dieser Studie ist die Erfassung und Kommentierung der globalen Problematik der bestehenden und zu erwartenden Flächenkonkurrenz durch Bioenergie auf der Basis bestehender Analysen. Hierzu werden die wichtigsten Probleme benannt und deren Auswirkungen besonders auf die Nahrungsmittelproduktion eingeschätzt. Soweit erforderlich und möglich wird eine Differenzierung der Analysen nach regionalen Standort- und Produktionsbedingungen sowie nach den wichtigsten Bioenergieträgern vorgenommen.

2. Bioenergie Global: Status Quo und Trends

2.1. Abgrenzung und Kontext Gesamtprimärenergie sowie Erneuerbare Energien

Bioenergie wird international gebräuchlich mit Biomasse für energetische Nutzung gleich gesetzt. Biomasse kann unterschieden werden in moderne und in traditionelle Biomasse, wobei Biokraftstoffe meist auch als eigene Gruppe aufgeführt werden. Traditionelle Biomasse bezieht sich im Allgemeinen auf Nutzungen im kleinen Maßstab in Entwicklungsländern. Darunter werden Brennholz und Holzkohle für den Hausverbrauch pflanzliche Rückstände und Dung gefasst. Moderne Biomasse bezieht sich dagegen auf Nutzungen im größeren Maßstab und Substitute für konventionelle fossile Energieträger. Sie umfasst Waldholz und landwirtschaftliche Rückstände, organische Abfälle sowie Biogas und Biokraftstoffe aus Energiepflanzen wie Ölpflanzen und stärke- und zuckerhaltige Pflanzen.

Biomasse ist Teil der erneuerbaren Energien, die traditionelle Biomasse, große Wasserkraftwerke und die neuen erneuerbaren Energien umfassen. Als solche werden bezeichnet: kleine Wasserkraftwerke, moderne Biomasse wie Wind, Solar, Geothermie und Biokraftstoffe. Sie tragen 2% zum weltweiten Primärenergieverbrauch (PEV) bei. Tabelle 1 weist den Beitrag von Biomasse zu den erneuerbaren Energien sowie zum gesamten Primärenergieverbrauch der Welt 2004 aus. Abbildung 1 veranschaulicht die Anteile von Biomasse. Traditionelle Biomasse macht den größten Anteil aus

mit 9% des globalen PEV, der Verbrauch stagniert jedoch (REN21). Dagegen wächst der Anteil der neuen erneuerbaren Energien in Industrieländern und einigen Entwicklungsländern sehr rasch. In 2004 machten moderne Biomassen zur Stromerzeugung, Heißwasser- und Wärmebereitstellung sowie für Biokraftstoffe insgesamt 1% des globalen PEV aus. Der weltweite Anteil von Biokraftstoffen am PEV liegt dabei insgesamt bei etwa 0,2%, weist aber mit die höchsten Wachstumsraten auf. Von 2000 auf 2004 stieg der Bioethanolverbrauch um 11%, der Biodieserverbrauch um 25%. Hinzu kommt, dass bei gegenwärtigem Technologiestand die Produktion von Biokraftstoffen hauptsächlich auf Nutzung landwirtschaftlicher Flächen beruht.

2.2. Bioenergieträger und ihre wichtigsten Verwendungsbereiche

Bioenergieträger können in folgenden Gruppen unterschieden werden:

1. Biokraftstoffe:
 - Biodiesel: aus Ölpflanzen wie Raps, Sonnenblumen, Palmöl, Soja, Rizinus, Jatropha sowie aus Altspeisefetten/Ölen;
 - Reines Pflanzenöl (pflanzliche Basis wie Biodiesel);
 - Bioethanol (als Alternative zu Motorenbenzin): aus Zuckerrohr, Zuckerrübe, Getreide sowie zukünftig auf Basis von Lignozellulose;
 - Biomass-to-Liquid (BtL) (mit hohen Anpassungsfähigkeiten an den

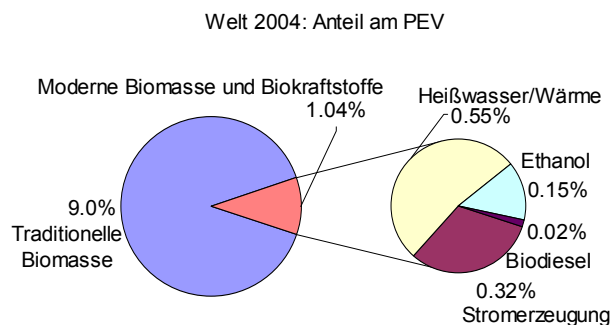
Tabelle 1: Erneuerbare Energien im Primärenergieverbrauch der Welt 2004

	Mtoe	Anteil an erneuerbarer Energie	Anteil an gesamter Energie
Stromerzeugung			
Biomasse	35.8	1.9%	0.3%
Wind	22.7	1.2%	0.2%
kleine Wasserkraft	57.3	3.1%	0.5%
Geothermie	14.3	0.8%	0.1%
Gesamt	130.1	6.9%	1.2%
Heißwasser/Wärme			
Solar	6.9	0.4%	0.1%
Geothermie	4.8	0.3%	0.04%
Biomasse	62.1	3.3%	0.6%
Gesamt	73.7	3.9%	0.7%
Biokraftstoffe			
Ethanol	16.7	0.9%	0.1%
Biodiesel	1.9	0.1%	0.02%
Gesamt	18.6	1.0%	0.2%
Andere erneuerbare			
Traditionelle Biomasse	1,010	53.8%	9.0%
große Wasserkraft	644	34.3%	5.7%
Gesamt	1,654	88.1%	14.7%
Insgesamt	1,876.4	100.0%	16.7%
darunter: neue erneuerbare Energien	222.4	11.9%	2.0%
darunter: Biomasse	1,126.5	60.0%	10.0%
darunter: Biomasse ohne traditionelle Biomasse	116.5	6.2%	1.0%

Quelle: REN21

Anmerkung: der Energieverbrauch basiert auf dem Energiegehalt vermiedener fossiler Energieträger, dies betrifft alle Werte unter „Stromerzeugung“ sowie „große Wasserkraft“.

Abbildung 1: Anteile von Biomasse am Primärenergieverbrauch (PEV) der Welt 2004.



Quelle: REN21

Anmerkung: der Energieverbrauch basiert auf dem Energiegehalt vermiedener fossiler Energieträger, dies betrifft alle Werte unter „Stromerzeugung“ sowie „große Wasserkraft“.

Kraftstoffbedarf - Designer Kraftstoff): aus Energiepflanzen, Reststoffen oder Abfällen;

- Biogas (als Biokraftstoff zum Ersatz von Erdgas): aus Energiepflanzen, Reststoffen und Abfällen;
- Bio-Wasserstoff: aus Energiepflanzen, Reststoffen und Abfällen sowie Grünalgen

2. Biogas (für die stationäre Nutzung) Hier ergeben sich Möglichkeiten zur kombinierten stofflich-energetischen Nutzung. Sie findet vor allem im stationären Bereich statt und ist in dezentralen Produktionseinheiten wirtschaftlich günstig.

3. Biomasse zur Strom- und Wärmeerzeugung, einschließlich (dezentraler) Kraft-Wärme-Kopplung aus: Holz und Erntenebenprodukte (z.B. Stroh). Dieser Bereich ist kaum flächenrelevant für die landwirtschaftliche Produktion und wird hier nicht weiter betrachtet.

4. Bioenergie zur dezentralen Versorgung ländlicher Strukturen in Entwicklungsländern der ersten (z.B. nicht weiterverarbeiteten Bioenergieträger) und zweiten Generation (z.B. Biomassevergasung). Auch diese Energienutzung beruht kaum auf landwirtschaftlichen Flächen, da vorwiegend Brennholz sowie land- und forstwirtschaftliche Reststoffe und Abfälle genutzt werden.

