

**Die Auswirkungen
erneuerbarer
Energien auf Natur
und Landschaft**

Deutscher Rat für Landespflege

**Nr. 79
2006**

ISSN 0930-5165



Deutscher Rat für Landespflege

Die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft

Gutachtliche Stellungnahme und Ergebnisse des gleichnamigen Symposiums vom
19./20. Oktober 2005 in Berlin

Die Veranstaltung und die Veröffentlichung wurden gefördert durch das Bundesamt
für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit und durch die Lennart-Bernadotte-Stiftung.



LENNART-BERNADOTTE-STIFTUNG

Heft 79 - 2006

SCHRIFTENREIHE DES DEUTSCHEN RATES FÜR LANDESPFLEGE

ISSN 0930-5165

Herausgegeben vom Deutschen Rat für Landespflege e. V. (DRL)

Redaktion: Dipl.-Ing. Angelika Wurzel
Dipl.-Landschaftsökol. Ruth Petermann

Fachbetreuung im BfN: Dipl.-Geogr. Katrin Winde, Außenstelle Leipzig

Ein Nachdruck mit Quellenangabe kann kostenlos vorgenommen werden,
jedoch wird um Zusendung eines Belegexemplars gebeten.

Beiträge, die nicht ausdrücklich als Stellungnahme des Deutschen Rates für Landespflege
gekennzeichnet sind, stellen die persönliche Meinung des Verfassers dar.

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

Herstellung und Auslieferung:
Druck Center Meckenheim (DCM)
Eichelnkampstraße 2, 53340 Meckenheim

Papier dieser Ausgabe aus chlorfrei gebleichtem Zellstoff

Inhalt

Seite

Deutscher Rat für Landespflege	Stellungnahme - Die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft.....	5
	1 Einleitung.....	5
	2 Kurzer Überblick über die behandelten Energieträger.....	7
	2.1 Biomasse.....	7
	2.2 Windkraft.....	9
	2.3 Solarenergie.....	11
	2.4 Wasserkraft.....	12
	2.5 Exkurs: Geothermie.....	12
	3 Abausysteme, Stoffhaushalt und Technik der Biomasseproduktion.....	12
	3.1 Biomasseproduktion auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.....	12
	3.2 Bewirtschaftung von Energiewäldern.....	19
	4 Ökobilanzen und Energiebilanzen.....	22
	4.1 Zu Ökobilanzen.....	22
	4.2 Zu Energiebilanzen.....	22
	5 Naturhaushalt und Landschaftsbild.....	23
	5.1 Vorbemerkungen.....	23
	5.2 Folgen der Biomassenutzung.....	25
	5.3 Folgen der Windkraftnutzung.....	27
	5.4 Folgen der Solarnutzung.....	29
	5.5 Folgen der Wasserkraftnutzung.....	29
	6 Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen.....	30
	7 Räumliche Planung.....	31
	8 Partizipation und Öffentlichkeitsarbeit.....	34
	9 Impulse für den ländlichen Raum.....	34
	10 Der Werte-Rahmen.....	36
	11 Zusammenfassung, Ausblick und Empfehlungen.....	38
	12 Summary.....	42
	13 Literatur.....	44
	14 Abkürzungsverzeichnis.....	47

Beiträge:

Uwe Büsgen	Der Beitrag der Erneuerbaren Energien in der Energiepolitik des Bundes.....	48
Kurt Häge & Oliver Weinmann	Strategische Bedeutung erneuerbarer Energien aus Sicht eines internationalen Energieversorgers.....	54
Michael Rode & Silke Schlegelmilch	Räumliche Dimensionen und Auswirkungen des Biomasseanbaus aus landespflegerischer Sicht.....	58
Oliver Bens, Tobias Plieninger & Reinhard F. Hüttl	Wiederherstellung gestörter Kulturlandschaften und Inwertsetzung durch nachwachsende Rohstoffe zur energetischen Nutzung.....	67
Frank Burger	Zur Ökologie von Energiewäldern.....	74
Tobias Plieninger, Oliver Bens & Reinhard F. Hüttl	Bioenergie-Nutzung und Kulturlandschaftsentwicklung - Kompatibilitäten, Synergien, Unverträglichkeiten.....	81
Daniela Thrän	Perspektiven und Szenarien für eine nachhaltige Biomassenutzung.....	88
Kirsten Wiegmann	Nachhaltige Bioenergie: Ökobilanz der Nutzung von Biomasse.....	95

Hermann Hötker, Heike Jeromin & Kai-Michael Thomsen Wilhelm Breuer	Räumliche Dimensionen der Windenergie und Auswirkungen aus naturschutz- fachlicher Sicht am Beispiel der Vögel und Fledermäuse - eine Literaturstudie . 100 Anforderungen des Naturschutzes und der Landschaftspflege an den Ausbau der Windenergie..... 109
Frank Musiol	Räumliche Dimension der Solarenergienutzung und Auswirkungen aus naturschutzfachlicher Sicht 116
Hans Leicht	Perspektiven der Nutzung der Solarenergie aus der Sicht des Naturschutzes .. 118
Ulrich Dumont	Räumliche Dimension der Wasserkraft und ihre Auswirkungen aus natur- schutzfachlicher Sicht..... 122
Reiner Diemel	Perspektiven für die Nutzung der Wasserkraft in Übereinstimmung mit Leitbildern der Landespflege 125
Verzeichnis der bisher erschienenen Hefte..... 131	
Verzeichnis der Ratsmitglieder..... 134	



Erneuerbare Energie (Fotos: oben: Kreuz, Konold; unten: Rottmann, Kreuz).

Die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft

1 Einleitung

Die Energiepreise steigen, der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre nimmt weiter zu, die globale Jahresdurchschnittstemperatur steigt, die Ausschläge des Wetters werden extremer – all dies wird, wie sich mit immer mehr Sicherheit feststellen lässt, durch den ungebremsten Verbrauch fossiler Energieträger mit verursacht.

Neben den beiden wichtigsten Maßnahmen, der *Energieeinsparung* und der *Steigerung der Energieeffizienz*, ist die *Nutzung erneuerbarer Energieträger*¹ wichtiger Bestandteil des Klimaschutzes und hilft, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren.

Nach Ansicht des Deutschen Rates für Landespflege (DRL) gibt es aus Gründen des Klimaschutzes (Reduktion des CO₂-Ausstoßes) und der nachhaltigen Nutzung von knapper werdenden Ressourcen *keine Alternative* zu einem *deutlich wachsenden Anteil* der erneuerbaren Energieträger an der Energieversorgung Deutschlands und als wesentliche Säule künftiger Energiepolitik. Er begrüßt daher, dass der Anteil der erneuerbaren Energien an der Energieversorgung Deutschlands zum Indikator in der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesrepublik (Die Bundesregierung 2001, S. 80; beschlossen im April 2002) geworden ist.

Deutschland hat sich mit der Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls, das im Februar 2005 in Kraft getreten ist, verpflichtet, die CO₂-Emission gegenüber 1990 um 21 % zu senken.

Mit Hilfe der Nutzung erneuerbarer Energien können Strom, Treibstoff (flüssig, gasförmig) und nutzbare Wärme erzeugt werden. Um den Anteil der erneuerbaren Energien an der *Stromerzeugung* zu erhöhen, ist mit dem deutschen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG vom April 2000) ein wichtiges Instrument geschaffen worden. Besonders positiv ist aus Sicht der Landespflege hervorzuheben, dass in die Novelle des EEG von 2004 eine Reihe von ökologischen Kriterien eingeführt wurde, an welche die Vergütung des erzeugten Stroms gekoppelt ist. Ein Erfahrungsbe-

richt, den das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) dem Deutschen Bundestag bis zum 31. Dezember 2007 und dann alle vier Jahre vorlegen muss, wird neben dem Stand der Markteinführung von Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien auch die ökologische Bewertung der Auswirkungen auf Natur und Landschaft enthalten. Der DRL bringt sich hier gerne mit seinen Erfahrungen ein.

Neben dem EEG existiert eine Vielzahl weiterer Förderungsmöglichkeiten² sowohl auf Bundes- als auch auf Landes- und Kommunalebene.

Während der aus erneuerbaren Energieträgern erzeugte Strom über das EEG gefördert wird, fehlt jedoch zurzeit ein Marktanzreiz zur effektiven Nutzung der regenerati-

ven Wärmeenergiequellen oder zu autarken Versorgungsunternehmen. Derzeit diskutiert das BMU in einem Konsultationsprozess³ die Entwicklung eines geeigneten Instrumentariums zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt.

- 1 In der Stellungnahme des Deutschen Rates werden sie meist mit dem politisch etablierten, aber wissenschaftlich unzutreffenden Begriff „erneuerbare Energien“ bezeichnet.
- 2 Gefördert werden im Bereich erneuerbarer Energien z. B. thermische Solaranlagen und Biomasseanlagen. Eine Förderung können beantragen: Privatpersonen, Freiberufler, kleine und mittlere gewerbliche Unternehmen sowie Kommunen, Zweckverbände, Körperschaften des öffentlichen Rechts und eingetragene Vereine.
- 3 Konsultationspapier zur Entwicklung eines Instruments zur Förderung der erneuerbaren Energien im Wärmemarkt vom 24. Mai 2006, abrufbar auf der Website des BMU.

Im Kyoto-Protokoll haben die Industriestaaten eine Reduktion der Treibhausgase bis 2008/2012 um mindestens 5 % im Vergleich zu 1990 beschlossen. Die EU-15-Staaten haben zugesagt, in der Zeit von 2008 bis 2012 ihre Treibhausgas-Emissionen im Durchschnitt um 8 % zu reduzieren. Die EU-Umweltminister beschlossen im Rahmen einer EU-internen Lastenverteilung für jedes Land eine eigene Reduktionsquote, für Deutschland beträgt diese 21 %. Davon sind bereits 18,5 % erreicht. Dies ist allerdings im Wesentlichen auf die einmalige Situation der gleichzeitigen Stilllegung vieler DDR-Industriebetriebe im Zuge der deutschen Einheit 1990 zurückzuführen.

Auf der im Dezember 2005 in Montreal zu Ende gegangenen Weltklimakonferenz wurde beschlossen, das Kyoto-Protokoll über das Jahr 2012 hinaus zu verlängern. Mit der Verabschiedung des Marrakesch-Abkommens (Übereinkommen der 7. Vertragsstaatenkonferenz 2001 in Marrakesch, in dem die Ausgestaltung und Umsetzung des Kyoto-Protokolls geregelt wurde) ist ein weltweiter Emissionshandel formal in Gang gesetzt worden. Damit ist das Kyoto-Protokoll mit seinen weiteren flexiblen Mechanismen, dem Clean Development Mechanism (CDM), der es Industrieländern erlaubt, über Klimaschutzprojekte in Entwicklungsländern Emissionsgutschriften zu erhalten, und Joint Implementation (JI), der es Industrieländern ermöglicht, in anderen Industriestaaten oder Transitionsländern emissionsreduzierende Projekte durchzuführen und sich diese Reduktionen im eigenen Land anzurechnen, funktionsbereit

Innerhalb der EU-25 hat der Emissionshandel bereits 2005 begonnen. Dadurch kann die Kosteneffizienz im Klimaschutz gesteigert werden. Durch den Emissionshandel, CDM und JI werden Anreize für den Einsatz und Export hocheffizienter Technik und Innovation geschaffen. Dies kann sich positiv auf die Wirtschaft auswirken. Energiepolitisch von großer Bedeutung ist die Ausgestaltung des zweiten nationalen Allokationsplans (NAP II) für den Emissionshandel. Hier ist zu befürchten, dass das marktwirtschaftliche Instrument des Emissionshandels zwischen einer Reihe von Sonderregelungen und einer übermäßigen Zuteilung von Emissionsrechten zerrieben wird.

