

Innovative Landnutzungssysteme zur Bereitstellung von Bioenergie und Biomaterialien

Einführung

Nachwachsende Rohstoffe, die eine Energie- und Rohstoffversorgung aus rezenten biogenen Substanzen ermöglichen, erleben in jüngster Zeit einen starken Bedeutungszuwachs. Von vielen Seiten wird gehofft, dass mit ihrer Hilfe der Einstieg in ein „post-fossiles Zeitalter“ der Energie- und Rohstoffversorgung gelingt und so die Probleme der Nutzung fossiler Ressourcen – auf der einen Seite deren Endlichkeit, auf der anderen Seite der mit ihnen verbundene CO₂-Ausstoß – gelöst werden können (Shinnar & Citro 2006).

Der Begriff „Nachwachsende Rohstoffe (Nawaros)“ ist irreführend – schließlich sind alle Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft „nachwachsend“. Er hat sich jedoch durchgesetzt für diejenigen Agrar- und Forstprodukte, die nicht als Nahrungs- und Futtermittel verwendet werden, also für Rohstoffe zur Produktion von Biomaterialien („stoffliche Verwertung“) und zur Bereitstellung von Bioenergie („energetische Verwertung“). Häufig nennt man diese Rohstoffe auch – gleichfalls wenig konsistent – „Biomasse“. Der größte Teil der angebauten Biomasse wird derzeit zur Bereitstellung von Strom und Wärme und zur Verarbeitung zu Treibstoffen genutzt. Daneben dient sie aber auch als Grundstoff für Produkte wie Farbstoffe, Fasern, Heil- und Aromastoffe, Öle und Fette, Stärke, Zuckerstoffe und Proteine. Auch so gut wie alle Erzeugnisse der Forstwirtschaft fallen unter die Definition von „nachwachsenden Rohstoffen“. Ein Beispiel hierfür ist die Verwendung von Lignin, das biochemisch in Cellulose gewandelt und zur Herstellung von Zuckern genutzt wird. Diese wiederum können zu einer Vielzahl von Substanzen wie Milchsäure, Ethanol, Itakonsäure oder Bernsteinsäure weiterverarbeitet werden.

Da der Schwerpunkt dieses Beitrags auf Aspekten der Landnutzung liegt, ist eine Unterscheidung der nachwachsenden Rohstoffe nach dem Flächentyp, dem sie entstammen, von Interesse (Tab. 1). Hierbei sind Ackerflächen, Wälder, Grünland, Landschaftspflegeflächen sowie Energiewälder, die einen Übergangszustand zwischen Acker und Wald darstellen, bedeutend. Nachwachsende Rohstoffe werden entweder

Flächentyp	Biomasse-Option	Beispiele
Acker	Einjährige Energiepflanzen	Getreideganzpflanzen Raps
	Mehrjährige Energiepflanzen Reststoffe	Miscanthus Reststroh
Energiewald	Mehrjährige Energiepflanzen	Weide (Kurzumtrieb) Pappel (Kurzumtrieb)
Wald	Stammholz	Mittel- und Niederwaldnutzung
	Reststoffe	Durchforstungsholz Restholz aus der Holzernte
Grünland	Grünschnitt	Diverse Süßgras- und Seggenarten
Landschafts- pflegeflächen	Landschaftspflegegut	Schnittgut aus Hecken und Gebü- schen Einheimische Gräser

Tabelle 1
Flächentypen und Optionen der Biomassebereitstellung (verändert nach DLR et al. 2004)

gezielt angebaut oder als Reststoffe aus Anbauverfahren, die andere Hauptprodukte zum Ziel haben, genutzt. Die sogenannte Anbaubiomasse besteht aus halmgutartigen Pflanzen (z. B. Getreideganzpflanzen), holzartigen Pflanzen (z. B. Weiden oder Pappeln in Kurzumtriebplantagen) sowie Öl- und Stärkepflanzen (z. B. Raps). Reststoffe sind z. B. Durchforstungsholz aus der Forstwirtschaft oder Stroh aus der Landwirtschaft.

Die Vielfalt der energetischen Wandlungs- und Nutzungspfade von Biomasse ist groß, da vielfältige Biomassearten auf unterschiedlichen Konversionswegen zu verschiedenen Energieformen gewandelt werden. Die dabei eingesetzten Technologien wie auch die verwendeten Biomassearten entwickeln sich laufend fort. Zurzeit werden ganz überwiegend vier Nutzungswege verfolgt (Hebecker et al. 2006):

1. Die Vergärung von Biomasse zu Biogas, aus dem Strom und Wärme gewonnen wird.
2. Die Verbrennung oder Vergasung von Biomasse-Festbrennstoffen und deren Nutzung als Strom oder Wärme in kleinen und großen Anlagen.
3. Die Vergärung von zucker- oder stärkehaltigen Substanzen zu Bioethanol, der überwiegend als Beimischung zu Benzin in Ottomotoren Verwendung findet.
4. Die Veresterung von Pflanzenölen, v. a. Rapsöl, zu Biodiesel, der in Reinform oder als Beimischung zum Antrieb von Dieselmotoren dient. Mit einem Anteil von ca. 70 % an der Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe ist Raps die derzeit dominierende Nawaro-Kultur.