Im Hinblick auf Flächennutzungskonkurrenzen werden zwei Hauptgruppen unterschieden: Anbaubiomassen und „flächenneutrale“ Biomassen. In der Folge wird der Fokus auf Anbaubiomassen und daraus hergestellte Produkte für die energetische Nutzung gelegt. Dadurch konzentriert sich die Studie aus globaler Sicht auf Bioethanol und Biodiesel.

Auf regionaler Ebene können zunehmend auch andere Bioenergieträger eine Rolle spielen. In Deutschland z.B. tritt der Anbau nachwachsender Rohstoffe für

stoffliche und energetische Zwecke zunehmend als Konkurrent um landwirtschaftliche Fläche auf. In 2002 lag dessen Anteil noch bei 7%, in 2005 waren bereits 12% der Fläche für Ackerland und Dauerkulturen durch nachwachsende Rohstoffe belegt; der größte Teil davon (80%) wurde für energetische Nutzung, hauptsächlich als Raps für Biodiesel, verwendet. Den zweitgrößten Flächenanteil und die aktuell höchsten Zuwachsraten haben Flächen für Energiegetreide, -gräser und -mais, die allein von 2004 auf 2005 um den Faktor 6 auf 167.000 ha oder 1,4% der Ackerfläche anstiegen. Der Ausbau konzentrierte sich auf Flächen mit Energiepflanzenprämie, bzw. Stilllegungsflächen. Dabei fällt die Nutzung von Biogas zunehmend ins Gewicht, von 2005 auf 2006 verdoppelte sich der Flächenbedarf für Mais zur Biogaserzeugung auf 140.000 ha. Experten gehen aufgrund nicht gemeldeter Flächen sowie nicht erfasster Mengen von Silomais für Energienutzung anstatt als Tierfutter von noch höheren Flächenbelegungen für die Biogaserzeugung aus. Ähnliche Entwicklungen könnten sich auch in Ost- und Südost-Europa ergeben (z.B. Russland).

Global gesehen sind Brasilien und USA die führenden Produzenten und Konsumenten für Bioethanol (Tabelle 2), für das sich in den vergangenen Jahren auch ein signifikanter Welthandel entwickelt hat, zu dem Brasilien als Hauptexporteur beiträgt.

Weltweit hält Brasilien auch bei weitem den größten Anteil von Biokraftstoffen am Kraftstoffverbrauch für Transporte mit 21,6% (Worldwatch Institute 2006), gefolgt von Swasiland mit 6,3%. Deutschland rangiert mit 1,4% noch hinter den USA mit 1,8%.

Biodiesel wird bislang hauptsächlich in Deutschland produziert und verbraucht, allerdings steigen auch hier die Importanteile, vor allem aus Ländern Osteuropas, aktuell stark an.

Tabelle 2: Produktion von Biokraftstoffen in 2004, führende 12 Länder.

	Ethanol		Biodiesel	
	Milliarden Liter	Anteil	Milliarden Liter	Anteil
Brasilien	15	48.4%		
USA	13	41.9%	0.1	4.5%
China	2	6.5%		
Deutschland	0.02	0.1%	1.1	50.0%
Frankreich	0.1	0.3%	0.4	18.2%
Italien			0.35	15.9%
Kanada	0.2	0.6%		
Thailand	0.2	0.6%		
Spanien	0.2	0.6%		
Dänemark			0.08	3.6%
Tschechische Republik			0.07	3.2%
Australien	0.07	0.2%		
Rest der Welt	0.21	0.7%	0.1	4.5%
Welt	31	100.0%	2.2	100.0%

Quelle: REN21

2.3. Nationale und internationale Märkte sowie Welthandel

Die weltweite Produktion von Biokraftstoffen belief sich 2004 auf über 33 Mrd. l (31 für Bioethanol, 2,2 für Biodiesel) und entsprach ca. 3% des Verbrauchs an fossilen Kraftstoffen. In Brasilien lag der Ethanolanteil bei 44% des Verbrauchs von Motorenbenzin. Die USA mischten ihrem Benzinabsatz 30% zu. Brasilien stellt seit 25 Jahren Bioethanol her und produzierte allein in 2004 schon 15 Mrd. l. In den vergangenen Jahren hat sich zunehmend ein signifikanter Welthandel für Bioethanol aufgebaut, mit Brasilien als führendem Exporteur von 2,5 Mrd. l Bioethanol (17% der einheimischen Produktion). 2004 betrug der Welthandel von 4,9 Mrd. l. Hauptimporteure sind Japan, USA und Indien.

Bioethanol aus Brasilien ist voll wettbewerbsfähig mit Benzin aus Mineralöl. Lediglich der hohe Einfuhrzoll ist eine Barriere für die Wettbewerbsfähigkeit im EU Markt. Es wird jedoch erwartet, dass zukünftig Importe von Biodiesel und Bioethanol die Produktion in der EU stark unter Druck setzen werden (Zimmer 2006).

Die USA sind der zweitgrößte Produzent und Konsument von Bioethanol. Der Markt wuchs an auf 14 Mrd. l in 2004 mit zuletzt 15-20% pro Jahr. In 2005 entfielen 3% des Nicht-Diesel Kraftstoffverbrauchs in den USA auf Bioethanol.

Biodiesel wird mit 2 Mrd. l vor allem in Deutschland produziert und verbraucht und durch eine Steuerbefreiung gefördert. Auch hier zeichnet sich ein zunehmender Trend zu Importen zur Deckung des inländischen Bedarfs ab. In 2004 wurden ca. 13% des inländischen Aufkommens von Biodiesel über direkte Importe abgedeckt, in 2005 stieg dieser Anteil bereits auf ca. 17%, wobei die Importe absolut sogar um das ca. 2,3-fache zunahm. Pläne für eine Raffinerie für Biodiesel und Blockheizkraftwerke sahen als Rohstoffbasis große Mengen an Palmöl aus Malaysia und Indonesien vor. Wegen der umweltzerstörenden und sozial sehr problematischen Produktion von Palmöl, sind diese Pläne zwar gescheitert, werden aber trotzdem weiter verfolgt.

Neben der einheimischen Produktion für den nationalen Verbrauch oder den Export kommt seit Kurzem eine weitere Strategie im globalen Kontext zum Tra-

gen: Auslandsdirektinvestitionen zur Erstellung von Biodieselanlagen. Dies wird in großer Dimension von China in Indonesien verfolgt. Besonders in Kalimantan, dem indonesischen Teil Borneos, sollen Umweltverbänden zufolge 1,8 Mio. ha Tropenwald für den Anbau von Ölpalmen für die chinesische Kraftstoffindustrie geopfert werden (Sawit Watch). Dies wäre damit das größte Palmöl-Anbauggebiet der Welt.

2005 startete in Brasilien das „Nationale Programm zur Erzeugung und Nutzung von Biodiesel“, bei dem besonders kleinbäuerliche Strukturen in die Produktion von Pflanzenöl (Rizinus) für die Dieselherstellung eingebunden wurden. Aufgrund des voraussichtlichen zukünftigen Dieserverbrauchs in Brasilien und der dafür erforderlichen Flächen wird dieses Programm in erster Linie nur den inländischen Markt bedienen können. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass Brasilien durch den Ausbau des Soja- und Palmölanbaus dennoch zum Exportland

für Biodiesel werden könnte, dies wird von der Regierung auch grundsätzlich beabsichtigt. Daneben plant Argentinien großflächige Ausweitungen seiner bereits ausgedehnten Anbauflächen für Soja für die Biodieselproduktion und will in 2010 schon 2 Mio. t Biodiesel exportieren.