Ziel der Bundesregierung ist es, den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bis 2010 auf 12,5 % und bis 2020 auf mindestens 20-25 % zu steigern (Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD vom November 2005, BMU 2006c). Da jedoch neben den Klimaschutzaspekten u. a. auch die Ziele der Landschaftspflege sowie der biologischen Vielfalt durch eine nachhaltige, naturverträgliche Energieversorgung erreicht werden sollen, sind Aspekte zur Entwicklung und Umsetzung von Strategien zur Konfliktverminderung und Steuerung der verschiedenen Raumansprüche notwendig. Daher spielt die ökologische Begleitforschung bei der Entwicklung neuer Nutzungsformen und Technologien zur Energiegewinnung eine sehr wichtige Rolle.

Selbstverständlich wirkt sich der Ausbau erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft aus. Dies ist bei der Windenergienutzung schon seit Jahren sichtbar und wird auch öffentlich und kontrovers diskutiert. Bei der Wasserkraftnutzung wird schon länger versucht, mit Mindestwasserregelungen und technischen Lösungen die Durchgängigkeit der Fließgewässer zu verbessern. Fotovoltaikanlagen spielen derzeit durch die Vergütungsregelung des EEG in der unbesiedelten Fläche punktuell eine Rolle. Auf großen Flächen wird es jedoch im Zuge einer verstärkten Biomasse- und Energieholzproduktion zum Anbau neuer Kulturen, zu anderen Nutzungsformen und damit zu anderen Landschaftsbildern und naturschutzrelevanten Effekten kommen.

Wenn die Gesellschaft den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien akzeptieren soll, müssen Vor- und Nachteile, Risiken, Notwendigkeiten und Chancen offen angesprochen und diskutiert werden, um mögliche Konflikte zwischen diesem Ausbau einerseits, Naturschutz und Landschaftspflege andererseits zu entschärfen oder zu vermeiden. Zweifelloso zieht insbesondere der Ausbau der Biomassenutzung Flächen- und Nutzungskonkurrenzen zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion nach sich. Es liegen mittlerweile etliche Studien vor, die sich auch aus ethisch-moralischen Gründen mit dieser Problematik befassen (vgl. Abschn. 10). Diese weisen übereinstimmend auf große Gestaltungsnotwendigkeiten hin. Hierzu müssen die einschlägigen Disziplinen, darunter besonders die Landesplanung, die Landschaftsökonomik und die Naturschutzforschung Beiträge leisten. Die Lösung dieser Gestaltungsaufgabe darf – wie aus den weiteren Ausführungen deutlich werden soll – nicht ausschließlich den Marktkräften überlassen werden.

Prognosen des BMU gehen davon aus, dass im Jahr 2020 12 % des Primärenergieverbrauchs durch erneuerbare Energien gedeckt werden können. 2050 könnte sich der Energiemix des Primärenergieverbrauchs in Deutschland aus erneuerbaren Energien (rd. 50 %), Erdgas (knapp 25 %), Mineralöl (mehr als 25 %) und Kohle (ca. 5 %) zusammensetzen (BMU 2005a, BMU 2006c).⁴ Das geplante Wärmegezet (siehe FN 3) wird helfen, weitere Potenziale erneuerbarer Energien zu erschließen.

Der DRL hat zusammen mit der Arbeitsgruppe „Zukunftsorientierte Nutzung ländlicher Räume“ der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften am 19./20. Oktober 2005 ein Symposium veranstaltet, auf dem in verschiedenen Fachvorträgen zu Wind- und Solarenergie, Wasserkraft und Biomassenutzung die Auswirkungen, Chancen und Risiken erneuerbarer Energien für Natur und Landschaft aus naturschutzfachlicher und landschaftsästhetischer Sicht beleuchtet wurden.

Folgende Themen wurden auf dem Symposium behandelt:

Dr. Harald KOHL⁵:
Die Bedeutung erneuerbarer Energien in der Energiepolitik des Bundes

Prof. Dr.-Ing. Kurt HÄGE:
Strategische Bedeutung erneuerbarer Energien aus der Sicht eines internationalen Energieunternehmens

Dr. Hermann HÖTKER:
Räumliche Dimensionen der Windenergie und Auswirkungen aus naturschutzfachlicher Sicht am Beispiel der Vögel und Fledermäuse

Wilhelm BREUER:
Anforderungen des Naturschutzes und der Landschaftspflege an den Ausbau der Windenergie

Dr. Frank MUSIOL:
Räumliche Dimensionen der Solarenergie und Auswirkungen aus naturschutzfachlicher Sicht – Position des NABU

Hans LEICHT:
Perspektiven für eine Nutzung der Solarenergie in Übereinstimmung mit Leitbildern der Landschaftspflege

Ulrich DUMONT:
Räumliche Dimensionen der Wasserkraft und Auswirkungen aus naturschutzfachlicher Sicht

Reiner DIEMEL:
Perspektiven für eine Nutzung der Wasserkraft in Übereinstimmung mit Leitbildern der Landschaftspflege

PD Dr. Michael RODE:
Räumliche Dimensionen und Auswirkungen des Biomasseanbaus aus landschaftspflegerischer Sicht

Frank BURGER:
Ökologische Auswirkungen von Energiewäldern

Dr. Oliver BENS:
Wiederherstellung gestörter Kulturlandschaften und Inwertsetzung durch nachwachsende Rohstoffe zur energetischen Nutzung

Dr. Tobias PLIENINGER:
Bioenergienutzung und Kulturlandschaftsentwicklung – Kompatibilitäten, Synergien, Unverträglichkeiten

Dr.-Ing. Daniela THRÄN:
Perspektiven und Szenarien für eine nachhaltige Biomassenutzung

Kirsten WIEGMANN:
Ökobilanz der Nutzung von Biomasse.

Ein Arbeitsausschuss, dem die Ratsmitglieder

Prof. Dr. med. Thomas EIKMANN,
Prof. Dr. Günther FRIEDRICH,
Dr.-Ing. Thomas GRÜNEBAUM,
Prof. em. Dr. Dr. h. c. Wolfgang HABER,
Prof. Dr. Ulrich KÖPKE,
Prof. Dr. Werner KONOLD,
Prof. Dr. Konrad OTT,
Prof. em. Dr. Manfred RENGGER,
Präsident Olaf SCHMIDT,
Prof. u. Dir. Dr. h. c. Johann SCHREINER,
Prof. Dr. Uta STEINHARDT,
Prof. em. Dr. Dr. h. c. Herbert SUKOPP,
die Mitarbeiterinnen des Rates Dipl.-Landschaftsökol. Ruth PETER-MANN und Dipl.-Ing. Angelika WURZEL,

⁴ Der Anteil des Kohleverbrauchs dürfte dabei auch von der Verfügbarkeit von „clean-coal“-Kraftwerken mit CO₂ Abscheideverfahren sowie eines höheren Wirkungsgrades von Kraftwerken und Einsparpotenzialen bei den Endgeräten abhängen.

⁵ Aufgrund beruflicher Veränderungen konnte Herr Kohl sein Manuskript nicht mehr vervollständigen; statt dessen liegt ein aktueller Beitrag von Uwe BÜSGEN vor.

Tab. 1: Anteile der erneuerbaren Energieträger am Endenergieverbrauch (in %).

	Strom		Wärme		Kraftstoff	
	2005*	2004*	2005*	2004*	2005*	2004*
Wasserkraft	3,5	3,5	-	-		
Windenergie	4,3	4,2	-	-		
Biomasse**	2,2	1,6	5,1	4,9	3,4	1,9
Fotovoltaik	0,2	0,1	-	-		
Solarthermie	-	-	0,2	0,2		
Geothermie	< 0,1	0,1	0,11	0,11		
Gesamt	10,2	9,4	5,4	5,2	3,4	1,9

* vorläufige Angaben, teilweise geschätzt, Stand Februar 2006

** einschließlich biogener Anteil des Abfalls

Quellen: BMU 2006a, nach Arbeitsgruppe Erneuerbare-Energien-Statistik (AGEE-Stat); Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW); Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB); Statistisches Bundesamt (StBA).

Tab. 2: Vergütungsübersicht für neue Biomasseanlagen nach § 8 EEG 2004 [ct/kWh]. Die jährliche Degression beträgt 1,5 %. Weitere Erläuterungen im Text.

	bis 150 kW	bis 500 kW	bis 5 MW	20 MW
Grundvergütung (§ 8, Abs. 1, Satz 1)	11,5	9,9	8,9	8,4
NawaRo-Bonus Biogas (§ 8, Abs. 2, Satz 1)	6	6	4	0
NawaRo-Bonus feste Biomasse (§ 8, Abs. 2, Satz 2)	6	6	2,5	0
KWK-Bonus (§ 8, Abs. 3)	2	2	2	2
Technologiebonus (§ 8, Abs. 4)	2	2	2	2

sowie als weitere Sachverständige

Dr. Tobias PLIENINGER, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, und

Dipl.-Geogr. Katrin WINDE, Bundesamt für Naturschutz, Leipzig (Fachbetreuung),

angehörten, wertete die Vorträge und Diskussionen aus, führte weitere Recherchen durch und bereitete den Entwurf dieser Stellungnahme vor, der vom Plenum des Rates nach eingehender Diskussion am 31. Juli 2006 verabschiedet wurde.

2 Kurzer Überblick über die behandelten Energieträger

Der Anteil der erneuerbaren Energieträger am gesamten Primärenergieverbrauch in Deutschland (14.238 PJ) betrug 2005 4,6 % (berechnet nach der Wirkungsgradmethode⁶). In der Tabelle 1 sind die jeweiligen Anteile der verschiedenen erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch dargestellt. Der DRL konzentriert sich in diesem Projekt vorwiegend auf die flächenhaften und terrestrischen Aspekte der Auswirkungen erneuerbarer Energien und deshalb auf die vier Energieträger Biomasse, Windenergie, Solar- und Wasserkraft, die im Folgenden kurz vorgestellt werden. Die Geothermie wird nur cursorisch angesprochen, da sie nach Auffassung des DRL nicht eigentlich zu den erneuerbaren Energieträgern gehört.

Insbesondere bei der Stromerzeugung durch Wind-, Wasser- und Sonnenenergie kann es vor allem durch wechselnde und unterschiedliche Wind- und Wetterverhältnisse zu Schwankungen kommen. Dies hat einen hohen Steuerungsbedarf zur Folge, um z. B. bei der Stromversorgung Stabilität zu gewährleisten. Auch die Biomasseproduktion ist von den Anbaubedingungen abhängig und vor Ernteausfällen nicht ganz geschützt. Das Risiko dieser Schwankungen unterstreicht die Bedeutung einer gemischten Zusammensetzung der verschiedenen Energieträger, um unterschiedliche Leistungen ggf. besser ausgleichen zu können.

Dezentrale Ansätze, z. B. bei der Nutzung von Biomasse oder Fotovoltaik, können die nachhaltige Entwicklung ländlicher Räume fördern, indem große Teile der Produktions- und Wertschöpfungskette vor Ort verbleiben (vgl. Kap. 9).