Die Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe weist von den 1990er Jahren bis heute ein starkes Wachstum auf. Mit einem Rekordniveau von ca. 1.561.000 ha nahmen Nawaros 2006 13,2 % der gesamten agrarischen Anbaufläche ein (Tab. 2) – dies ist

Rohstoffe	Basisfläche ¹ ohne Energie- pflanzenprämie	Basisfläche mit Energie- pflanzenprämie ²	Stilllegungs- fläche ³	Gesamt
Ölpflanzen				
Raps	610.000 ha	172.000 ha	318.000 ha	1.100.000 ha
Öllein	3.000 ha			3.000 ha
Sonnenblumen	4.000 ha		1.000 ha	5.000 ha
Energiepflanzen	30.000 ha	188.000 ha	77.000 ha	295.000 ha
Stärke	128.000 ha			128.000 ha
Zucker	18.000 ha			18.000 ha
Naturfasern	2.000 ha			2.000 ha
Arznei- und Ge- würzpflanzen	10.000 ha			10.000 ha
Summe	805.000 ha	360.000 ha	396.000 ha	1.561.000 ha

¹ Basisflächen sind reguläre Ackerflächen.

² Die Energiepflanzenprämie wird für den Anbau von Energiepflanzen auf nicht stillgelegten Äckern gewährt.

³ Stilllegungsflächen dürfen aus förderrechtlichen Gründen nicht für den Anbau von Nahrungs- oder Futtermitteln, jedoch für den Anbau von Energiepflanzen genutzt werden.

Tabelle 2

Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe im Jahr 2006 in Deutschland (Quelle: FNR 2007, Daten beruhen teilweise auf Schätzung)

eine Größenordnung, die Landwirtschaft und Agrarlandschaft bereits heute bedeutend beeinflusst. Der Großteil der Nawaros wurde auf regulären Ackerflächen (sog. „Basisflächen“) angebaut. Bedeutsam ist zudem der Anbau auf sogenannten „Stilllegungsflächen“, die aus förderrechtlichen Gründen nicht für den Anbau von Nahrungs- oder Futtermitteln genutzt werden dürfen. Die Verwendung von landwirtschaftlichen Reststoffen und die Forstwirtschaft, die seit jeher fast ausschließlich nachwachsende Rohstoffe zur stofflichen und energetischen Verwendung produziert, sind in dieser Aufstellung nicht enthalten.

Mit einem Anteil von 4,6 % an allen in Deutschland eingesetzten Energieträgern (2005) nehmen sich die erneuerbaren Energien bescheiden, doch nicht bedeutungslos aus. An der Stromerzeugung hielten sie im selben Jahr immerhin einen Anteil von 9,4 % (BMU 2006). Unter den erneuerbaren Energieträgern ist die Bioenergie (Biokraftstoffe, biogene Brennstoffe zur Strom- und Wärmebereitstellung) mit 68 % von überragender Bedeutung (Abb. 1).

Die Gründe für die rasche Ausbreitung des Biomasseanbaus in der Landwirtschaft sind vielfältig (Plieninger et al. 2006). Zum einen erfordert die seit langem anhaltende ökonomische Krise der Landwirtschaft eine Umorientierung auf neue Produktionszweige. Diese wird unterstützt durch für Landwirte attraktive Förderinstrumente der Agrar- und Umweltpolitik, etwa die Fördertarife des Erneuerbare-Energien-Gesetzes oder die Energiepflanzenprämie der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU.

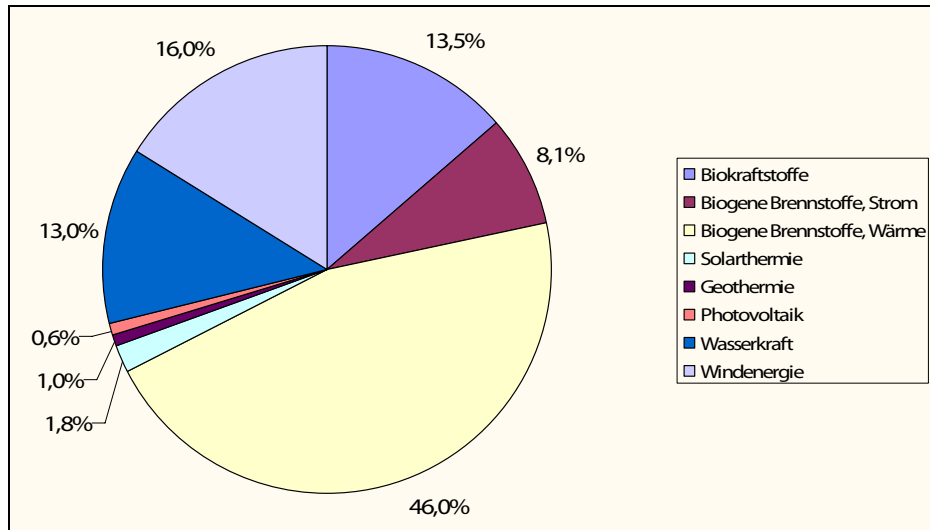


Abbildung 1
Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energieträgern, Deutschland, 2005 (Quelle: BMU 2006)