Ähnliche Entwicklungen wie in Deutschland sind z.B. auch für den Biodieselmärkte in USA und Indien geplant, so dass die globale Nachfrage und der Welthandel deutlich ansteigen werden. Verstärkt wird dies durch zunehmende Bestrebungen in vielen Ländern, Beimischungsquoten für Biodiesel einzuführen. Sollte z.B. China bis zum Jahr 2020 eine Beimischungspflicht von 10% Biodiesel realisieren wollen, so werden selbst bei konservativer Schätzung mindestens 7 Mio. t Biodiesel fehlen bzw. nicht aus einheimischen Quellen produziert werden können (Worldwatch Institute 2006). In diesem Kontext ist auch das Engagement Chinas zur Entwicklung neuer Biodieselfraktionen aus Palmöl in Südostasien zu sehen.

3. Flächenkonkurrenzen

3.1. Aktuelle Flächenbelegungen und Trends

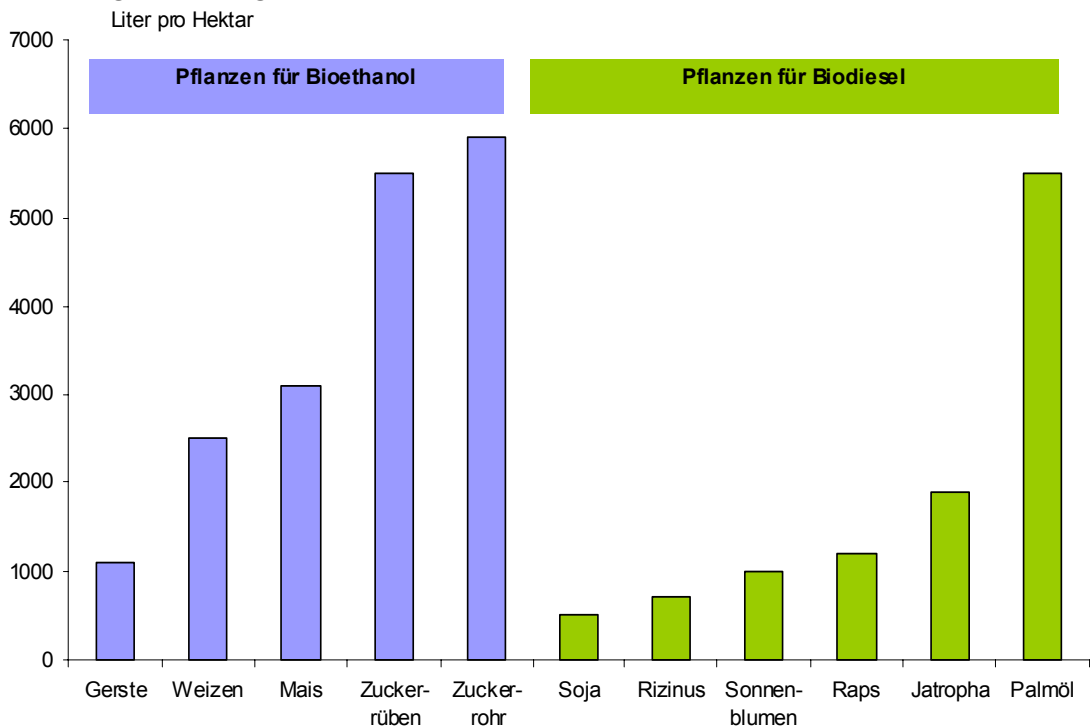
Der spezifische Ertrag von Bioethanol oder Biodiesel pro ha landwirtschaftlicher Fläche ist je nach Pflanze (und Region) sehr unterschiedlich (Abbildung 2). Auf einem ha landwirtschaftlicher Fläche kann mehr als 5mal so viel Bioethanol aus Zuckerrohranbau erzeugt werden als aus Gerste, und 11mal soviel Biodiesel aus Palmöl wie aus Soja. Hier zeigen sich generell deutliche Vorteile für die Pflanzenproduktion in tropischen Regionen.

Bezieht man die Potenziale von Biokraftstoffen der zweiten Generation mit ein, so zeigen sich hohe Kraftstoffträge

auch für Anbau und Produktion in anderen Regionen wie z.B. Deutschland. Dies gilt für BtL und insbesondere für Biogas (Tabelle 3).

Das reine Ausmaß der Flächenbeanspruchung für Biokraftstoffe variiert sehr stark, und damit auch das Ausmaß der potenziellen Konkurrenz mit anderen Nutzungsformen. Davon kann aber nicht per se abgeleitet werden, dass hoch ertragreiche Pflanzen auch die ökologisch beste Variante zur Biokraftstoffproduktion darstellen. Hierzu bedarf es vielmehr einer Beurteilung im regionalen und globalen Kontext. Grundsätzliche Kriterien sind in diesem Zusammenhang konventionelle Anbauflächen (z.B. Raps für Biodiesel) versus multifunktionale Flä-

Abbildung 2: Ertrag von Bioethanol oder Biodiesel.



Quelle: Fulton et al. 2004

Tabelle 3: Kraftstofferträge bei verschiedenen Biokraftstoffen.

Biokraftstoff	Liter Kraftstoffäquivalente pro Hektar
Biodiesel aus Raps	1408
Rapsöl	1420
Bioethanol aus Zuckerrüben	4054
Bioethanol aus Getreide	1660
Bioethanol aus Lignozellulose	640
Bioethanol aus Zuckerrohr (Brasilien)	4197
BtL (Biomass-to-Liquid)	3907
Biogas (Biomethan aus Silomais)	4977
Bio-Wasserstoff	4742

Quelle: FNR 2006a.

chennutzungen³) oder „flächenneutrale“ Bioenergie⁴. Dabei sollte der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion besondere Beachtung zuteil werden. Auch die Konkurrenz zu einer potenziellen oder bereits etablierten stofflichen Verwertung nachwachsender Rohstoffe (z.B. für pflanzliche Öle) sollte mit bedacht werden.

Nutzungskonkurrenzen sind sowohl für die inländische Flächennutzung zu beachten als auch für die mit dem inländischen Verbrauch im Ausland beanspruchten Flächen.

Im Inland konkurriert der Anbau von Energiepflanzen mit anderen Nutzungsformen. In Industrieländern zeichnen sich dabei die folgenden Haupttrends ab:

- Landwirtschaftliche Nutzfläche geht kontinuierlich infolge der Ausdehnung von Siedlungs- und Verkehrsfläche verloren. Von 1992 bis 2004 sank in Deutschland die landwirtschaftliche Nutzfläche um ca. 5.800 km² (um ca. 3%), die Siedlungs- und Verkehrsfläche stieg im selben Zeitraum um ca. 5.300 km² (um ca. 13%).

- Anbauflächen für die energetische (und zunehmend auch für die stoffliche) Nutzung von Biomasse nehmen zu. Von 2002 bis 2005 stieg die Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe in Deutschland auf 1,4 Mio. ha bzw. um 67% gegenüber 2002. Sie machte in 2005 ca. 12% des Ackerlandes einschließlich Dauerkulturen aus.

- Dadurch verringert sich die potenzielle Anbaufläche für Nahrungs- und Futtermittel. Bereits heute findet durch den (subventionierten) Anbau von Energiepflanzen eine Verdrängung wettbewerbsfähiger Nahrungsmittelproduktion statt (Zimmer 2006). Dieser Trend wird sich verstärken, wie die Entwicklung der Flächen für Energiegetreide, -gräser und -mais zeigt.

³ z.B. für Bioenergie und Bodenschutz durch Ganzpflanzenanbau für Biogas, oder durch Nutzung der Biomasse für stoffliche und energetische Zwecke

⁴ z.B. durch Nutzung von Reststoffen oder Abfällen zur Biogaserzeugung

- Bei der angestrebten Ausweitung des Ökolandbaus ist tendenziell mit geringeren Flächenerträgen und damit bei gleichen Verbrauchsmustern mit höherem Flächenbedarf zu rechnen.
- Einen ähnlichen Effekt hat die Ausweitung der Flächen für den Natur-, Boden-, Klima- und Hochwasserschutz.