2.1 Biomasse

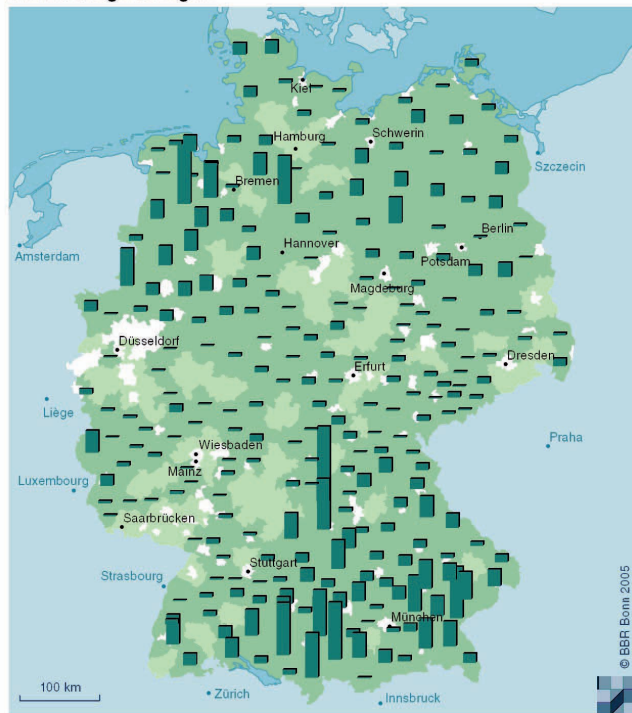
Biomasse ist an sich ein CO₂-neutraler Energieträger. Hinter dem Begriff der Biomasse verbergen sich Pflanzen und Pflanzenbestandteile (z. B. Baum- und Strauchkulturen unterschiedlicher Art, Ackerfrüchte, darunter Getreide, verschiedene Grasarten und bisherige Futterpflanzen sowie Öl-, Stärke- und Faserpflanzen), aber auch Abfälle und Nebenprodukte pflanzlicher und tierischer Herkunft, wie Altholz, Schnitgut

aus der Landschaftspflege oder Gülle. Biomasse kann in fester Form (z. B. Pflanzen), flüssiger Form (aus Biomasse erzeugte Alkohole und Pflanzenölmethylester („Biodiesel“)) oder als Gas (z. B. erzeugt durch Vergasung, Pyrolyse oder Vergärung von Biomasse) für die Wärme-, Strom- und Kraftstoffbereitstellung genutzt werden (vgl. THRÄN in diesem Heft).

Das EEG regelt die Vergütung von Strom aus Biomasse (s. Tab. 2). Die Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (BiomasseV) definiert, welche Stoffe als Biomasse anerkannt werden (§ 2) und welche nicht (§ 3).

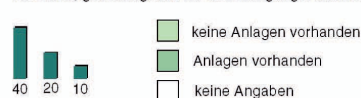
⁶ Bei der Berechnung des Primäräquivalents für Strom aus erneuerbaren Energien gibt es verschiedene Ansätze, die Wirkungsgradmethode und die Substitutionsmethode, die zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Bei der Wirkungsgradmethode wird bei Energieträgern, denen kein Heizwert zugerechnet werden kann (z. B. Wasserkraft) mit Hilfe eines Wirkungsgrades von 100 % auf die Primärenergie geschlossen. Bei der Ermittlung des Primäräquivalents für Strom aus Biomasse werden bei beiden Methoden Substitutionsfaktoren angewandt (ohne Differenzierung der unterschiedlichen Techniken) (vgl. BMU 2005a, BMU 2006a, BMU 2006c). Bei der Ermittlung des Primäräquivalents der Bereitstellung von Wärme und Kraftstoff aus erneuerbaren Energien setzt das BMU (2006c) Endenergie und Primärenergie gleich.

Anzahl Biogasanlagen



Anzahl der Biogasanlagen 2004

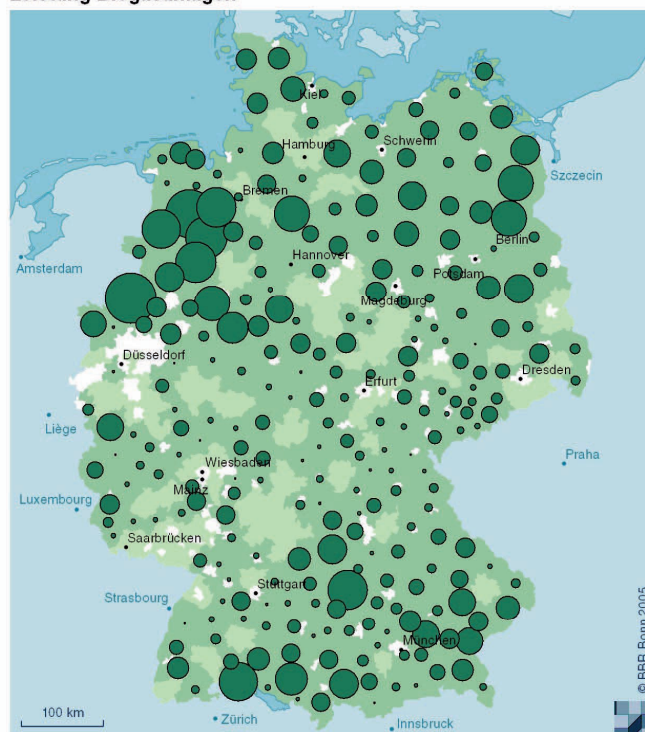
In Betrieb, genehmigt und im Genehmigungsverfahren



Kreise Stand 31.12.2004

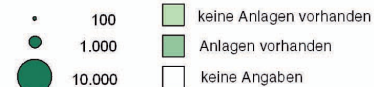
Datenbasis: Fachverband Biogas e.V.
Laufende Raumbeobachtung des BBR

Leistung Biogasanlagen



Installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen 2004

In Betrieb, genehmigt und im Genehmigungsverfahren in kWel



Kreise Stand 31.12.2004

Datenbasis: Fachverband Biogas e.V.
Laufende Raumbeobachtung des BBR

In Ergänzung zur Grundvergütung pro kWh wurden mit der Novellierung des EEG 2005 verschiedene Boni eingeführt. Der so genannte NawaRo-Bonus wird für Alt- und Neuanlagen gewährt, wenn der Strom in der Biomasseanlage ausschließlich aus **nachwachsenden Rohstoffen** und/oder Gülle gewonnen wird und weitere Bedingungen eingehalten werden (EEG § 8 (2)). Zu den Stoffen, die zum Bezug des NawaRo-Bonus berechtigen, gehören neben Kot/Harn von Nutztieren, Schlempe aus landwirtschaftlichen Brennereien und Pflanzen/Pflanzenbestandteilen aus land-, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben, die keiner weiteren als der zur Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurden, auch Pflanzen/Pflanzenbestandteile, die im Rahmen der Landschaftspflege anfallen (z. B. kommunaler Grünschnitt) (da COS-TA GOMEZ 2005).

Biogasneuanlagen können darüber hinaus den Kraft-Wärme-Kopplungs-(KWK)-Bonus für den Anteil an erzeugtem Strom in Anspruch nehmen, von dem die gleichzeitig erzeugte Wärmemenge außerhalb der Biogasanlagen genutzt wird. Der Innovationsbonus wird für den Einsatz innovativer, energieeffizienter und umweltschonender Technologien gewährt, allerdings nur für Anlagen, in denen Kraft-Wärme-Kopplung betrieben wird (KWK).

2005 wurden 10,1 TWh aus Biomasse erzeugter Strom, 76,5 TWh Wärme und 20,7 TWh Kraftstoff aus Biomasseerzeugung genutzt (BMU 2006a; Abb. 1 zeigt die Anzahl und die installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen). Die technisch erschließbaren Potenziale werden um ein Vielfaches höher eingeschätzt, sind jedoch abhängig von der Art der Biomasse, der Gewinnung und Nutzung.

Nach einer Richtlinie der EU soll sich der Anteil an Biokraftstoffen am Gesamtkraftstoffverbrauch innerhalb der EU bis zum Jahr 2010 auf 5,75 % erhöhen (EU-Richtlinie 2003). Außerdem sieht ein neuer Aktionsplan der EU (EU 2005) eine Überarbeitung der Normen vor, um die Nutzung von Biomasse für die Strom- und Wärmeerzeugung zu fördern. Nach diesen Zielen könnte die aus Biomasse produzierte Energiemenge zur Stromerzeugung von 20 Mtoe (million tons of oil equivalent/Millionen Tonnen Öläquivalente) im Jahr 2003 auf 55 Mtoe im Jahr 2010, bei der Wärmeherstellung von 45 auf 55 Mtoe und bei der Kraftstoffherstellung von 1 auf 19 Mtoe ansteigen.

Abb. 1: Anzahl und installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen 2004 in Deutschland.

Dies würde EU-weit die Energiemenge aus landwirtschaftlich produzierter Biomasse von 2 Mtoe in 2003 über geschätzte 43-46 Mtoe in 2010 und auf 102-140 Mtoe im Jahr 2030 erhöhen (EU 2005, S. 22).

Das verwendbare Potenzial aus forstlicher Nutzung (2010: 43 Mtoe; 2030: 39-72 Mtoe) weist dagegen deutlich geringere Steigerungen auf. Das Potenzial der energetischen Verwertung von Abfallstoffen ist ab 2010 kaum noch zu steigern (EU 2005, S. 20, s. auch RODE & SCHLEGEL-MILCH in diesem Heft).

Die derzeit praktizierten Formen der Biomasseerzeugung orientieren sich noch sehr stark an Nutzungssystemen, die auf andere Zwecke als die Energiebereitstellung ausgerichtet sind: Die Landwirtschaft produziert primär Nahrungs- und Futtermittel, die Forstwirtschaft produziert derzeit primär Holz zur stofflichen Verwertung. Es ist jedoch zu erwarten, dass zukünftig neuartige Nutzungssysteme für die Biomasseproduktion entwickelt werden. Dies betrifft Biomasse-Kulturen, -Saatgut, -Fruchtfolgen, -Ernteverfahren und Transporttechniken. Auch in der Forstwirtschaft werden wahrscheinlich neue waldbauliche Systeme entstehen. Zu erwarten ist ferner eine Auflösung der scharfen Trennung zwischen Land- und Forstwirtschaft, etwa durch Agroforstwirtschafts-Verfahren, bei denen land- und forstwirtschaftliche Kulturen auf derselben Fläche angebaut werden. Bei diesen neu aufkommenden Landnutzungssystemen ist stark darauf zu achten, dass nicht die in den vergangenen Jahrzehnten begangenen ökologischen Fehler der klassischen land- und forstwirtschaftlichen Produktion wiederholt werden. Vielmehr muss die Chance genutzt werden, das aktuelle Wissen über eine dauerhaft-umweltgerechte Landnutzung in die neuen Systeme zu integrieren.

Auf die Biomassenutzung richten sich große Hoffnungen und Visionen. Es hat sich eine Art Goldgräberstimmung in der Landwirtschaft und auch bei manchen Natur- und Umweltschutzverbänden ausgebreitet, die einen starken Anstieg der entsprechend zu nutzenden Flächen erwarten lässt. Dieser Anstieg hat bereits eine eigene Dynamik angenommen. Es bilden sich zurzeit regionale Schwerpunkte des Biomasseanbaus, wobei lokal auch die Gefahr einer Übernutzung besteht.