Auch entspricht der Anbau nachwachsender Rohstoffe den kulturellen Mustern der Landwirte, die materielle Güter produzieren wollen, und ist vorwiegend mit der vorhandenen agrartechnischen Ausstattung realisierbar. Schließlich kommen psychologische Aspekte hinzu, wird doch den nicht gerade an Erfolgsmeldungen gewohnten Landwirten vielfach ein Dasein als „Ölscheich von morgen“ in Aussicht gestellt.

Potentiale und Probleme der Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Im allgemeinen werden vier Argumentationslinien verfolgt, die für die verstärkte Nutzung von Bioenergie sprechen (Faninger 2003; Sims 2003):

1. Bioenergeträger sind eine erneuerbare Energiequelle und können als solche in gewissem Maße endliche fossile Energieträger ersetzen (v. a. Erdölsubstitution).
2. Bei der Bereitstellung von Bioenergeträgern fallen im Vergleich zu fossilen Energieträgern erheblich geringere Emissionen von klimarelevanten Treibhausgasen an (Klimaschutz).
3. Bioenergeträger können im eigenen Land produziert oder aus einer Vielzahl von Ländern und Weltregionen bezogen werden und verringern so die einseitige Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen aus dem Nahen Osten und aus Russland (Versorgungssicherheit).

4. Die Nutzung von Bioenergie ist eine Zukunftsbranche, die weltweit im Wachstum befindlich ist. Die Entwicklung entsprechender Technologien sichert der deutschen Wirtschaft sog. „first mover-advantages“ und kann ihr Exportoptionen eröffnen (Technologieentwicklung).

Daneben werden häufig die Impulse hervorgehoben, die die Nutzung von Biomasse zur Entwicklung ländlicher Räume geben kann (Eisenbeiß et al. 2006): Die Wertschöpfung in ländlichen Räumen wird erhöht, indem Investitionen getätigt und Arbeitsplätze geschaffen oder zumindest stabilisiert werden. Falls die Biomasse für eine dezentrale Energieversorgung genutzt wird, werden die damit verbundenen regionalen Wirtschaftskreisläufe gefördert. Die konventionelle Landwirtschaft ändert sich hin zu einer Energielandwirtschaft, wodurch die landwirtschaftliche Produktion diversifiziert wird. Dadurch können marginale land- und forstwirtschaftliche Flächen sinnvoll genutzt werden, so etwa die Rekultivierungsstandorte nach der Gewinnung von Rohstoffen (Sand, Kies, Braunkohle, etc.). Schließlich kann die Biomasseproduktion unter günstigen Voraussetzungen zum Erhalt von Kulturlandschaft und Infrastruktur beitragen. Günstig ist auch, dass sie derzeit eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz aufweist, nicht nur unter Landwirten. Dennoch ist eine umfassende Bilanz aller Vor- und Nachteile für ländliche Räume einzufordern, die bislang nicht vorliegt. So weisen Isermeyer & Zimmer (2006) darauf hin, dass Arbeitsplätze auf wesentlich effizientere Weise im Bereich der Entwicklung von Technologien (durch die Deutschland von dem zu erwartenden weltweiten Bioenergie-Boom profitieren könnte) als durch die direkte Förderung der heimischen Biomasseproduktion geschaffen werden können.

Die messbaren Wirkungen der Bioenergienutzung werden vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit in einer halbjährlich veröffentlichten Statistik erfasst. Demzufolge wurden im Jahr 2005 durch die Nutzung aller erneuerbaren Energieträger rund 84 Mio. t CO₂ vermieden – 10,7 % der deutschen CO₂-Emissionen desselben Zeitraums. Bei Errichtung und Betrieb von Anlagen im Bioenergiebereich wurde ein Umsatz von 6,25 Mrd. € erzielt. Der Bruttobeschäftigungseffekt des Sektors wird für das Jahr 2004 auf 57.000 Arbeitsplätze geschätzt (BMU 2006). Diese Vorzüge unterscheiden sich jedoch stark nach dem gewählten Nutzungspfad und sind insgesamt nicht unumstritten (vgl. Farrell et al. 2006; Hill et al. 2006). So weist etwa der Anbau von Raps zur Herstellung von Biodiesel eine geringe Energieeffizienz auf. Zudem werden aufgrund der notwendigen Gaben von Stickstoffdünger teils erhebliche Emissionen von Treibhausgasen wie Lachgas (N₂O) freigesetzt. Auch sind die Kosten der durch Biodieselproduktion vermiedenen Treibhausgas-Emissionen außerordentlich hoch (Henke et al. 2005). Unumstritten ist jedoch, dass die Bioenergie, sofern sie intelligent genutzt wird, gegenüber allen anderen erneuerbaren Energieformen deutliche Vorteile aufweist. So ist Bioenergie spei-

cherfähig und kann kontinuierlich bereitgestellt werden. Auch weist sie unter den erneuerbaren Energieträgern die größten, bislang noch nicht erschlossenen Potentiale auf (DLR et al. 2004).