In Entwicklungsländern hat die Flächennutzungskonkurrenz mit natürlichen Ökosystemen eine besondere Bedeutung. Am Beispiel Brasilien soll dies verdeutlicht werden. Bei Bioethanol aus Zuckerrohr strebt das brasilianische Agrarministerium eine Ausweitung der Anbaufläche von 6 auf 9 Mio. ha in 2014 an. Auf der zusätzlichen Fläche von 3 Mio. ha könnte Brasilien ca. 8,5 Mrd. l Bioethanol produzieren und dies exportieren, da das Land bis 2020 seinen eigenen Benzinbedarf auf Basis der bereits bestehenden Zuckerrohranbaufläche decken kann. Diese Menge entspricht ca. 3,5% des EU-Verbrauchs an Benzin oder ca. 0,5% des weltweiten Benzinverbrauchs. Nach Schätzungen kann die Weltzuckerrohrproduktion theoretisch so weit gesteigert werden, dass damit allein rund 10% des weltweiten Benzinverbrauchs ersetzt werden könnten (Worldwatch Institute 2006). Eine Ausweitung der Nachfrage nach Bioethanol hätte entsprechend größere Flächenveränderungen zur Folge. Meist entstehen neue Zuckerrohrplantagen auf bestehenden Anbauflächen, der Nahrungsmittelanbau wird verdrängt und weicht in bisher nicht bewirtschaftete Gebiete aus. Würden die 3 Mio. ha Fläche für Zuckerrohrplantagen auf diese Weise indirekt durch Rodung von Regenwald „bereitgestellt“, so entspräche dies ca. 1% der Fläche an Regenwald innerhalb Brasiliens. Der brasilianische Regenwald beheimatet

ein Fünftel der weltweiten Biodiversität, darunter mindestens 427 Säugetierarten, 1.294 verschiedene Vögel, rund 3.000 Fischarten, 2,5 Mio. unterschiedliche Insekten und 40.000 Pflanzen. Viele dieser Arten sind endemisch, kommen also nur im Amazonas-Gebiet vor, einige sind noch nicht einmal bestimmt worden (WWF 2006).

Würde Brasilien auch Biodiesel in größerem Ausmaß auf der Basis von Soja produzieren, so würden sich überaus hohe Flächenansprüche ergeben. Um den prognostizierten Dieserverbrauch in Brasilien im Jahre 2020 (Kaltner et al. 2005) mit Biodiesel auf Basis von Soja zu decken, müssten selbst bei einer angenommenen Ertragsteigerung von 25% mehr als das Doppelte der heutigen gesamten Ackerlandfläche Brasiliens mit Soja bepflanzt werden; das wären etwa 126 Mio. ha). Tatsächlich plant Brasilien eine Ausweitung der Sojafläche von derzeit 22 Mio. ha auf zukünftig etwa 100 Mio. ha (Kaltner et al. 2005). Zum Vergleich: die gesamte Ackerlandfläche Brasiliens umfasst derzeit ca. 60 Mio. ha. Parallel dazu werden aktuell immer mehr Raffinerien für Diesel aus Sojaöl in Betrieb genommen, sind im Bau oder werden geplant⁵. Zusätzlich ist dort eine Ausdehnung des Palmölanbaus zur Biodieselproduktion geplant, dessen Ausmaß und Relevanz für Flächenkonkurrenzen jedoch noch weitgehend unbestimmt ist. Ölpflanzen wie Rizinus können – auch unter sozialen Gesichtspunkten – einen Beitrag zur regionalen Nachhaltigkeit leisten, dies wird von der brasilianischen Regierung auch selektiv gefördert. Ein nennenswertes Potenzial für den Export ergibt sich daraus aber nicht, da erhebliche Flächen innerhalb Brasiliens erforderlich sind, um nur einen Teil des eigenen Dieselbedarfs zu decken.

In Malaysia und Indonesien sehen Entwicklungspläne eine verstärkte Produktion von Palmöl und Biodiesel vor, vorrangig mit Blick auf den wachsenden

⁵ Gateway Brazil – AgNews – AgTours – AgInvestments. Newsletter 31 August 2006: http://www.brazil.studyintl.com/news/agnews/agnews_sugarcane.htm

Bedarf in Europa und China. Bislang betrug der Anteil von Palmöl an der weltweiten Biodieselproduktion nur etwa 1%. Aktuell steigen die Aktien von Palmöl produzierenden Unternehmen in Malaysia und Indonesien, und die Nachfrage nach Palmöl wächst – 95% davon für die Biokraftstoffproduktion. In Malaysia und Singapur werden auch mit Unterstützung deutscher Unternehmen Biokraftstoffanlagen gebaut⁶. Damit verknüpft werden ausgedehnte Landnutzungsänderungen wie in Kalimantan erwartet mit deutlich negativen Auswirkungen auf das globale Klima, die Biodiversität und die Existenz indigener Menschen.

In Indonesien werden zunehmend Regenwälder gerodet, um Platz für Ölpalmen-Plantagen zu schaffen (siehe auch UNEP 2006). Aus den Ölpalmen wird das Pflanzenfett für Margarine gewonnen; das Palmölschrot (die Schalen der Ölpalmenfrüchte) wird in der europäischen Massentierhaltung verwendet. Über 90 Prozent des Palmöls sind für den europäischen Markt bestimmt: Allein die Firma Unilever verbraucht 1,5 Mio. t Palmöl jährlich. Die Anbauflächen für Ölpalmen stiegen von 600.000 ha im Jahre 1985 auf aktuell über 5 Mio. ha; Anträge auf weitere 20 Mio. ha sind gestellt: Diese Fläche entspricht in etwa der Fläche der noch unberührten Regenwälder Indonesiens. Fast das gesamte Palmöl geht in den Export, wobei Deutschland der fünftgrößte Importeur weltweit ist (nach TU Berlin 2006).

Aufgrund der schwindenden Verfügbarkeit von Flachlandwäldern werden zunehmend sumpfige Torfgebiete in Ölpalmenplantagen konvertiert. Dies führt zur Entwässerung des Torfs und damit zu einer Freisetzung von Kohlenstoff, der dort zum Teil 5.000 bis 10.000 Jahre gebunden war. Die Oxidation des Kohlenstoffs führt zur Emission des Treibhausgases Kohlendioxid und kann signifikant zum globalen Klimawandel beitragen. Hinzu kommt infolge der Torfaustrock-

nung ein verstärktes Risiko von Bränden. Waldbrände wurden bereits in der Vergangenheit großflächig gelegt, um die Entwicklung des Palmölanbaus in Indonesien zu forcieren. Dies ist ein Beispiel dafür, dass Biokraftstoffe je nach Anbaubedingungen überhaupt keine Klimagasemissionen reduzieren, sondern im Gegenteil den Beitrag zum globalen Klimawandel im Vergleich zu fossilen Energieträgern sogar verstärken können.

Die massive Ausweitung der Ölpalm-Plantagenflächen hat auch entwicklungs- politische und menschenrechtliche Folgen. Es kann dazu kommen, dass die lokale Bevölkerung ihrer traditionellen Lebensformen beraubt und ohne Entschädigung von ihrem angestammten Land vertrieben wird.⁷

Andere Faktoren tragen potenziell zur Entspannung der inländischen Flächenkonkurrenz bei. So rechnet man in der EU mit signifikanten Flächenfreisetzungen infolge der GAP-Reform, deren Ausmaß jedoch ungewiss ist. Aktivitäten im Bereich Flächenrecycling sind quantitativ eher zu vernachlässigen. Ein wichtiger Faktor ist dagegen die Steigerung der Flächenproduktivitäten. Quantitative Angaben sind auf der Grundlage von Schätzungen nicht möglich. Als aussichtsreich gelten daher zukünftige Formen von Bioenergie, die mit geringem Flächenbedarf auskommen bzw. „flächenneutral“ sind.