Dabei kommt es auch zu Nutzungs- und Flächenkonkurrenzen mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion, der stofflichen Nutzung und dem Naturschutz. Eine für

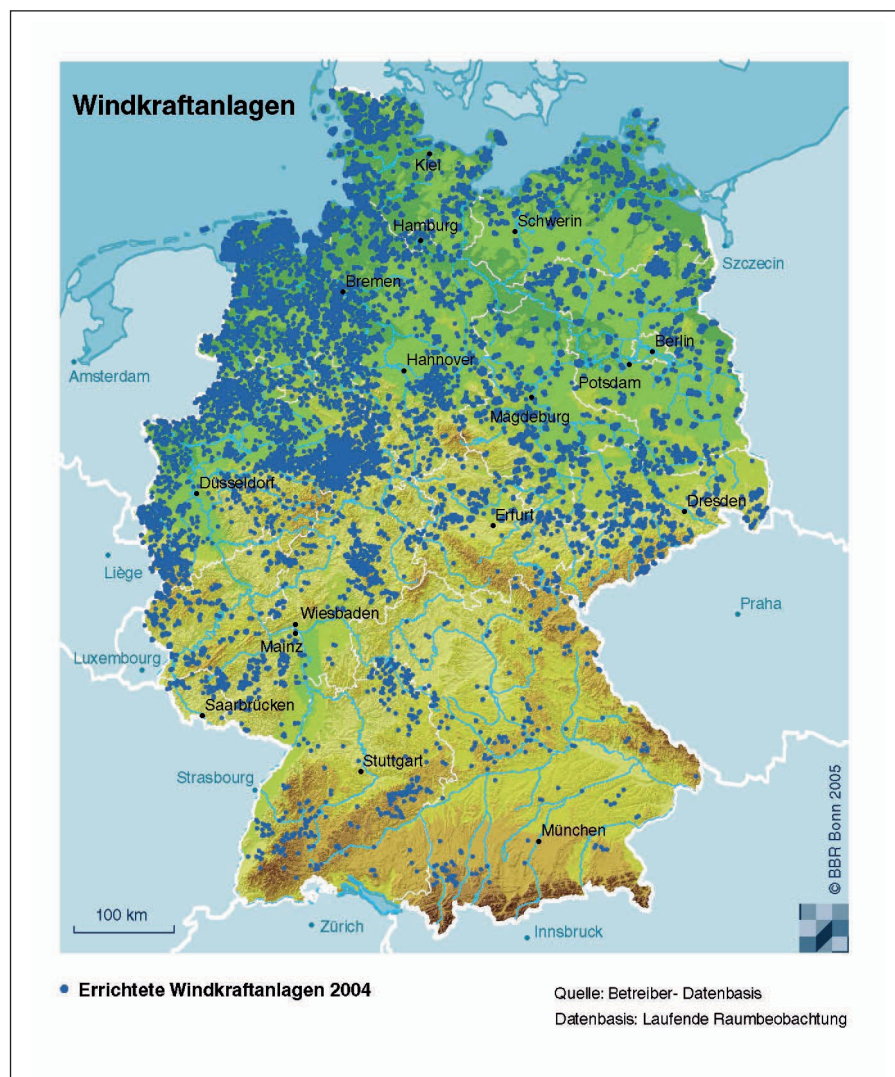


Abb. 2: Verteilung der bis 2004 errichteten Windkraftanlagen in Deutschland.

das Verhältnis von Biomasseproduktion und Naturschutz entscheidende Frage wird sein, ob die Biomasseerzeugung auf unterschiedlichen Standorten unterschiedlich intensiv durchgeführt werden wird oder ob sich nur intensive Nutzungsformen – und dies großflächig – behaupten können.

Biomasseerzeugung besitzt im Allgemeinen eine hohe Akzeptanz bei den Landwirten („Energiewirte“), weil diese Art der Produktion in das kulturelle Bewirtschaftungsmuster passt. Im Unterschied zur reinen Landschaftspflege wird beim Biomasseanbau ein unmittelbar vermarktfähiges Gut hergestellt. Durch diesen Anbau können möglicherweise Arbeitsplätze und Wertschöpfung im ländlichen Raum erhalten werden (vgl. Kap. 9). Es könnten Finanzierungsmodelle entstehen, die der Landschaftspflege zugute kommen. Auch kann der Biomasseanbau Probleme kompensieren, die mit dem Abbau der „2. Säule“ der EU-Agrarpolitik verbunden sind.

2.2 Windkraft

Die Windkraft hatte 2005 mit ca. 4,3 % den größten Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung (26,5 TWh) (BMU 2006c).

Mit Stand vom 31.12.2005 waren in Deutschland 17.574 Windkraftanlagen (WKA) mit einer Gesamtleistung von 18.427,52 MW installiert (ENDER 2006); über die Verteilung informiert die Abb.2.

Die geeigneten Standorte für WKA an Land sind weitgehend erschlossen. Im Vordergrund der weiteren Entwicklung werden in den nächsten Jahren das so genannte Repowering und der Bau von Offshore-Anlagen stehen. Beim Repowering werden veraltete durch eine geringere Anzahl moderner, leistungsstärkerer Anlagen ersetzt. Betrug die durchschnittliche Nennleistung einer Windkraftanlage 1995 noch 600 kW bei einer Nabenhöhe von 78 m (1990 sogar nur 250 kW,



Abb. 3: Offshore Anlagen bei Newcastle/Großbritannien (Foto K. Winde).

Nabenhöhe 50 m), sind heute WKA mit einer Nennleistung von 5 MW und einer Nabenhöhe von 120 m verfügbar. Der Jahresenergieertrag pro Anlage konnte gegenüber 1995 auf bis zu 17.000 MWh gesteigert werden (SCHAAL & KOLSHORN 2005).

Die Offshore-Windkraftnutzung (Abb. 4 u. 5) in der Nord- und Ostsee wird mit Anlagen von bis zu 5 MW Leistung und in Wassertiefen von bis zu 30 bis 40 m sowohl innerhalb der 12-Seemeilen-Zone als auch außerhalb in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) geplant. Dieser Nut-

zung werden große Ausbaupotenziale vorhergesagt (20.000 bis 25.000 MW von 2011 bis 2030) (BfN 2004). Aufgrund technischer Herausforderungen, hoher Entwicklungs- und Baukosten sowie Umweltauflagen wird mit der Fertigstellung und Funktionsfähigkeit erster Offshore-Windkraftanlagen ab 2010 gerechnet.

Auch Fragen der Führung von Transportwegen bzw. der Netzanbindung sind derzeit noch ungelöst (SRU 2004, OTT & BARTOLOMÄUS 2005).

Strom aus Windenergie wurde seit dem Jahr 2000 mit 9,1 ct/kWh (jährliche Degression 0,1 ct) vergütet, seit 2004 beträgt der Vergütungssatz für Strom aus Windenergienutzung an Land 8,7 ct/kWh (jährliche Degression 2 %), für Strom aus Offshore-Anlagen maximal 9,1 ct/kWh (bei Inbetriebnahme vor 2011, jährliche Degression 2 % ab 2008) (EEG § 10, SCHAAL & KOLSHORN 2005, BMU 2005a).

Die Laufzeit von WKA beträgt ca. 20 Jahre. Der Rückbau von WKA ist i. d. R.

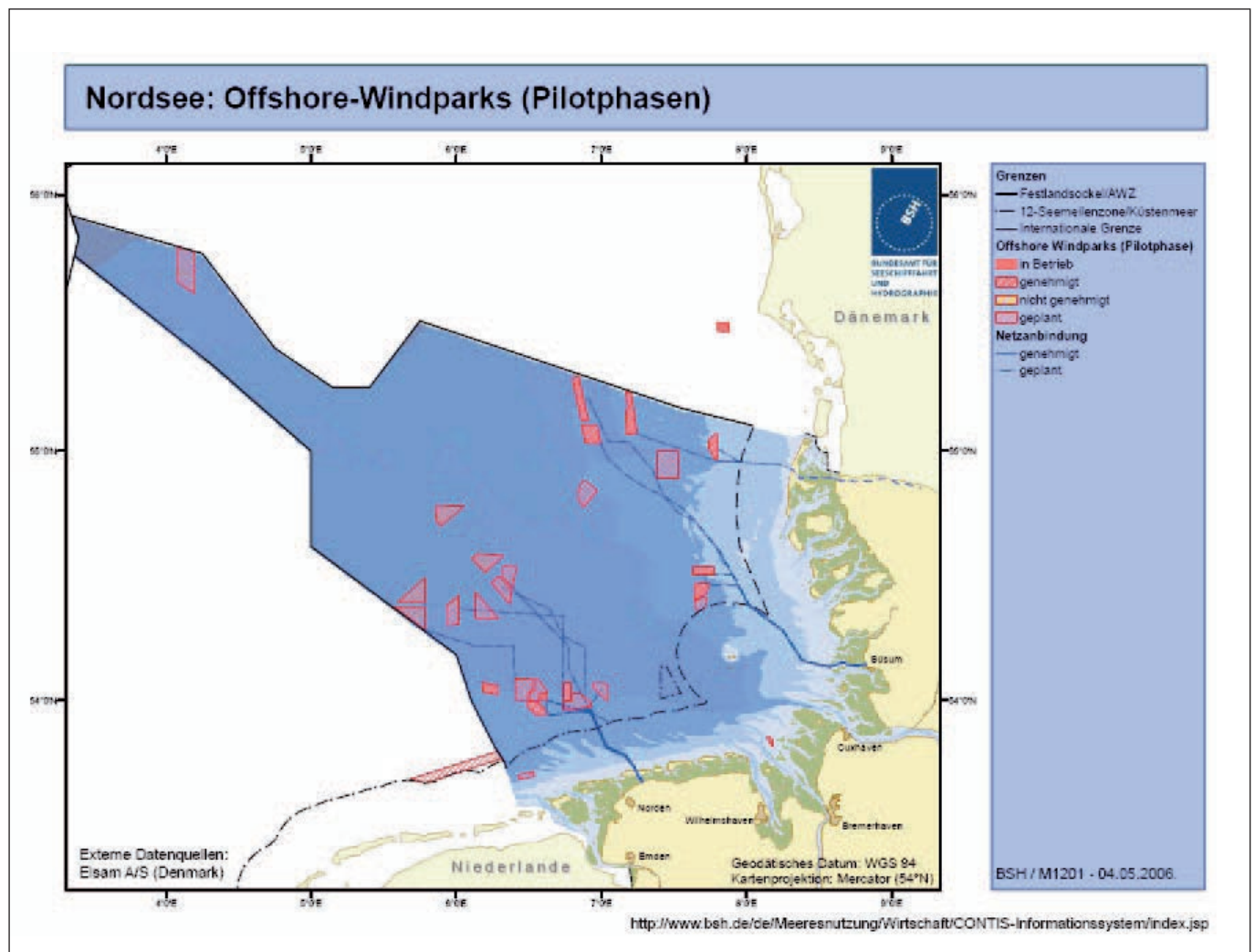


Abb. 4: Offshore-Windparks in der Nordsee.