Dennoch zeichnet sich das Aufkommen von Nutzungskonkurrenzen als zentraler Konflikt der Bioenergienutzung im ländlichen Raum ab (Isermeyer & Zimmer 2006). Konkurrenzen können einerseits mit anderen Landnutzungen entstehen – insbesondere wenn gleichzeitig mit dem Ausbau der Biomassenutzung der Flächenbedarf der Nahrungsmittelproduktion zunimmt, etwa durch Ausweitung des Ökolandbaus. Biomasse-Heizwerke und -Heizkraftwerke stehen in Konkurrenz um heimisches Schwachholz mit der gerade im Land Brandenburg starken holzverarbeitenden Industrie. „Holz – vom Ladenhüter zur Mangelware“ beschreibt die Fachpresse diese Situation (Soppa 2006). Schließlich kann die gleichzeitige Ausweisung von Naturschutzflächen, etwa im Rahmen der Einrichtung des im Bundesnaturschutzgesetz vorgeschriebenen länderübergreifenden Biotopverbunds zu Konkurrenzsituationen um knappe Flächen führen. Andererseits deuten sich aber auch Konkurrenzen zwischen verschiedenen Biomasse-Nutzungspfaden an, z. B. zwischen zentralen und dezentralen Anlagen. Ähnliche Konkurrenzen können zwischen der Treibstoff- und der Strom-/Wärmenutzung auftreten.

Ein Fallbeispiel verdeutlicht die Nachhaltigkeits- und Verfügbarkeitsprobleme von Biomasse: Im brandenburgischen Schwedt ist seit 2006 eine Bioethanolanlage in Betrieb, die einen Jahresbedarf von 600.000 t Roggen aufweist. Die Roggenerträge im Land Brandenburg sind stark schwankend, lagen im Jahr 2003 aber laut Brandenburger Agrarbericht bei nur 504.199 t. Dies bedeutet, dass die Roggenanbaufläche eines ganzen Bundeslandes für den Rohstoffbedarf nur einer einzigen Anlage benötigt werden kann. So könnte das Roggenanbau-Einzugsgebiet der Anlage von Rügen bis weit nach Südbrandenburg reichen (Brozio et al. 2006)). Berücksichtigt man den Transportaufwand, erscheint diese Art der Bioenergienutzung unter energetischen Gesichtspunkten fragwürdig. Da viele der derzeit errichteten Biokraftstoffanlagen verkehrstechnisch gut angebunden sind, etwa an Hafenanlagen, ist bei einer Verschärfung der Konkurrenzsituation um heimisch produzierte Biomasse künftig mit verstärkten Rohstoffimporten zu rechnen, was Transportdistanzen und -aufwand weiter vergrößert. Wenn man eine extreme Ausweitung des Biomasseanbaus auf 5,9 Mio. ha (50 % der deutschen Ackerfläche) annimmt, ließen sich damit bei gegenwärtig realisierbaren Energieerträgen (2.230 W ha^{-1}) knapp 5 % (ca. 13.000 MW) des jährlichen Endenergiebedarfs in Deutschland decken. Mit optimierten Verfahren käme man maximal auf 13 % des Endenergiebedarfs (Isermeyer & Zimmer 2006). Potentiale für Bioenergie aus nachwachsenden Rohstoffen sind zweifelsohne vorhanden, dürfen aber keinesfalls überschätzt werden.

Die derzeitigen Formen des Energiepflanzenanbaus orientieren sich weitgehend an den Anbauverfahren der intensiven Nahrungs- und Futtermittelproduktion, etwa dem Anbau von Raps in Reinkultur, der sehr düngemittelintensiv ist. Daraus ergeben sich Ineffizienzen und vielfältige ökologische Probleme, auch wenn diese schwer prognostizierbar sind (vgl. Deutscher Rat für Landespflege 2006). Zu diesen negativen Auswirkungen gehören unter anderem Bodenverdichtung, Bodenerosion, Humuszehrung, Eutrophierung von Böden, Auswaschung von Nährstoffen sowie der Verlust von vielfältigen Lebensräumen und von Artenvielfalt. Nachteilig sind insbesondere verengte Fruchtfolgen und eine durch starke Ausweitung des Mais- und Rapsanbaus verringerte Kulturartenvielfalt (Rode et al. 2005). Daher bedarf es neuer, spezifisch für den Anbau von Energiepflanzen geschaffener Anbausysteme, die die Erkenntnisse der Ökosystemforschung berücksichtigen sollten. Eine Anforderung an solche neuen Anbausysteme ist, dass sie gleichzeitig eine möglichst hohe Flächenproduktivität, aber auch eine räumlich differenzierte Nutzungsweise, eine hohe Artenvielfalt und eine positive Wirkung auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden aufweisen sollen. Dies kann über abwechslungsreichere Fruchtfolgen, verringerten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Mineraldünger, die Verwendung eines breiteren Spektrums von Arten und Sorten, die Anlage von Mischkulturen und die Integration von die Landschaftsstruktur bereichernden Elementen erfolgen (Bundesamt für Naturschutz 2006). Grundsätzlich ist die Option „Minimierung des Stoffeinsatzes“ („*low input–low output*-Systeme“) der Option „Maximierung der Erträge“ vorzuziehen. Nötig hierfür sind speziell auf die Biomasseproduktion ausgerichtete Standards für eine gute fachliche Praxis. Diese könnte etwa die Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes, eine mindestens dreigliedrige Fruchtfolge, einen weitgehenden Verzicht auf Humuszehrer sowie die Definition von Mindestanteilen an Landschaftsstrukturelementen umfassen.