In ihrer Biomasse- und Biokraftstoffstrategie strebt die EU bis 2010 einen Anteil von 5,75% Biokraftstoffen an. Der größere Teil davon soll aus dem Inland gedeckt werden, der Rest über Importe.

⁶ Reuters vom 3.4.2006: http://www.bkpm.go.id/en/share.php?mode=baca&info_id=565

⁷ nach: Kein Palmöl in den Tank! Christian Offer, Berlin, 16.07.2006: <http://www.regenwald.org/news.php?id=474> .

Dabei ist noch nicht berücksichtigt worden, dass die EU-15⁸ für den inländischen Konsum landwirtschaftlicher Güter bereits gegenwärtig zusätzliche landwirtschaftliche Flächen im Ausland nutzt, etwa ein Fünftel mehr als im Inland zur Verfügung steht (Bringezu und Steger 2005). Damit überschreitet die EU mit ca. 0,43 ha pro Kopf bereits heute die weltweit pro Kopf verfügbare intensiv bewirtschaftete Landwirtschaftsfläche von ca. 0,25 ha. In Zukunft wird sich die Situation verschärfen, und in 2030 werden voraussichtlich nur noch 0,19 ha Ackerland und Dauerkulturen pro Kopf der Weltbevölkerung zur Verfügung stehen. Landwirtschaftsfläche für den Anbau von Bioenergie oder Biomaterialien wird nur dann in nennenswertem Maße zur Verfügung stehen und Nachhaltigkeitsziele für die Flächennutzung werden nur erreicht werden, wenn sich die heutigen Produktions- und Verbrauchsmuster deutlich ändern. Einen wichtigen Beitrag hierzu könnte die Umschichtung der Subventionen von der tierisch basierten Produktion hin zur Biomassennutzung für Nicht-Ernährungszwecke leisten. Denn der größte Anteil der globalen Flächennutzung der EU-15 dient mit knapp drei Vierteln der tierisch basierten Ernährung (Fleisch- und Milchprodukte).

3.2. Zukünftiges Potenzial für Biomassennutzung - Szenarien

Mehrer Szenarien wurden bislang entwickelt, um das zukünftige Potenzial für Biomassennutzung in der EU und weltweit unter verschiedenen Gesichtspunkten einzuschätzen.

1. Für die Europäische Union (EU-22 ohne Luxemburg, Malta und Zypern) wurde geschätzt, dass unter bestimmten Annahmen in 2010 etwa 13 Mio.

ha Ackerland für den Bioenergiepflanzenanbau im Inland zur Verfügung stehen könnten. Dafür wurde die Einhaltung bestimmter ökologischer Zielsetzungen und wenig die Umwelt belastenden Produktionsbedingungen vorausgesetzt. Für 2020 wurden ca. 16,2 Mio. ha und 2030 19,3 Mio. ha angenommen (EEA 2006). Dies entspräche etwa 13% in 2010, 16% in 2020 bzw. 19% in 2030 der Ackerlandfläche in der EU-22 in 2003.

Die dabei angenommene Entwicklung beruht hauptsächlich auf Produktivitätszuwachsen, Liberalisierung der Agrarmärkte und der Einführung von hocheffizienten Bioenergiepflanzen. Das Szenario baut zudem stark auf die Einführung der BtL Technologie nach 2010. Dabei werden Effekte der Nutzungskonkurrenz zwischen Bioenergie und Nahrungsmittelproduktion für die Eigenversorgung nicht berücksichtigt. Dagegen wird eine Flächenkonkurrenz zwischen Bioenergie und Nahrungsmitteln für den Export angenommen. So steht das verfügbare Land für Bioenergie hauptsächlich aus freigesetztem Ackerland, Brachland und Flächen für den Export zur Verfügung. Dabei wird von einem gleich bleibenden Grad der Selbstversorgung für Nahrungsmittel ausgegangen. Hier taucht jedoch das Problem auf, dass die EEA Studie Importe landwirtschaftlicher Güter völlig außer Acht lässt (für Nahrung, Futter, Materialien oder Bioenergie). Somit bleibt ein entscheidender Faktor unberücksichtigt. Die EU ist derzeit nicht Selbstversorger für Nahrung und Futter, sondern beansprucht vielmehr netto 18% mehr Land weltweit als im Inland zur Verfügung steht (Bringezu und Steger 2005). Folglich würde ein verringerter Export landwirtschaftlicher Produkte – wie in der Studie vorgeschlagen – das Ungleichgewicht im EU Außenhandel mit Bezug auf landwirtschaftliche Güter und entsprechender globaler Flächennutzung verstärken. Daher

⁸ Status der Anzahl der Mitgliedstaaten der EU

kann die Zielsetzung der Studie, die Produktion von Bioenergie ohne zunehmende Umweltbelastung zu steigern, nur für die Situation innerhalb der EU gelten, nicht aber für die Umweltbelastungen der EU auf die globale Umwelt. Im schlimmsten Fall könnten sogar verstärkte Problemverlagerungen in außereuropäische Länder eintreten.

Für realistische Betrachtungen müssten mögliche Verlagerungen der Flächennutzung und von Umweltbelastungen in andere Regionen der Welt berücksichtigt werden. Dabei werden die möglichen Folgen der GAP-Reform auf die Importe von Futtermitteln in die EU näher zu prüfen sein, die aktuell hauptsächlich für die globale Netto-Flächenbelegung verantwortlich sind.

Zudem sollten die Konkurrenzen verschiedener Nutzungsformen von Biomasse für Nicht-Ernährungszwecke, vor allem für energetische und stoffliche Verwendung wie z.B. für Biokraftstoffe und Biomaterialien, einbezogen werden. Biomaterialien stellen einen wachsenden Markt dar, und einige Umweltbelastungen könnten vermindert werden, wenn die Biomasse für Materialien anstelle von Kraftstoffen verwendet würde.

Zusammengefasst wird es darum gehen, Entwicklungslinien in Betracht zu ziehen, die sowohl Bioenergie als auch Biomaterialien und eine nachhaltige Flächennutzung in einen Gesamtkontext von nachhaltiger Entwicklung stellen.

2. Eine andere Studie schätzt das in Europa (EU-28) verfügbare Biomaspotenzial zur Energiebereitstellung bis 2020 ein (Thrän et al. 2005). Sie kommt zu dem Schluss, dass bei Umsetzung der energie-, umwelt- und naturschutzpolitischen Ziele ab 2020 ein deutlicher Importbedarf von Biomasse nach Europa und vor allem

in die EU-15 Länder entstehen wird. Dabei werden zusätzliche Märkte für Biodiesel und Bioethanol vor allem in Ländern außerhalb Europas gesehen.