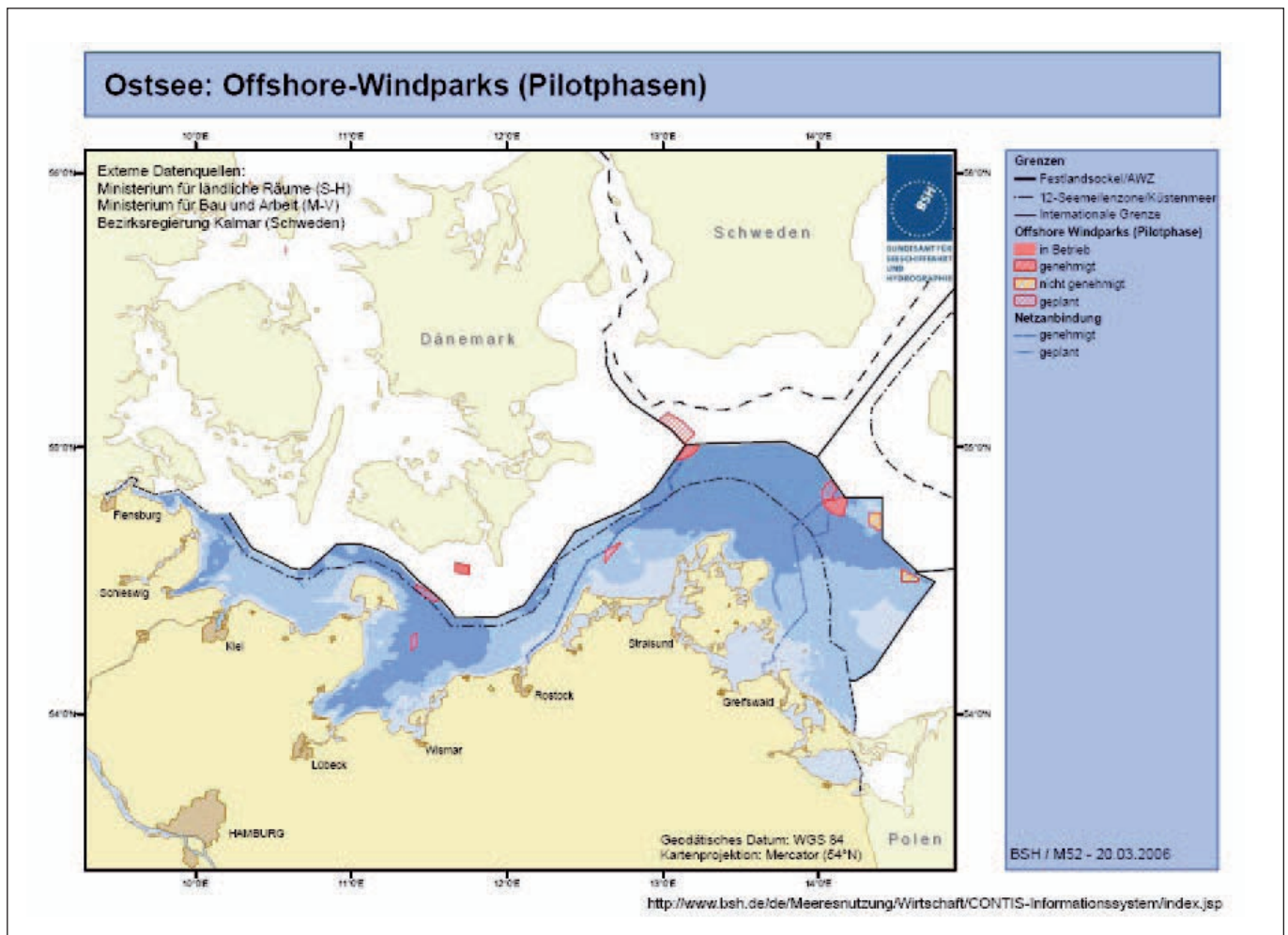


Abb. 5: Offshore-Windparks in der Ostsee.

durch Bürgschaften gesichert. Bei der aktuellen Debatte stehen Fragen des Landschaftsbildes, des Artenschutzes und der Förderung im Vordergrund.

2.3 Solarenergie

Bei der Solarenergie ist zwischen Solarthermie und Fotovoltaik zu unterscheiden. Erstere wird durch Nutzung bzw. Umwandlung der Sonnenstrahlung in Wärme v. a. auf Dächern von Privathäusern zur Erzeugung von Warmwasser für den Eigenbedarf eingesetzt. Bei der Fotovoltaik wird Sonnenlicht durch Solarzellen direkt in elektrische Energie umgewandelt⁷. Diese Art der Energienutzung ist dezentral einsetzbar. Solarthermische Anlagen zur Stromerzeugung haben weltweit zurzeit noch Pilotcharakter; die Anlage solarthermischer Kraftwerke lohnt sich nur in Regionen intensiver Sonnenstrahlung.

Die Fotovoltaik hat derzeit mit einem Anteil von unter 1 % an der durch erneuerbare Energien erzeugten Strommenge noch einen Nischencharakter und ist bisher energiewirtschaftlich kaum relevant gewesen.

Mit der Novellierung des EEG 2004 wurde der Weg zur Vergütung von Strom aus solarer Strahlungsenergie auch aus Anlagen mit einer Leistung von über 100 Kilowatt frei. Durch die gesetzliche Änderung soll die Nachfrage nach Fotovoltaikmodulen gesteigert werden, damit insbesondere die Technik Marktreife erreichen kann. Für Anlagen dieser Dimension sind geeignete Standorte in der freien Fläche leichter zu finden als an Gebäuden, dementsprechend ist die Menge des aus Fotovoltaik-Freiflächenanlagen gewonnenen Stroms seitdem deutlich angestiegen. Die Tendenz zeigt weiter nach oben. 2004 waren ca. 15 % der Fotovoltaik-Leistung auf Freiflächen installiert (vgl. LEICHT in diesem Heft). Es werden zurzeit bundesweit 465 ha mit Fotovoltaik-Freiflächenanlagen genutzt, weitere 2.600 ha sind geplant (vgl. MUSIOL in diesem Heft).⁸ In der Kritik steht insbesondere die extrem hohe Subventionierung über den Einspeisungspreis. Die Vergütung für Strom aus Freiflächenanlagen beträgt 45,7 ct/kWh (EEG § 11(1)). Sie wird über 20 Jahre – bei einer Degression von 5 % ab 2005 und 6,5 % ab 2006 – gezahlt. Insofern ist diese Förderung als Übergang zu

verstehen, die mittelfristig eingestellt werden soll. Die Vergütung für Strom aus Freiflächenanlagen ist an bestimmte Voraussetzungen gebunden. Sie gilt nur für Anlagen, die vor 2015 in Betrieb genommen werden und die Freigabe von Flächen ist eingeschränkt. Die tatsächlichen Gestehungskosten von Solarstrom liegen zurzeit noch bei 70 ct/kWh (Umweltinstitut München e. V. 2005). Strom aus fassadenintegrierten Anlagen oder Anlagen an Gebäuden wird deutlich höher vergütet (54 bis 62,4 ct/kWh, EEG § 11(2)) als der aus Freiflächenanlagen.

Die Zukunft von Solaranlagen wird daher v. a. an bestehenden Bauwerken, Parkplätzen oder Lärmschutzwänden gesehen. Da-

⁷ Dies beruht auf dem Fotoeffekt, der Freisetzung von positiven und negativen Ladungsträgern in einem Festkörper durch Lichteinstrahlung.

⁸ Nach ARGE Monitoring PV-Anlagen (2006) befinden sich 99 Fotovoltaikanlagen im Bau oder im Genehmigungsverfahren und für 312 Projekte gibt es Planungen oder Voranfragen.

mit wäre die Fotovoltaik eine Energieart für mitteleuropäische Verhältnisse, die für urbane Siedlungsstrukturen und nicht nur für den Außenbereich geeignet wäre.

2.4 Wasserkraft

Wasserkraftnutzung hat eine lange Tradition. Der Betrieb von Wasserkraftwerken ist emissionsfrei. Weltweit beträgt ihr Anteil an der Stromerzeugung ca. 18 %, in Deutschland rund 3,5 % (s. Tab. 1). Damit nimmt sie nach der Windenergie den zweithöchsten Anteil unter den erneuerbaren Energieträgern in Deutschland ein. Mit Wasserkraft ist es möglich, nachfragegerecht Strom sowohl zur Absicherung der Grundlast als auch zur Spitzenlast zu produzieren. 80 % des Stroms aus Wasserkraft wird in Laufwasserkraftwerken erzeugt (BfN 2004). Aufgrund der entsprechenden Oberflächenformen und des Wasserdargebots liegen die meisten Laufwasserkraftwerke im Süden Deutschlands, an der Donau mit ihren Nebenflüssen Iller, Lech, Isar und Inn sowie an Rhein, Mosel, Neckar und Main. Die geschätzten Nutzungspotenziale von 24 TWh/a sind bei einer Stromerzeugung von 21,5 TWh im Jahr 2005 bereits weitgehend ausgeschöpft (BMWi & BMU 2006). Ein weiterer Ausbau in Deutschland ist aufgrund der geographischen Lage und aus naturschutzfachlichen Gründen problematisch (insbesondere bei der kleinen Wasserkraft). Potenziale für die Steigerung der Stromgewinnung bestehen in der Modernisierung und Effizienzsteigerung veralteter Großkraftwerke und weniger in der Erschließung neuer Standorte. In der Wasserwirtschaft wird das zusätzliche Potenzial in einer Größenordnung von 10-15 % der bisherigen Erzeugung geschätzt (HEIMERL & GIESECKE 2004).

Das neue EEG vergütet – nach einer Übergangsfrist – Strom aus kleinen Wasserkraftanlagen nur unter bestimmten Bedingungen (EEG § 6 (1)). So muss z. B. bei Neugenehmigungen der Nachweis erbracht werden, dass trotz Wasserkraftnutzung ein guter ökologischer Gewässerzustand erreicht oder der ökologische Zustand gegenüber dem vorherigen Zustand wesentlich verbessert worden ist. Für Strom aus Wasserkraftanlagen mit einer Leistung bis 500 kW werden 9,67 ct/kWh gezahlt. Für Anlagen ab einer Leistung von 5 MW werden Vergütungen nur bei Erneuerungen und für den Anteil, um den sich die Leistung erhöht hat, gewährt (EEG § 6 (2)) (vgl. BMU 2005a, 2005b).

Infolge der Unterbrechung des Fließgewässerkontinuums durch Querbauwerke und Stauhaltungen werden vor allem

Fischwanderungen sowie Ausbreitungsbeziehungen aquatischer und semiaquatischer Wirbelloser behindert, Erosions- und Ablagerungsprozesse sowie das Abflussverhalten verändert. Außerdem ist die Entnahme von Wasser aus Bächen und Flüssen für die Energiegewinnung vielfach mit einer erheblichen Reduzierung der Wasserführung über lange Strecken verbunden, die zu Schäden an der gesamten aquatischen Biozönose und der vom Fließgewässer abhängigen Auen führt. Unüberwindbare Querbauwerke sind nicht nur ein Problem für die bekannten Fernwanderfische Lachs, Aal und Meerforelle. Stauhaltungen führen auch zu ausgedehnten Stillwasserzonen, durch die der Charakter von Fließgewässern und ihren Lebensgemeinschaften sowie der Stoffhaushalt erheblich gestört und verändert werden, ebenso die hoch- und grundwasserabhängigen Biozönosen der Auen.