***Alley Cropping* als neuartiges Anbausystem**

Die genannten Überlegungen sollen am Beispiel eines neuartigen Agroforstwirtschaftssystems (Grünwald et al. 2007a) verdeutlicht werden. Agroforstwirtschaft ist ein Sammelbegriff für alle Landnutzungsweisen, in denen mehrjährige Gehölzpflanzen zusammen mit landwirtschaftlichen Ernten oder Vieh auf derselben Fläche genutzt werden (Young 1998). In Europa haben Kombinationen von Forstwirtschaft, Viehwirtschaft und ackerbaulicher Nutzung eine lange Tradition (Gordon et al. 1997). Jedoch sind diese bis heute stark zurückgegangen, da man lange Zeit eine strikte räumliche und betriebliche Trennung von Land- und Forstwirtschaft verfolgte und beide Nutzungen auf derselben Fläche für unvereinbar hielt. Aufgrund ihrer vielfältigen positiven Umweltwirkungen und ihrer hohen Produktivität stoßen sie aber in jüngster Zeit auf große Aufmerksamkeit.

In einem mehrjährigen, von der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus durchgeführten Feldversuch wurde Mitte der 1990er Jahre im Tagebau Jänschwalde auf einer Fläche von 7 ha ein Agroforstwirtschaftssystem eingerichtet, das speziell an die Verhältnisse der Bergbaufolgelandschaften Südbrandenburgs angepasst ist (Bens & Hüttl 2001; Bens et al. 2006; Bungart et al. 2000; Grünwald et al. 2007a; Schneider et al. 2004). Dieses sog. *Alley Cropping*-System setzt sich zusammen aus mehreren Streifen von Feldgehölzen und breiten, ackerbaulich genutzten „Alleen“ (Abb. 2). Die Gehölze bestehen aus ein oder zwei Baumreihen mit einer Breite von ca. 2 bis 6 m. Die Ackerschläge sind mit 18 m relativ breit, um die Feldbearbeitung möglichst effektiv mit praxisüblicher Landtechnik zu gestalten. Auf den Feldstreifen werden einmal oder mehrmals jährlich landwirtschaftliche Produkte entsprechend den jeweiligen Erfordernissen des Marktes angebaut (z. B. Roggen, Lupine, Hanf und Luzerne). Die Baumstreifen dienen hingegen zur Produktion von Holz für die energetische Verwertung mit Erntezyklen zwischen drei und neun Jahren. Gepflanzt wurden verschiedene Sorten Pappeln, Weiden und Robinien (Tab. 3). Ziel dieses und weiterer begleitender Forschungsvorhaben war, das Anbausystem gleichermaßen an die vorherrschenden abiotischen und biotischen Standortfaktoren wie an die technologischen Ansprüche der energetischen Wandlung anzupassen. Hierzu wurden Parameter wie Wuchsverhalten, Ertragsbildung und Einfluss von Pflege- und Intensivierungsmaßnahmen untersucht. Auch Aspekte der Ernte und Aufbereitung der Brennstoffe flossen in die Studie mit ein.



Abbildung 2
Alley Cropping-Versuchsfläche im südbrandenburgischen Tagebau Jänschwalde (Foto: Vattenfall Europe)

Baumart bzw. Klon	Botanische Bezeichnung
Balsampappel-Hybride Androscoggin	<i>Populus maximowicii</i> Henry × <i>Populus trichocarpa</i> Torr. et Gray
Balsampappel-Hybride 275	<i>Populus maximowicii</i> Henry × <i>Populus trichocarpa</i> Torr. et Gray
Korbweide Carmen	<i>Salix viminalis</i> L.
Robinie	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.