3. Unter Berücksichtigung von „ökologischen Leitplanken“ schätzte der WBGU (2003) das Potenzial zum Energiepflanzenanbau weltweit auf etwa 45 EJ/a bei einem Flächenbedarf von 391 Mio. ha. Zum Vergleich: Dies würde etwa 28% der globalen Ackerlandfläche entsprechen. Davon abgeleitet wurden die Potenziale zum Energiepflanzenanbau in allen Entwicklungsländern auf etwa 30 EJ/a geschätzt, entsprechend der Gesamtsumme des Kraftstoffbedarfs von EU-25 und den USA im Jahre 2000 (Fritsche et al. 2004). Grob geschätzt wäre demnach ein Flächenbedarf erforderlich, der vom Umfang her knapp einem Fünftel des weltweiten Ackerlandes entspricht, um den Kraftstoffbedarf von EU-25 und den USA, wie er im Jahre 2000 auftrat, auf nachwachsender Basis mit Energiepflanzen zu decken.
4. Das IMAGE Modell⁹: des RIVM¹⁰ simuliert die Umweltwirkungen menschlicher Aktivitäten auf globaler Ebene. Es basiert auf den Interaktionen zwischen Gesellschaft, Biosphäre und Klimasystem und exploriert die Dynamiken globaler Veränderungen über einen längeren Zeitraum. Hierzu wurde ein Referenzszenario mit konventionellen Annahmen zu künftigen demographischen, ökonomischen, und technologischen Entwicklungen erstellt. Eine Alternative dazu stellt das Szenario „Biofuel Crops“ dar. Darin wird angenommen, dass die meisten Bio-

⁹ Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect: <http://www.ciesin.org/datasets/rivm/image2.0-home.html>

¹⁰ National Institute of Public Health and Environmental Protection in Bilthoven, NL: <http://www.ciesin.org/IC/rivm/about.html>

kraftstoffe von neuen Anbauflächen kommen, während im Referenzszenario davon ausgegangen wird, dass Biokraftstoffe keine zusätzlichen Landwirtschaftsflächen benötigen (Alcamo 1994). Biokraftstoffe würden demnach umfangreiche neue Agrarflächen weltweit benötigen. Im Vergleich zum Referenzszenario wären dies in 2050 z.B. 14% mehr landwirtschaftliche Nutzfläche in Afrika oder 71%(!) mehr für den Bedarf der Europäischen OECD Länder. In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts würde der Flächenbedarf für Biokraftstoffe in Afrika weitaus umfangreicher als bis 2050 ausfallen, einhergehend mit einem steigenden Eigenbedarf. Für Europa wird für die Zeit 2050 bis 2100 dagegen ein abnehmender Verbrauch an Biokraftstoffen angenommen. Bei technologisch bedingten Steigerungen der Hektarproduktivitäten würde dies zu einem absolut abnehmenden Flächenbedarf für Biokraftstoffe führen. Außer in Afrika würden auch in anderen Weltregionen die Flächenerfordernisse für Biokraftstoffe steigen. Insgesamt würde dies weltweit zu einem Rückgang von Waldfläche und anderen Flächennutzungstypen infolge der Ausdehnung landwirtschaftlicher Flächen führen. Die Folge wäre eine verminderte Assimilation von Kohlenstoff in der Biosphäre, und ein Anstieg der globalen atmosphärischen CO₂ Konzentration verbunden mit einem Anstieg der Temperaturen weltweit. Faktoren, die das Ausmaß dieser Entwicklungen vermindern könnten, wären z.B. eine verstärkte Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe und Abfälle, Anbau auf Grenzertragsflächen, andere Quellen, die nicht auf Ackerland basieren, oder Energiepflanzen, welche besser an das lokale Klima und den Boden angepasst sind. Nach eigener Einschätzung

der Autoren könnte das „Biofuel Crops“ Szenario eher eine Obergrenze für den Flächenbedarf für Biokraftstoffe darstellen.

Im Szenario „No Biofuels“ wurde die Sensitivität des Systems bezüglich Biokraftstoffnutzung untersucht. Dafür wurde angenommen, dass überhaupt keine Biokraftstoffe verwendet werden, sondern stattdessen Mineralölprodukte. Hier ergab sich nur eine geringe Auswirkung auf die Veränderung der globalen Oberflächentemperatur im Vergleich zum Referenzszenario. Dies beruht auf einem Nettoeffekt steigender Kohlendioxid-Emissionen, sinkender Methan-Emissionen und troposphärischer Ozon-Konzentrationen. Diese werden durch die spezifischen Eigenschaften von Bioenergieträgern bei verschiedenen energetischen Nutzungsformen hervorgerufen.

Es wäre wünschenswert, die Szenarien „Biofuel Crops“ und „No Biofuels“ auf aktuellen Erkenntnissen basierend gegen ein Referenzszenario neu zu berechnen. Sie geben bisher den einzigen Maximalwert für die globale Flächenbeanspruchung durch verstärkte Nutzung von Biokraftstoffen wieder, der eine wertvolle Referenz für Alternativszenarien darstellt. Im Rahmen des Projekts MATISSE¹¹ werden auf der Basis des IMAGE Modells aktuell neue Szenarien für den weltweiten Einsatz von Biokraftstoffen berechnet. Methodisch sehr schwierig zu bewerten ist dabei der Verlust von Biodiversität durch die Ausdehnung von Ackerfläche in natürliche Ökosysteme (Savannen, Wälder).

5. Eine kürzliche Einschätzung des Worldwatch Institute (2006) besagt, dass Biomasse bis zum Jahre 2050 Energiemengen im Bereich von 0 EJ bis mehr als 1000 EJ liefern könnte. In den optimistischsten Szenarien würde die Bioenergie mehr als das Doppelte des heutigen Weltenergiebedarfs

¹¹ www.matisse-project.net

decken, ohne die Nahrungsmittelproduktion, den Schutz der Wälder und der biologischen Vielfalt zu beeinträchtigen. Nach den pessimistischsten Szenarien aber könnte die Bioenergie bis 2050 nur für einen Bruchteil des derzeitigen Energieverbrauchs aufkommen, vielleicht sogar noch weniger Energie liefern als heute.

Entscheidend bei der Einschätzung der verschiedenen Optionen ist dabei die Bewertung der mit der Ausweitung von Bioenergie und insbesondere Biokraftstoffen verbundenen „Nebenwirkungen“.

3.3. Hauptproblemfelder und Auswirkungen

Bei den sich abzeichnenden Entwicklungspfaden muss weltweit in den kommenden Jahren mit einem deutlichen Anstieg der Flächennutzung für den nationalen und internationalen Biokraftstoffmarkt gerechnet werden. Dies betrifft vor allem tropische Regionen. Wichtige Problemfelder eines ausgeweiteten landwirtschaftlichen Anbaus von Bioenergie sind:

- Preissteigerungen bei Nahrungsmitteln in Folge der steigenden Nachfrage nach den gleichen Anbauerzeugnissen bzw. nach Anbauflächen, weltweit und in regionalen Märkten. Dies verschärft vor allem die wirtschaftliche und soziale Notlage von Menschen mit geringem Einkommen und relativ hohem Ausgabenanteil ihres Einkommens für die Ernährung.
- Risiken für die Sicherung einer hinreichenden Ernährungsgrundlage sind damit eng verknüpft.
- Verdrängung von Kleinbauern, Verarmung, Rückgang der regionalen Nahrungsmittelproduktion in Folge des Energiepflanzenanbaus durch

Großunternehmen und einseitige politische Unterstützung. Mit diesem Problem ist häufig die Zerstörung gewachsener regionaler Gesellschaftsformen und deren Grundlage zur sozialen Absicherung verbunden.

- Gesundheitliche Risiken bei unkontrolliertem Intensivanbau durch Pflanzenschutzmittel.
- Ausweitung der Ackerflächen und Zurückdrängen naturbelassener Flächen, insbesondere von natürlichen Ökosystemen, dabei negative Auswirkungen auf den Klimaschutz und die biologische Vielfalt mit globalem Ausmaß.
- Degradation intensiv bewirtschafteter Flächen, damit weltweit einhergehende Risiken für den Boden- und Klimaschutz.
- Zunehmende Konkurrenz zwischen Bioenergie und Biomaterialien, wobei durch einseitige Subventionierung von Bioenergie die Entwicklung sinnvoller Nutzungsformen und Technologien für die stoffliche bzw. stofflich-energetische Verwendung verpasst werden kann.
- Wachsende Flächenkonkurrenz durch weltweit sich verändernde Konsummuster. Hier ist absehbar, dass die steigende Nachfrage nach tierischen Produkten in Entwicklungsländern zu einem erhöhten Flächenbedarf führt, der zum Druck auf die weltweit verfügbare Landwirtschaftsfläche beitragen wird.