2.5 Exkurs: Geothermische Energie (Geothermie)

Streng genommen gehört *Geothermie* nicht zu den erneuerbaren Energieträgern; sie wird daher hier nur kurz angesprochen. Geothermie als die unterhalb der festen Oberfläche der Erde vorhandene Wärmeenergie kann man mit den heute verfügbaren Technologien praktisch überall als umweltfreundliche klimaneutrale Energiequelle nutzen. Optimal ist die Nutzung von Strom und Wärme in sog. Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. In geologisch-tektonisch aktiven Regionen nutzt man mit der hydrothermalen Geothermie die im Untergrund natürlich vorkommenden Thermalwasservorräte. Die häufig stark mineralisierten Wässer werden nach Wärmeaustausch an der Oberfläche wieder in den Untergrund verpresst. Der weitaus größere Teil des geothermischen Potenzials Deutschlands (95 %) wird aber durch das sog. Hot-Dry-Rock Verfahren erschlossen. Dabei erfolgt der Wärmeaustausch im Untergrund, indem Wasser, das in den trockenen Untergrund gepumpt wird, sich dort erhitzt und anschließend wieder an die Oberfläche befördert wird. Bei der geothermalen Stromproduktion erreicht man derzeit nur einen Nettowirkungsgrad von 5-6 %. Das geothermische Potenzial Deutschlands ist im Vergleich zu Ländern wie Island oder der Türkei vergleichsweise gering, da die erforderlichen Temperaturen erst in Tiefen von 3.000 m erreicht werden und die damit verbundenen Bohrkosten relativ hoch sind. Darüber hinaus stellt das Risiko der Fündigkeit das derzeitige Haupthemmnis für die Nutzung der Geothermie in Deutschland dar. Attraktiv ist die Geothermie für

die Energieerzeugung aufgrund ihrer konstanten Verfügbarkeit dennoch, da sie für die Bereitstellung von Strom in der Grundlast geeignet ist. Der daraus ableitbare Forschungsbedarf konzentriert sich auf geophysikalische Methoden zur Lagerstätten-erkundung. Die bislang auf die Öl- und Gasexploration zugeschnittene Bohrtechnologie sowie die Förderpumpen müssten an die Anforderungen der Geothermie angepasst werden. Der technologische Entwicklungsbedarf im Bereich der geothermischen Stromerzeugung ist noch sehr hoch. Inwieweit sich auf der Landoberfläche ggf. punktuell Probleme aus ökologischer oder naturschutzfachlicher Sicht ergeben, ist ebenfalls noch nicht erforscht.

3 Anbausysteme, Stoffhaushalt und Technik der Biomasseproduktionen

Von den vier hier behandelten Energieträgern ist die Biomasse derzeit zweifellos derjenige mit der größten Flächenwirksamkeit. Zudem werden die Nutzungspotenziale der Biomasse bei der Strom-, Wärme- und Kraftstofferzeugung sehr hoch eingeschätzt (BMU 2005a, BMU 2006c), so dass hier große Zuwächse erwartet werden können. Abb. 6 verdeutlicht die Potenziale, die um ein Vielfaches höher liegen als die derzeitige Nutzung.

Aufgrund der Bedeutung, die der Nutzung von Biomasse in Zukunft zukommt, werden in diesem Kapitel – bevor auf die Energiebilanz und die Folgen der Nutzung der verschiedenen Energieträger eingegangen wird – als Grundlage verschiedene Anbausysteme, Stoffhaushalt und Technik der Biomasseproduktionen dargestellt.

3.1 Biomasseproduktion auf landwirtschaftlich genutzten Flächen

Die im Kap. 2 genannten Ziele der Biomasseerzeugung sind nur zu erreichen, wenn in den nächsten Jahren große Teile landwirtschaftlich genutzter Flächen auf den Energiepflanzenanbau umgestellt werden. Der geschätzte Flächenbedarf für das Jahr 2030 schwankt je nach Entwicklungsszenario zwischen 2,5 und 4,3 Mio. ha für die Bundesrepublik Deutschland (FRITSCHE & WIEGMANN 2005). Dies entspricht 21-36 % der ackerbaulichen Nutzfläche von insgesamt 12 Mio. ha. Die Biomasseproduktion zur Strom-, Wärme- und Kraftstofferzeugung konkurriert damit mit den sich in der Diskussion befindenden Nachhaltigkeitszielen (z. B. Ökolandbau, Biotopverbund, Boden- und Gewässerschutz). Daraus ergibt sich mittel- und

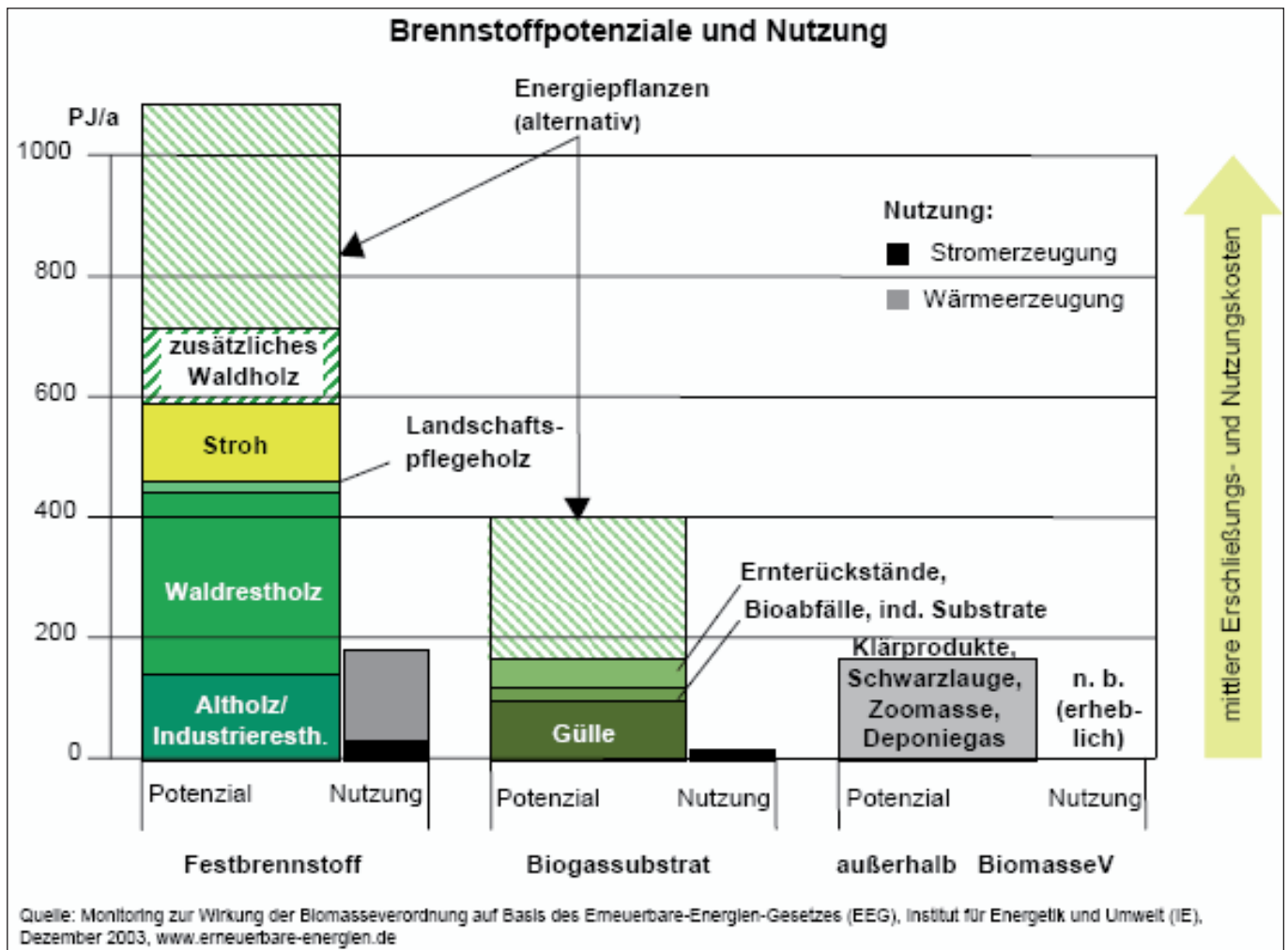


Abb. 6: Brennstoffpotenziale und Nutzung von verschiedener Biomasse.

langfristig auch eine angespannte Konkurrenzsituation zur Lebens- und Futtermittelproduktion auf ertragreichen Standorten.

Bei einer weiteren Verknappung der Lebensmittel- und Energie-Rohstoffe ist mit einer Erweiterung der Anbauflächen und einer Intensivierung auch auf Grenzertragsstandorten zu rechnen. Der Bedarf an Biomasse wird eher durch politische Entscheidungen beeinflusst, daher ist der Biomassepreis nicht an den Ölpreis gekoppelt, sondern bildet sich am Markt. In einem reinen Marktszenario würden sich die Anbauentscheidungen für oder gegen Nahrungsmittel, Futtermittel oder Biomasse auch am Preisgefüge der übrigen Energieerzeugungsarten und Energieträger (z. B. Mineralöl) orientieren. Bei steigenden Preisen für fossile Energieträger könnte dies u. U. dazu führen, dass ertragreiche Standorte zur Erzeugung von Biomasse genutzt werden und sich die Futtermittel- und Nahrungsmittelerzeugung auf weniger ertragreiche Standorte verlagert. Diese Standorte sind allerdings häufig wertvolle Zielobjekte des Naturschutzes und der Landschaftspflege. Wenn man eine solche Entwicklung

aus (naturschutz-)politischen oder ethischen Gründen ablehnt, dann sollten Optionen einer eher extensiven Biomasseproduktion auf ertragsschwachen Standorten besonders gefördert und begünstigt werden. Im Rahmen der Landschaftsplanung können die für den Naturschutz und die Landschaftspflege besonders wertvollen Flächen dargestellt und Vorschläge für deren Pflege gemacht werden; die finanziellen Instrumente zur Gewährleistung einer naturschutzverträglichen Nutzung und Pflege sind hierbei auf die Möglichkeiten der extensiven Produktion von Biomasse anzupassen (z. B. Gemeinschaftsaufgabe für Agrarstruktur und Küstenschutz, Agrarumweltprogramme, Kulturlandschaftsprogramme der Länder, EU-Verordnung über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds (ELER)).

3.1.1 Formen der Biomasseproduktion

3.1.1.1 Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen

Für die Biogasproduktion eignen sich viele Kulturpflanzen. Lediglich Pflanzen mit ho-

hem Zellulose- und Ligningehalt sind bei den bisher praktizierten Verfahren weniger geeignet.

Während bisher Biogasanlagen fast ausschließlich mit Gülle (mit einem Zuschlag von Anbaubiomasse) betrieben wurden, wird inzwischen neben Gülle auch ausschließlich Pflanzenmasse vergoren. Bei der Biogasgewinnung setzen die Landwirte zurzeit auf den Maisanbau, weil dieser silierfähig und ganzjährig nutzbar ist, und hohe Biogaserträge mit einem gängigen Anbauverfahren erzielt werden können. Aus einer Tonne Silomais können 200 cbm Biogas erzeugt werden, bei der Gülle sind es nur 30 cbm (GRASS & SCHEFFER 2005).