Tabelle 3
Pflanzmaterial der Gehölzstreifen

Klon / Umtriebszeit	1998	2001	2004
Androscoggin (3; 6; 9)	0,2	2,0	4,9
Androscoggin (6; 9)		1,2	3,0
Androscoggin (9)			4,5
Hybride 275 (3; 6; 9)	0,2	1,7	4,1
Hybride 275 (6; 9)		1,5	5,7
Hybride 275 (9)			3,7
Robinie (3; 6; 9)	3,5	5,7	9,5
Robinie (6; 9)		4,6	9,1
Robinie (9)			8,9
Weide (3; 6; 9)	0,6	0,7	1,5
Weide (6; 9)		0,8	4,7
Weide (9)			0,7

Tabelle 4
Jährliche Produktivität (t ha⁻¹ a⁻¹) für verschiedene Baumarten bzw. -klone und Umtriebszeiten (Quelle: Grünewald et al. 2007b)

Die ertragskundlichen Untersuchungen ergaben, dass auf Neulandstandorten mit anfänglich geringer Wasserkapazität und Nährstoffversorgung bei Umtriebszeiten zwischen drei und neun Jahren durchschnittliche Holzzuwächse von bis zu 9 t Trockenmasse (atro) ha⁻¹ a⁻¹ zu erwarten sind (Tab. 4). Diese Erträge reichen an die Masseleistungen von Kurzumtriebsplantagen heran. Die mit Abstand höchsten Erträge lieferte auf den sandigen Standorten die Baumart Robinie, die sich auf den neu angelegten Standorten rasch etablierte. Die Untersuchung der Interaktionen zwischen Gehölzstreifen und Feldkulturen zeigte, dass der Ertrag der Feldkulturen nicht oder nur unwesentlich durch die Randeffekte der Gehölzstreifen gemindert wurde. So betrug etwa der kumulierte Luzerneertrag abseits der Gehölzstreifen 27,4 t Trockenmasse ha⁻¹ a⁻¹, während er unter Einbeziehung der Randeffekte der Gehölzstreifen bei 26,7 t Trockenmasse ha⁻¹ a⁻¹ lag. Die Studien belegten zudem, dass die Neuanlage von *Alley Cropping*-Systemen auf Neulandstandorten Beiträge zur CO₂-Speicherung (Sequestrierung) im Boden leisten kann. So ergab sich über den untersuchten Zeitraum von acht Jahren eine deutliche Steigerung der organischen Kohlenstoff-Gehalte im Rohboden, von 0,45 % auf bis zu 1,55 % (Tab. 5). Im Rahmen einer faunistischen

Tiefe (cm)	1997	2005 Baumstrei- fen	2005 Baumstrei- fen/ Feld	2005 Feld
0-10		1,55 ± 0,64	1,13 ± 0,25	1,04 ± 0,24
10-30	0,45 ± 0,26	0,85 ± 0,28	1,03 ± 0,34	0,99 ± 0,28

Tabelle 5

Anreicherung von organischem Kohlenstoff im Rohboden (Gehalt in %, ± Standardabweichung) einer Alley-Cropping-Versuchsfläche (n=17) (Quelle: Grünewald et al. 2007b; Hüttl et al. 2007)

Untersuchung wurde zudem eine überraschend hohe Vielfalt an Spinnen, Heuschrecken und Laufkäfern, insbesondere für die Gehölzstreifen, belegt. Dabei wurde u. a. auch die Laufkäferart *Agonum gracilipes* nachgewiesen, die nach der Roten Liste des Landes Brandenburg als „vom Aussterben bedroht“ gilt.

Die Interpretation der langjährig erhobenen Daten zeigt, dass *Alley cropping*-Systeme gerade auf Standorten mit geringem Ertragspotential eine hohe Produktivität und vielfältige Wohlfahrtsleistungen erzielen können. Die hohen Erträge sind u. a. dadurch bedingt, dass die standörtlichen Potentiale aufgrund der unterschiedlich tief reichenden Wurzelsysteme von Bäumen und landwirtschaftlichen Kulturen optimal genutzt werden können. Die ökologischen Vorteilswirkungen kommen durch die Diversität von Agroforstsystemen zustande, die auf zweifache Weise hoch ist: Zum einen ist die Vielfalt der Anbaukulturen größer als im konventionellen Landbau. Zum anderen findet sich in diesen aufgrund der strukturellen Vielfalt auch eine reiche Vielfalt wildlebender Tier- und Pflanzenarten. So werden in *Alley cropping*-Systemen Prädatorenarten, die die Kulturpflanzen vor Krankheiten und Schädlingen schützen, und pflanzenbestäubende Insektenarten gefördert. Dadurch sind die Aufwendungen für Pflanzenschutz und Düngung erheblich reduziert, während die Ertragssicherheit erhöht wird. Auch können die linienförmigen Strukturen den genetischen Austausch bzw. Wanderungen von wildlebenden Tierarten unterstützen und der Fragmentierung von Landschaften entgegenwirken. Schließlich wird die Bodenerosion gemindert, die Kohlenstoffsequestrierung gefördert sowie der Bodenwasserhaushalt positiv beeinflusst.

Praxisbeispiel:

Versorgung der Heizkraftwerks Sellessen/Südbrandenburg

Wie solche Feldgehölzkulturen in der Praxis zur Energiebereitstellung genutzt werden können, soll zukünftig am Beispiel der Versorgung des Heizkraftwerks Sellessen in Südbrandenburg demonstriert werden (Dähnert & Wüstenhagen 2006). Das Heizkraftwerk wurde im Jahr 2005 durch das Unternehmen Vattenfall Europe im Rahmen seiner Verpflichtungen durch die Umsiedlung des Ortes Sellessen errichtet (Abb. 3).