Die Aufgabe der Ernährungssicherung wird angesichts der wachsenden Risiken durch steigende Preise, zunehmende Flächenkonkurrenz, Veränderung der weltweiten Konsumgewohnheiten mit tendenziell höherer Flächenbeanspruchung zunehmend schwieriger zu lösen sein. Beispielsweise könnte mit der Getreidemenge für die Tankfüllung eines Mittelklassewagens mit Bioethanol ein Mensch ein Jahr lang ernährt werden.

4. Perspektiven

Biokraftstoffe können einerseits als eine Zwischenlösung angesehen werden, bevor Zukunftstechnologien wie Wasserstoff- und Elektrofahrzeuge marktreif und eingeführt sind. Das Problem hierbei ist andererseits, dass jetzt auf der Basis der Biokraftstoffe der ersten Generation große Flächenumwandlungen induziert werden, deren Folgen danach nicht einfach wieder rückgängig gemacht werden können. Langfristig wird sich eine kaskadenförmige Nutzung von Biomasse durchsetzen, bei der die stoffliche Nutzung am Anfang und die energetische am Ende der Nutzungskette steht. Aber auch dabei wird darauf zu achten sein, dass die benötigte Anbaufläche sich nicht zu Lasten natürlicher Ökosysteme ausdehnt. Die Flächennutzungskonkurrenz zwischen Bioenergie und Biomaterialien aus Anbaupflanzen sowie Nahrungs- und Futtermitteln wird zunehmen. Perspektivisch sollten verschiedene Formen von Bioenergie differenziert betrachtet werden.

Um Bioenergie zukünftig auf nachhaltiger Basis mit möglichst geringer Flächenintensität und Umweltbelastungen zu erzeugen, können verstärkt Reststoffpotenziale genutzt werden. Hier liegen für Europa zumindest kurzfristig die größten Potenziale in der Nutzung für Wärme und Strom. Diese wären zudem „flächenneutral“, da Erntenebenprodukte wie Stroh und organische Abfälle keine zusätzliche landwirtschaftliche Fläche beanspruchen.

Für den mobilen Bereich wird der Nutzung von Biogas aus Reststoffen, Abfällen und ganzen Energiepflanzen als Kraftstoff zukünftiges Potenzial zugeschrieben, insbesondere unter Klimaschutzperspektiven (Ramesohl et al. 2006). Dies wäre

geknüpft an einen flächendeckenden Ausbau der Erdgastankstellen und Förderung des Absatzes entsprechender Fahrzeuge. Für Deutschland zeichnet sich diese Entwicklung ab, so dass davon ausgegangen werden kann, dass Biogas zukünftig einen signifikanteren Beitrag zum Kraftstoffverbrauch leisten kann und wird.

Auf längere Sicht wird Energiepflanzen und Biokraftstoffen der zweiten Generation großes Potenzial beigemessen. Für den Kraftstoffbereich interessant ist die Produktion von Bioethanol auf enzymatischem Wege aus Lignozellulose, Biogas sowie BtL jeweils aus Energiepflanzen, Reststoffen oder Abfällen.

Dabei ist auch zu bewerten, welche Variante eher in großtechnischer Produktion oder eher in kleineren Anbaustrukturen und regionaler Nutzung realisierbar ist. Für BtL könnte letzteres eher nicht zutreffen. Dabei spielt aus ökologischer Sicht auch das Problem nicht geschlossener Stoffkreisläufe eine Rolle. Dieses scheint beim gegenwärtigen Kenntnisstand eher bei dezentralen Systemen zur Erzeugung von Biogas aus Ganzpflanzen lösbar zu sein (Scheffer 2006). Aufgrund höherer Hektarproduktivitäten und zwei Ernten pro Jahr bei geringer Umweltbelastung könnte durch die Nutzung der ganzen Pflanze in integrierten Systemen der Flächenbedarf für Bioenergie deutlich reduziert werden.

Für Deutschland wird angenommen, dass bei einem theoretischen Flächenpotenzial von 3,4 Mio. ha in 2020 für Energiepflanzen vor allem aufgrund der Markteinführung von BtL-Kraftstoffen ein Substitutionspotenzial von 21% des Kraftstoffverbrauchs erreicht werden könnte. Zum Vergleich lagen die Zahlen 2005 bei

1,2 Mio. ha bzw. ca. 9,5% der Ackerlandfläche oder ca. 6.6% der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (Schütte 2006). Dies würde eine Steigerung des Energieertrages auf der Fläche um mehr als das 12fache gegenüber 2005 voraussetzen (BtL kann mit ca. 4000 l pro ha einen sehr hohen spezifischen Flächenertrag erzielen - vgl. Tab. 3). Das Substitutionsziel der EU mit 5,75% in 2010 wäre zu diesem Zeitpunkt mit 12,9% bereits deutlich überschritten (in 2005 lag die Substitutionsquote real schon bei 3,4%). Allerdings findet die BtL-Technologie derzeit nur in Versuchsanlagen Anwendung, ein großtechnischer Einsatz ist noch nicht absehbar.

Dagegen sind die Anbau- und Nutzungssysteme zur effizienten Erzeugung von Biogas in dezentralen Anlagen bereits entwickelt und außerdem wirtschaftlich. Auch hier werden hohe spezifische Flächenerträge erzielt (vgl. Tab. 3), selbst unter Einhaltung anspruchsvoller ökologischer Kriterien (z.B. Scheffer 2006). Somit kann Biogas grundsätzlich ein relativ kurzfristig abrufbares erhebliches Potenzial für die Versorgung mit Biokraftstoffen der zweiten Generation attestiert werden.

Als weiterer zukunftssträchtiger Biokraftstoff gilt Bio-Wasserstoff, der sich jedoch im Forschungsstadium befindet.

Vor allem in Indien, aber auch in vielen Staaten Afrikas, wird der Biodiesel-Erzeugung aus *Jatropha* große Beachtung zuteil. Die Vorteile dieser Pflanze sind: geringe Boden- und Klimaansprüche (bzw. es kann sogar eine Bodenverbesserung auf degradierten Flächen erreicht werden), keine direkte Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion und Förderung der sozio-ökonomischen Entwicklung in ländlichen Regionen. In Indien wird das Potenzial für den Anbau von *Jatropha* bei 40 Mio. ha gesehen, vor allem auf degradierten landwirtschaftlichen Flächen, die so wieder in eine Nutzung gebracht werden könnten (The Energy and Resources Institute India Habitat Centre 2006). Aktuell laufen zwei Pilotprojekte mit Förderung u.a. durch Daimler-Chrysler. Für eine Nutzung im größeren Maßstab müsste eine entsprechende Infrastruktur aufgebaut werden. Das Worldwatch Institute (2006) sieht Probleme bei der Verfügbarkeit der Flächen wegen ungeklärter Landrechte, zudem müsste die Wirtschaftlichkeit von Plantagen auf degradierten Böden noch unter Beweis gestellt werden.

Sämtliche Alternativen werden fossile Kraftstoffe jedoch nur zum Teil und bestenfalls auf längere Sicht ersetzen können. In den kommenden Jahren wird der Absatz von Biodiesel und Bioethanol steigen, die damit verbundenen Probleme ebenso.

5. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

- Die verstärkte Nutzung von Biomasse für Nicht-Ernährungszwecke stößt an Grenzen, welche durch die Verfügbarkeit weltweiter Landfläche gesetzt werden.
- Die Entwicklung der Hektarproduktivitäten erscheint unsicher, auch infolge des Klimawandels. Dabei sind gegenläufige Entwicklungen zu bedenken, die einerseits aufgrund ungünstiger Klimaänderungen zu Verminderungen, aufgrund neuer Anbausysteme andererseits aber auch zu Steigerungen der Erträge führen können. Weiterhin sind begrenzende Faktoren für das Wachstum von Pflanzen zu bedenken. Der Einsatz von Genpflanzen ist auf Grund der bislang vorliegenden Erkenntnisse und Risikoabschätzungen abzulehnen. Für eine fundierte Beurteilung zukünftiger Ertragsentwicklungen wird weiterer Forschungsbedarf gesehen.
- Pflanzen für Bioenergie und -materialien können nur einen beschränkten Beitrag zum Energie- und Materialbedarf von Ländern und Regionen leisten. Dies wird schon allein aufgrund des gegenwärtigen Umfangs der Nutzung nicht nachwachsender Rohstoffe in Industrieländern wie Deutschland deutlich.
- Die wachsende Nachfrage nach Biokraftstoffen der ersten Generation, Bioethanol und Biodiesel, ist mit einem großen Risiko der Ausweitung weltweiter Ackerflächen und der Vernichtung natürlicher Ökosysteme insbesondere in tropischen Ländern verbunden.
- Wenn die EU-Ziele für zukünftige Biokraftstoffnutzung realisiert werden, so sollten sowohl hinsichtlich der inländischen Produktion als auch der Importe internationale Nachhaltigkeitsstandards eingeführt werden. Diese sollten zum einen sicherstellen, dass die jeweiligen Produktionsflächen nachhaltig bewirtschaftet und die Verarbeitung ökologisch und sozial verträglich geschieht, und zum anderen die Ausweitung der Anbaufläche zu Lasten artenreicher natürlicher Ökosysteme verhindern. Dafür werden zum einen produktbezogene Zertifizierungs- und Kennzeichnungssysteme und zum anderen regionale Zielvorgaben und ihre strikte Umsetzung erforderlich sein.
- Als Bedingung für den Export bzw. den Import nach Europa könnte z.B. ein Kriterium verankert werden, wonach Biokraftstoffe, Bioenergie und Biomaterialien nur dann aus einer Region exportiert werden dürfen, wenn die gesamte landwirtschaftliche Fläche sich, ausgehend von einem Referenzjahr, nicht zu Lasten naturbelassener Flächen (Regenwald, Savanne, Buschland, Feuchtgebiete) ausgedehnt hat. So läge in der Produktzertifizierung die Chance, transregionale Problemverlagerungen einzudämmen.
- Einzelne Länder und Regionen sollten ihre eigenen Potenziale für nachhaltige Bewirtschaftung und Verarbeitung von Biomasse für Nahrungsmittel und Nicht-Nahrungsmittel entwickeln und damit in erster Linie den eigenen Bedarf decken. Exporte sollten nur bei

einem Überschuss von energetischen und stofflichen Ressourcen unterstützt werden (unter Berücksichtigung aller relevanten Substitute). Der Anbau muss dabei ökologischen und sozialen Kriterien genügen.

- Die Länder und Regionen sollten jeweils eine Biomassestrategie entwickeln, die eingebettet ist in eine nachhaltige Ressourcenstrategie. Diese sollte die Versorgung mit Rohstoffen und Energie sichern, den Verlust von natürlichen Ökosystemen begrenzen,

die soziale Entwicklung fördern und eine Problemverlagerung in andere Regionen durch Im- und Exporte minimieren.

- Eine nachhaltige Ressourcenstrategie muss insbesondere auf den effizienten Einsatz nachwachsender und nicht nachwachsender Ressourcen in Produktion und Konsum abzielen. Nur dann kann der steigende Material- und Energiebedarf der globalen Ökonomie gedeckt werden.

6. Quellen

Alcamo, Joseph (ed.). 1994. IMAGE 2.0: Integrated Modeling of Global Climate Change. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Bringezu, S.; Steger, S. (2005): Biofuels and Competition for Global Land Use. in: Berger, Hartwig; Prieß, Rasmus (Hrsg.) "Bio im Tank. Chancen - Risiken - Nebenwirkungen". Conference documentation of conference series "Kyoto+ Lab" of the Heinrich-Böll-Foundation and the European Climate Forum. Global Issue Papers No. 20: pp. 64 – 79. http://www.boell.de/downloads/GIP_20_bioimtank.pdf

Cameron, A. (2006): Green or grey? – Sustainability issues of biofuel production. Earthscan, James & James, UK.

Econsense – Forum Nachhaltige Entwicklung der Deutschen Wirtschaft e.V.: econsense-Memorandum zu Biokraftstoffen. Berlin. www.econsense.de

European Commission (2006): Annex to the Communication from the Commission: An EU Strategy for Biofuels - Impact Assessment {COM(2006) 34 final}, SEC(2006) 142. Brussels.

European Environment Agency (EEA) (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report No.7/2006. Copenhagen.

Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hrsg.) (2006a): Biokraftstoffe – eine vergleichende Analyse. Gülzow.

Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hrsg.) (2006b): Nachhaltende Rohstoffe in der Industrie. Gülzow.

Forum Umwelt & Entwicklung (2005): Weltmarkt für Bioenergie zwischen Klimaschutz und Entwicklungspolitik. Bonn.

Fritsche, U., Hünecke, K., Wiegmann, K. (2004): Kriterien zur Bewertung des Pflanzenanbaus zur Gewinnung von Biokraftstoffen in Entwicklungsländern unter ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Kurzgutachten im Auftrag des BMZ, Öko-Institut, Darmstadt.

Fulton, L. et al. Biofuels For Transport: An International Perspective (Paris: International Energy Agency, April 2004).

Janssen, R. et al. (2005): Liquid biofuels for transportation in Tanzania. Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century.

Kaltner, F. et al. (2005): Liquid biofuels for transportation in Brasil. Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century.

Ramesohl, S., et al. (2006): Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Endbericht im Auftrag von BGW und DVGW. Wuppertal.

REN21 Renewable Energy Policy Network (2005): „Renewables 2005 Global Status Report.“ Washington, DC. Worldwatch Institute.

Sawitwatch, Forest Peoples Programme, HuMA, ICRAF (2005): Local Communities, Land Acquisition and Oil Palm in Indonesia. Presentation to the 3rd Roundtable of the RSPO, 2005.

Scheffer, K. (2006): Beispiele für die ökologische Erzeugung nachwachsender Rohstoffe – Neue Konzepte beim Anbau von Biomasse. Präsentation beim Workshop „Nachwachsende Rohstoffe und Bodenqualität“, Berlin.

Schütte, A. (2006): Potentiale und Anforderungen an den Energiepflanzenanbau. Präsentation beim Workshop „Nachwachsende Rohstoffe und Bodenqualität“, Berlin.

The Energy and Resources Institute India Habitat Centre (2006): Liquid Biofuels for Transportation: India country study on potential and implications for sustainable agriculture and energy.

Thrän, D., et al. (2005): Nachhaltige Biomassennutzungsstrategien im europäischen Kontext. Bericht an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Leipzig.

TU Berlin (2006): Böden und Landwirtschaft, z.B. Agroforestry. <http://www.tu-berlin.de/~kehl/project/lv-tw/22-trop-wet4-tw.htm>

UNEP (2006): One Planet Many People - Atlas of Our Changing Environment. Forests. <http://www.na.unep.net/OnePlanetManyPeople/powerpoints.html>

WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (2003): Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit. Berlin.

Worldwatch Institute (2006): Biofuels for transportation – Global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century. Report. Washington, DC.

WWF (2006): ARPA: Schutz für den Amazonas-Regenwald. Hintergrundinformation. Frankfurt.

Zhao, L. et al. (2006): Liquid Biofuels for Transportation. Chinese Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century. Assessment Study.

Zimmer, Y. (2006): Energiepflanzenanbau: Konkurrenzverhältnisse, Handel, Standorte. Präsentation beim Workshop „Nachwachsende Rohstoffe und Bodenqualität“, Berlin.