Durch die zu erwartende weitere Ausweitung des herkömmlichen Maisanbaus und insbesondere den Anbau von Mais in Monokultur ist zu befürchten, dass die vom Maisanbau bekannten Probleme der Bodenerosion, der Nitratverlagerung und des verstärkten Herbizideinsatzes sich noch verschärfen (s. Tab. 3 folgende Seite). Die bisherigen Maßnahmen zur Verringerung dieser Probleme (z. B. Zwischenfruchtan-

Tab. 3: Ökologische und ökonomische Analyse und Bewertung verschiedener Anbausysteme für die Biomasseerzeugung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Zweikulturnutzung (s. auch SCHEFFER 2005)	Maismonokultur	Rapsanbau für Rapsöl- und Rapsölmethylesterproduktion	Getreide-, Zuckerrüben- und Kartoffelanbau für die Ethanolherzeugung
• Artenvielfalt durch Arten- und Sortenmischungen, Nutzung genetischer Ressourcen und Tolerierung von Wildpflanzen • Brutverhalten best. Vogelarten ist zu untersuchen (veränderte Erntetermine) • Erosionsschutz und Minimierung von Nährstoffausträgen durch ganzjährige Bodenbedeckung • geschlossene bzw. fast geschlossene Nährstoffkreisläufe • sehr geringer Mineraldüngeraufwand, da Kreislaufwirtschaft • keine Fungizide und Insektizide • i. d. R. auch keine Herbizide • minimale Bodenbearbeitung und Direktsaat, dadurch geringerer Humusabbau und Förderung der Bodenfauna • gute/sehr gute Niederschlags- und Bodenverhältnisse erforderlich • Humusbilanzen sind noch zu erforschen.	• Reinkultur, keine Wildpflanzen, keine ganzjährige Bodenbedeckung, dadurch Gefahr der Erosion, Nährstoffaustrag und Humusabbau • Anwendung von Herbiziden und Insektiziden • fast geschlossene Nährstoffkreisläufe • geringer Mineraldüngeraufwand • intensive Bodenbearbeitung notwendig.	• Reinkultur • keine geschlossenen Nährstoffkreisläufe • hoher Mineraldünger-, Herbizid-, Fungizid- und Insektizideinsatz • hohe Nitratauswaschungsgefahr.	• Reinkultur, keine Wildpflanzen, hoher Mineraldüngeraufwand • keine geschlossenen Nährstoffkreisläufe • hoher Herbizid-, Fungizid- und Insektizideinsatz • keine ganzjährige Bodenbedeckung daher Gefahr der Erosion und Nährstoffverlagerung.
• Erträge: 20-30 t Trockenmasse/ha (Mittel 25t/ha) • Nettobiomasseertrag*/ha in 1 Öläquivalent: 11.000 l/ha • Kraftstoffnettoertrag** nach Berücksichtigung der Konversionsverluste bei BtL[#]: 5.500 l/ha • Flächenbedarf für die Deckung von 5,75 % des Gesamtkraftstoffbedarfs: 0,71 Mio. ha.	• Erträge: 15-25 t Trockenmasse/ha (Mittel 20 t/ha) • Nettobiomasseertrag*/ha in 1 Öläquivalent: 8.800l/ha • Kraftstoffnettoertrag nach Berücksichtigung der Konversionsverluste bei BtL-Erzeugung: 4.400 l/ha • Anbau von Silomais in Monokultur ist abzulehnen, daher keine Angaben zum Flächenbedarf.	• Erträge: 3-5 t Rapskorn/ha (Mittel 4 t/ha) • Nettobiomasseertrag*/ha in 1 Öläquivalent: 1.500 l/ha • Kraftstoffnettoertrag nach Berücksichtigung der Konversionsverluste: 1.200 l/ha • Flächenbedarf für die Deckung von 5,75 % des Gesamtkraftstoffbedarfs: 3,25 Mio. ha.	• Erträge: 8-16 t Trockenmasse/ha (Mittel ca. 12 t/ha) • Nettobiomasseertrag*/ha in 1 Öläquivalent: ca. 3.800 l/ha • Kraftstoffnettoertrag nach Berücksichtigung der Konversionsverluste: 1.300 l/ha • Flächenbedarf für die Deckung von 5,75 % des Gesamtkraftstoffbedarfs: 3 Mio. ha.
Gesamtbewertung***: Naturhaushalt +++ Flächenproduktivität +++	Gesamtbewertung: Naturhaushalt --- Flächenproduktivität ++	Gesamtbewertung: Naturhaushalt --- Flächenproduktivität --	Gesamtbewertung: Naturhaushalt: -- Flächenproduktivität --

*Nettobiomasseertrag = Energieertrag aus Biomasse minus energetischer Aufwendungen in Form von Mineraldüngern, Pestiziden und Maschineneinsatz

** Kraftstoffnettoertrag = Nettobiomasseertrag minus Konversionsverluste bei der Erzeugung von Kraftstoffen

*** Bewertung +++ = sehr gut, --- = sehr schlecht

[#]BtL = Biomass to Liquid, Begriff für Verfahren, die aus Biomasse flüssige, synthetische Kraftstoffe erzeugen.

bau, Untersaaten) werden von den Landwirten auch in der Futtermittelproduktion noch zu wenig praktiziert, da sie zusätzliche Kosten verursachen und sich z. T. auch negativ auf den Ertrag auswirken.

Der Anbau von Energiepflanzen bietet jedoch die Chance, neue umweltentlastende und bodenschonende Verfahren zu entwickeln und in der Praxis einzuführen.

Nach GRASS & SCHEFFER (2005) sollten die Anbauverfahren zur Gewinnung von Biomasse folgende Anforderungen erfüllen:

- ganzjähriger Bodenschutz und Minimierung der Bodenerosion
- Minimierung von Nährstoffausträgen und Schließen von Nährstoffkreisläufen
- kein chemischer Pflanzenschutz
- Artenvielfalt und Tolerierung der Begleitflora
- hohe Flächenproduktivität für eine hohe Rentabilität
- geringer Faktoreneinsatz.

Die bisherigen landwirtschaftlichen Anbausysteme erfüllen diese Anforderungen nur teilweise. Dies trifft auch für den Ökolandbau zu. Er erfüllt zwar die Anforderungen im ökologischen Bereich, die Flächenproduktivität ist aber im Vergleich zu konventionellen Anbausystemen niedriger. Ein Anbausystem, das sämtlichen aufgeführten Anforderungen gerecht werden kann, ist das von der Arbeitsgruppe SCHEFFER entwickelte Zweikulturnutzungssystem (KARPENSTEIN-MACHAN 1997, STÜLPNAGEL 1998, SCHEFFER 2000).

Tab. 4: Geeignete Pflanzen für das Zweikulturnutzungssystem (Grass & Scheffer 2005).

Erstkulturen	Zweikulturen
Weizen	Mais
Roggen	Sonnenblumen
Winterhafer	Sudangras
Triticale	Zuckerhirse
Raps	Hanf
Rübsen	Senf
Weidelgras und andere Gräser	Phacelia
Wintererbsen	Ölrettich
Inkarnatklees	Erbsen
Winterwicken	Wicken

Zweikulturnutzungssystem

Das Zweikulturnutzungssystem beinhaltet den Anbau und die Ernte der Gesamtbio-masse von zwei Kulturen im Laufe eines Jahres. Dabei werden eine Winter- und eine Sommerfrucht in Folge angebaut. Beide Kulturen werden vor der Vollreife geerntet. Dadurch gewinnt man Vegetationszeit für die zweite Kultur. Im Zweikulturnutzungssystem werden die ganzen Pflanzen geerntet und energetisch genutzt. Die geerntete Biomasse wird als Silage konserviert.

Für die Fruchtfolgegestaltung haben sich die in Tab. 4 aufgeführten Fruchtarten bewährt. Bei Getreide können auch Mischkulturen, aber auch alte Landsorten, die bei Betrachtung des Gesamtbio-masseertrages höhere Ertragspotenziale aufweisen, angebaut werden.

Aus Tab. 3 geht hervor, dass das Zweikulturnutzungssystem die Möglichkeit eröffnet, ökologische und ökonomische Zielset-

zungen in Einklang zu bringen. Mit der Zweikulturnutzung findet daher auch der Ökolandbau einen problemlosen Einstieg in die Biomasseerzeugung, ohne dass Ertragsminderungen auftreten.

Die zurzeit noch nicht endgültig beantworteten Fragen der Zweikulturnutzung liegen im Bereich des Wasserhaushaltes (erhöhte Evapotranspiration mit Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung), der Humusbilanz (Humuszehrung wegen der Abfuhr der gesamten Biomasse) sowie des Verhaltens von Brutvögeln durch die veränderten Erntezeitpunkte.

Durch die ständige Bedeckung des Bodens mit wachsenden Pflanzen findet eine erhöhte Transpiration statt. Die positiven Aspekte der erhöhten Verdunstung liegen in der Verminderung der Erwärmung des jeweiligen Gebietes, da von der Nettostrahlung durch die erhöhte Verdunstung weniger Energie

Tab. 5: Veränderung der Grundwasserneubildung durch Zweikulturnutzung und Klimaänderungen in Abhängigkeit von Standorteigenschaften und Jahresniederschlägen (nach Renger & Wessolek 1994, Wessolek 1996).

Standorteigenschaften	Abnahme der Grundwasserneubildung in mm/a und %*							
	Jahresniederschlag							
	500 mm		600 mm		700 mm		800 mm	
	a**	b***	a**	b***	a**	b***	a**	b***
Böden mit sehr hohem Anteil an pflanzenverfügbarem Bodenwasser (250-300 mm nutzbare Feldkapazität bzw. Grundwasserflurabstände von ca. 1 m unter Gelände)	40	45	65	80	80	100	100	130
	80 %	90 %	50 %	62 %	38 %	48 %	34 %	45 %
Böden mit geringem Anteil an pflanzenverfügbarem Bodenwasser (< 100 mm nutzbare Feldkapazität bzw. ohne kapillaren Aufstieg)	40	50	50	65	60	80	70	95
	33 %	42 %	23 %	30 %	20 %	27 %	18 %	25 %

* im Vergleich zu einer Einkulturnutzung (z. B. Getreide)

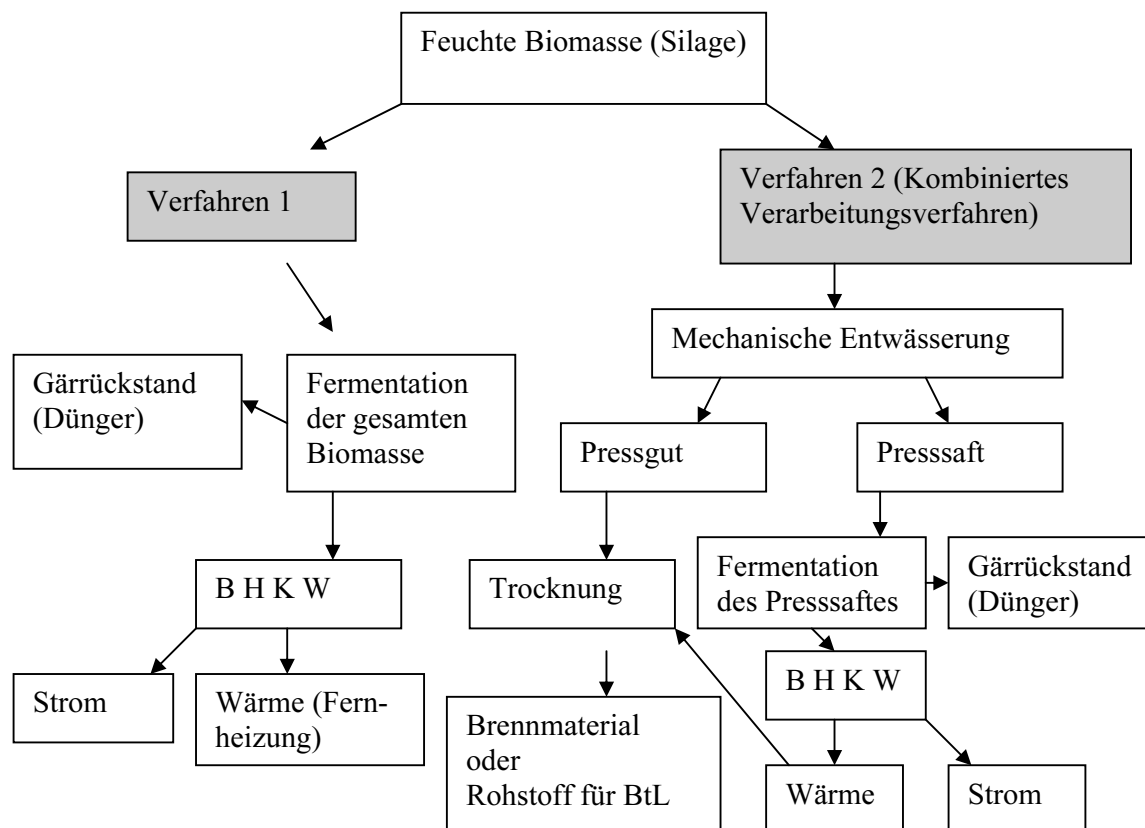
** ohne Klimaänderung

*** mit Klimaänderung (Temperaturerhöhung um 1 °C)

für den fühlbaren Wärmestrom zur Verfügung steht. Außerdem werden durch die erhöhte Wasseraufnahme mehr Nährstoffe durch die Pflanzen aufgenommen, so dass am Ende einer Vegetationszeit weniger Nitrat im Boden verbleibt und damit auch weniger ausgewaschen werden kann. Die erhöhte Verdunstung führt aber auch zu einer Verringerung der Grundwasserneubildung.