Abbildung 3
Biomasse-Heizkraftwerk Sellessen (Foto: Vattenfall Europe)

Während der erzeugte Strom zu den Konditionen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes in das Stromnetz des lokalen Netzbetreibers, der Stadtwerke Spremberg, fließt, sollen mit der anfallenden Wärme die Bewohner, öffentliche Gebäude sowie das angesiedelte Gewerbe im umgesiedelten Neu-Sellessen versorgt werden. Hierzu wurde ein Nahwärmenetz mit einer Länge von rund 6.500 m aufgebaut. Bis 2006 wurden damit 110 Einfamilienhäuser, 180 Mietwohnungen sowie 5 öffentliche Gebäude versorgt. Das Werk hat eine Kapazität von ca. $2,5 \text{ MW}_{\text{el}}$ Strom sowie $3,5 \text{ MW}_{\text{th}}$ Wärme. Der zum Betrieb des Heizkraftwerks erforderliche Brennstoffbedarf ist mit jährlich ca. 26.000 t erheblich. In Zukunft soll der Brennstoffbedarf aber auch aus *Alley Cropping*-Kulturen gedeckt werden, die im Tagebau Welzow-Süd etabliert werden. Die zur Versorgung des Kraftwerks benötigte Fläche hängt stark von der Ertragsleistung und von der Umtriebszeit ab. Würde man das Heizkraftwerk komplett aus Energiewäldern versorgen und einen hohen Ertrag von $10 \text{ t Holz ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ kalkulieren, ergibt sich nur für den Bedarf dieses Heizkraftwerks ein notwendiges Flächenareal von 2.600 ha. Bei einem angenommenen Ertrag von $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ beträgt die benötigte Fläche sogar 5.200 ha. Dies zeigt deutlich die Grenzen einer Energieversorgung aus Biomasse auf. Gleichzeitig ergibt sich daraus die Notwendigkeit zu optimierten Verfahren mit hohen Erträgen.

Schlussfolgerungen

Welche Bedeutung wird die Nutzung von Bioenergie und Biomaterialien einnehmen? Nach Ansicht der Verfasser eine erhebliche, bietet doch gerade die Bioenergie neben der Windkraft (v. a. derjenigen aus off-shore-Anlagen) das größte Potential aller regenerativen Energieträger. Eine wesentliche Voraussetzung für deren wirtschaftliche Nutzung ist jedoch eine sichere und ökonomische Bereitstellung von Brennstoffen. Hierbei ist die Frage der konkurrierenden Flächeninanspruchnahme für Zwecke der Energieversorgung, der Nahrungsmittelerzeugung, des Naturschutzes und zur zukünftigen Versorgung von „Bioraffinerien“ noch weitgehend ungeklärt. Die Nutzung von Biomasse bietet besondere Chancen für die Entwicklung ländlicher Räume, auch wenn es übertrieben scheint, daraus eine neue „geopolitische Bedeutung“ (Schwägerl 2006) des ländlichen Raumes abzuleiten. Wichtig ist jedoch die Auswahl der optimalen, an die jeweiligen naturräumlichen Potentiale angepassten Nutzungspfade. Eine dezentrale Verwendung in lokalen Blockheizkraftwerken scheint derzeit der effizienteste Pfad zu sein.

Möglicherweise ergeben sich in Zukunft durch das Entstehen eines CO₂-Zertifikatehandels noch weitergehende wirtschaftliche Perspektiven für Biomasse-Anbausysteme, die gleichzeitig als CO₂-Senken agieren. Vor allem bietet sich der Anbau von Biomasse an, um die rekultivierten Folgelandschaften des Braunkohle-Bergbaus wirtschaftlich zu nutzen. Gleiches gilt für Grenzertragsstandorte, die keine intensive landwirtschaftliche Nutzung erlauben. Standortangepasste, differenzierte Anbausysteme wie verschiedene Varianten des *Alley cropping* erlauben gleichermaßen sehr hohe Biomasse-Zuwächse und zahlreiche ökologische Vorteilswirkungen. Es gilt jedoch zu beachten, dass die Nutzung von Biomasse nicht per se nachhaltig ist und auch die Potentiale der verfügbaren Biomasse ihre Grenzen haben. Daher sollte der Anbau von Biomasse zukünftig in der Landnutzung eine wichtige, aber nicht die einzige, womöglich auch nicht die bedeutendste Rolle spielen.

Literatur

- Bens, O. & R. F. Hüttl (2001): Energetic utilisation of wood as biochemical energy carrier – a contribution to the utilisation of waste energy and land use. In: *International Journal of Thermal Sciences* 40, S. 344–351.
- Bens, O., Plieninger, T. & R. F. Hüttl (2006): Wiederherstellung gestörter Kulturlandschaften und Inwertsetzung durch nachwachsende Rohstoffe zur energetischen Verwertung. In: DRL (Hg.), *Die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft* 79, S. 67–73.
- BMU (2006): *Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung*, Berlin.

- Brozio, S., Piorr, H.-P. & F. Torkler (2006): Modellierung landwirtschaftlicher Bioenergie, Tagungsband, 26. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft e.V. 6.–8. März 2006, Postdam, S. 45–48.
- Bundesamt für Naturschutz (2006): Energetische Biomassenutzung und Naturschutz, Vilm.
- Bungart, R., Bens, O. & R. F. Hüttl (2000): Production and bioenergy in post-mining landscapes in Lusatia. Perspectives and challenges for alternative landuse systems. In: *Ecological Engineering* 16, S. S5–S16.
- Dähnert, D. & D. Wüstenhagen (2006): Versorgung eines Biomasse-Heizkraftwerkes mit Holz. In: *AFZ/Der Wald* 61 (10), S. 548–549.
- Deutscher Rat für Landespflege (2006): Stellungnahme – Die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft. In: *Schriftenreihe des Deutschen Rats für Landespflege* 79, S. 5–47.
- DLR, ifeu & Wuppertal Institut (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. FKZ 901 41 803, Berlin.
- Eisenbeiß, G., Holm-Müller, K. & G. Wagner (2006): Bioenergie: Zukunft für ländliche Räume. In: *Informationen zur Raumentwicklung* 1/2.2006, S. I–II.
- Faninger, G. (2003): Towards sustainable development in Austria: renewable energy contributions. In: *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 8, S. 177–188.
- Farrell, A., Plevin, R., Turner, B., Jones, A., O'Hare, M. & D. Kammen (2006): Ethanol can contribute to energy and environmental goals. In: *Science* 311, S. 506–508.
- FNR (2007): Nachwachsende Rohstoffe: Anbauflächen in Deutschland. <http://www.fnr.de/>, Gülzow.
- Gordon, A. M., Newman, S. M. & P. A. Williams (1997): Temperate agroforestry: an overview. In: Gordon, A. M. & S. M. Newman (Hg.), *Temperate Agroforestry Systems*, Wallingford, S. 1–8.
- Grünewald, H., Brandt, B., Schneider, B. U., Bens, O., Kendzia, G. & R. F. Hüttl (2007a): Agroforestry systems for the production of woody biomass for energy transformation purposes. In: *Ecological Engineering* 29, S. 319–328.
- Grünewald, H., Wöllecke, J., Schneider, B. U. & R. F. Hüttl (2007b): Erzeugung von Biomasse für die energetische Nutzung in Alley-Cropping-Systemen und Schnellwuchsplantagen und Untersuchung ökologischer Vorteilswirkungen dieser Landnutzungssysteme. In: Schneider, B. U. & R. F. Hüttl (Hg.), *Verfahren zur Optimierung von Rekultivierungsmaßnahmen*. Cottbuser Schriften zur Ökosystemgenese und Landschaftsentwicklung 6, Cottbus (im Druck).
- Hebecker, D., Purr, I. & K. Purr (2006): Konversions-, Speicher- und Versorgungstechnologien für die energetische Biomassenutzung. Materialien der IAG Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften 8, Berlin.
- Henke, J., Klepper, G. & N. Schmitz (2005): Tax exemption for biofuels in Germany: Is bio-ethanol really an option for climate policy? In: *Energy* 30, S. 2617–2635.

- Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky S. & D. Tiffany (2006): Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. In: PNAS 103, S. 11206–11210.
- Hüttl, R. F., Schneider, U., Freese, D., Bannick, C. G., Repmann, F. & H. Grünwald (2007): Nachwachsende Rohstoffe aus Sicht des Bodenschutzes. In: ITVA (Hg.), Altlastensymposium 2007, S. 160–172.
- Isermeyer, F. & Y. Zimmer (2006): Thesen zur Bioenergie-Politik in Deutschland. Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie 02/2006, Braunschweig.
- Plieninger, T., Bens, O. & R. F. Hüttl (2006): Perspectives of bioenergy for agriculture and rural areas. In: Outlook on Agriculture 35, S. 123–127.
- Rode, M., Schneider, C., Ketelhake, G. & D. Reißhauer (2005): Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung. BfN-Skripte 136, Bonn.
- Schneider, U., Grünwald, H. & R. F. Hüttl (2004): Produktion von Holz auf Neulandstandorten. In: Scholz, V. (Hg.), Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Potenzial, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie. Bornimer Agrartechnische Berichte 35, Potsdam, S. 41–52.
- Schwägerl, Christian: Bioraffinieren statt Bioziegenkäse. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung, 14.10.2006.
- Shinnar, R. & F. Citro (2006): Energy – A road map to US decarbonization. In: Science 313, S. 1243–1244.
- Sims, R. E. H. (2003): Bioenergy to mitigate for climate change and meet the needs of society, the economy and the environment. In: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 8, S. 349–370.
- Soppa, R. (2006): Holz – vom Ladenhüter zur Mangelware. In: AFZ/Der Wald 61 (10), S. 518–519.
- Young, A. (1998): Agroforestry for Soil Management. CAB Int. Publ., New York.