Hierzu liegen für die Zweikulturnutzung noch keine Messungen vor. Aus dem Vergleich der vorhandenen Daten zur Evapotranspiration und Grundwasserneubildung zum einen zwischen Ackerland mit und ohne Zwischenfrucht und zum anderen zwischen Ackerland und Grünland sind jedoch aufgrund von Analogieschlüssen einige Aussagen zum Wasserhaushalt der Zweikulturnutzung möglich (RENGER &

WESSOLEK 1994, WESSOLEK 1996, WESSOLEK & ASSENG 2006). Tab. 5 (vorherige Seite) zeigt, dass das Ausmaß der Veränderungen der Grundwasserneubildungsrate vom Wasserspeichervermögen des Bodens, dem Grundwasserflurabstand und der Niederschlagshöhe abhängt. Durch Klimaänderungen kann sich die Abnahme der Grundwasserneubildung noch verstärken.



Vorteile von Verfahren 2:

- Durch die Trocknung des Pressgutes der feucht konservierten Biomasse kann die ertragreichste und ökologisch günstigste landwirtschaftliche Nutzungsform der Biomasseproduktion (Feuchtgutlinie in Form der Zweikulturnutzung) für die Herstellung von Brennmaterial für Heizungen oder von Rohstoffen für die BtL-Erzeugung nutzbar gemacht werden. Mit dem Brennmaterial (Briketts bzw. Pellets) verfügen die Landwirte über ein Produkt, mit dem man bei steigenden Heizöl- und Erdgaspreisen ebenfalls höhere Erlöse erzielen kann.
- Die Energienutzungsformen Strom, Wärme oder Kraftstoff lassen sich dem jeweiligen Bedarf anpassen.
- Durch die Gewinnung von Presssaft werden aus dem Brennmaterial erhebliche Mengen an brenntechnisch störenden und umweltbelastenden Mineralstoffen wie Stickstoff, Chlorid und Kalium entfernt. Dadurch kann das Brennmaterial ohne Probleme auch in sehr kleinen Heizanlagen verbrannt werden.
- Zellulose und Lignin werden energetisch genutzt.
- Mähgut von Biotop- und Naturschutzflächen kann energetisch voll genutzt werden (Mahdzeitpunkt beachten).
- Da die Wärmenutzung nicht direkt an die Biogasanlage gekoppelt ist, können Silageaufbereitungs- und Biogasanlagen auch ortsfern installiert werden.
- Verbesserung der Wertschöpfung im ländlichen Raum, da wesentliche Arbeitsschritte auf dem landwirtschaftlichen Betrieb verbleiben.
- Die Energienutzungseffizienz ist bei Verfahren 2 um ca. 50 % höher als bei Verfahren 1.

Abb. 7: Schematische Darstellung und Bewertung von zwei Verfahren zur Biogasproduktion.

Die Angaben in Tab. 5 beziehen sich jeweils auf die Fläche der Zweikulturnutzung. Bei Wasserhaushaltsbetrachtungen eines Gebietes muss der Flächenanteil der Zweikulturnutzung an der Gesamtfläche des Gebietes berücksichtigt werden.

Durch die Abfuhr der gesamten oberirdischen Biomasse besteht die Gefahr der Humusminderung im Boden. Wenn es gelingt die Bodenbearbeitung zu minimieren, z. B. durch Direktsaat nach der ersten Ernte, dürfte es möglich sein, den Humusgehalt mit Hilfe der zweimaligen Wurzelmassen und der zweifachen Stoppelreste zu stabilisieren, wie man es auch von Wiesenflächen kennt. Obwohl bei den Wiesen der gesamte oberirdische Aufwuchs abgefahren wird, ist der Humusgehalt aufgrund der fehlenden Bodenbearbeitung etwa doppelt so hoch wie der von Ackerflächen.

Die Zweikulturnutzung eignet sich daher vor allem auf Standorten mit hoher Wasserspeicherkapazität (> 200 mm), höheren Niederschlägen (z. B. > 600 mm/a) und längeren Vegetationszeiten. Bei Böden mit mittlerer Wasserspeicherkapazität ($100 - 150$ mm) sind für die Zweikulturnutzung > 700 mm/a am Niederschlägen erforderlich. Die genannten Standortbedingungen für die Zweikulturnutzung sind auf ca. 65 % der vorhandenen Ackerflächen Deutschlands erfüllt. Auf feuchten Standorten mit kurzer Vegetationszeit besitzen mehrjährige Futterpflanzen Vorteile, da sie nach der Aussaat über zwei bis drei Jahre genutzt werden können (KARPENSTEIN-MACHAN 1997).

Grünlandnutzung

Grassilage ist inzwischen ein häufig eingesetztes Substrat in Biogasanlagen (RIEGER et al. 2003). Gras und Grassilagen sind für die Vergärung gut geeignet, solange keine hohen Zellulose- und Ligningehalte auftreten. Mit zunehmendem Alter des Grases steigen diese jedoch an. Dies führt zu einer Minderung der Biogasausbeute bei den bisher praktizierten Verfahren zur Biomasseproduktion. Pflanzen mit hohen Zellulose- und Ligninanteilen können jedoch problemlos in Biogasanlagen verwertet werden, wenn die feuchte Biomasse vor der Vergärung mechanisch entwässert und nur der Pflanzensaft vergoren wird (s. Abb. 7). Damit besteht die Möglichkeit, das gesamte aus der Landschaftspflege (Biotop- und Naturschutzflächen) anfallende Mähgut mit ca. 2,5 Mio. t Trockenmasse (Schätzung DRL für die Gesamtfläche Deutschlands) zu Biogas und Brennstoffen sowie Rohstoffen für die BtL-Produktion (BtL = Biomass to Liquid; Verfahren, die aus Biomasse flüssige, synthetische Kraftstoffe erzeugen) zu verwerten.

Verfahren zur Biogasherstellung

Die feucht konservierte Biomasse (Silage) kann nach zwei in Abb. 7 schematisch dargestellten Verfahren genutzt werden. Bei dem Verfahren 1 wird die gesamte gehäckselte und silierte Biomasse vergoren. Mit dem dabei anfallenden Biogas werden in Blockheizkraftwerken (BHKW) Strom und Wärme erzeugt.

Beim Verfahren 2 wird die Silage mechanisch entwässert. Der Presssaft enthält etwa 40-50 % der ursprünglichen festen Biomasse in Form von Zucker, Stärke, Eiweiß und Fetten, die in einer Biogasanlage leicht und sehr schnell vergoren werden. Das Pressgut mit einem Wassergehalt von ca. 50 % kann nach weiterer Trocknung entweder als Rohstoff für die BtL-Produktion verkauft oder – solange die BtL-Synthese noch nicht praxisreif ist – als Heizmaterial in Form von Pellets oder Briketts zur Wärmeerzeugung in Heizwerken genutzt werden. Verfahren 2, das kombinierte Verarbeitungsverfahren, besitzt erhebliche Vorteile gegenüber Verfahren 1 (vgl. Abb. 7) (SCHEFFER 2005). Es zeichnet sich vor allem durch eine 50 % höhere Energienutzung aus.

3.1.1.2 Rapsanbau zur Erzeugung von Rapsöl und Rapsölmethylester RME (Biodiesel)

Im Jahr 2004 wurden in Deutschland auf ca. 1 Mio. ha Energiepflanzen angebaut. Auf über 90 % der Fläche wurde Raps für die Erzeugung von Kraftstoffen kultiviert, obwohl der Anbau von Raps für die Kraftstofferzeugung sowohl ökonomisch als auch ökologisch problematisch ist (s. Tab. 3). Der ökonomische Grund, der gegen eine Kraftstofferzeugung aus Raps spricht, ist der geringe Nettokraftstofftrag/ha von ca. 1.200 l Öläquivalent (nach Berechnungen von WAGNER, TU-München, s. SCHEFFER 2005).

Auch ökologisch sprechen der üblicherweise hohe Mineraldünger-, Herbizid-, Fungizid- und Insektizideinsatz sowie der hohe Reststickstoffgehalt in Form von zurückgebliebener Stängel- und Blattmasse am Ende der Vegetationszeit gegen einen verstärkten Anbau von Körnerapps zur Ölgewinnung. Mittel- bis langfristig sollte der Anbau von Körnerapps für die Kraftstoffnutzung folglich der Vergangenheit angehören, sobald die BtL-Synthese in der Praxis eingesetzt werden kann.

3.1.1.3 Getreide-, Kartoffel- und Zuckerrübenanbau für die Ethanolherzeugung

Ethanol entsteht bei der Vergärung von Zuckern, die in stärkehaltigen (Kartoffeln,

Getreide) oder zuckerhaltigen Pflanzen (Zuckerrüben) vorkommen. Die ökonomische Bewertung des Getreide-, Kartoffel- und Zuckerrübenanbaus für die Ethanolherzeugung ist aufgrund der sehr hohen Konversionsverluste ebenso negativ wie der Rapsanbau zur Rapsölmethylesterherzeugung (s. Tab. 3). Die in der Literatur angegebenen Konversionsverluste schwanken zwischen 50–100 % (bei 100 % wäre der Nettokraftstofftrag gleich Null).

Die Verwertung bzw. Entsorgung der in großen Mengen anfallenden eiweißreichen Schlempe, die als Rückstand anfällt, ist ein völlig ungeklärtes Problem.

3.1.1.4 Strohnutzung

Die energetische Nutzung von Stroh wird in Deutschland bisher wenig praktiziert. Ein wesentlicher Grund dafür sind die emissionsrechtlichen Bestimmungen der TA Luft (2002) und die hohen Chlorgehalte, die bei der Verbrennung zu Korrosionen in den Anlagen führen können. Für die saubere Verbrennung von Stroh ist eine spezielle, angepasste Feuerungstechnik erforderlich, die bisher nur in größeren Heizwerken möglich ist. Strohheizwerke mit Leistungen im Megawatt-Bereich gibt es seit zehn Jahren in Dänemark. Einige solcher Anlagen arbeiten inzwischen auch in Deutschland zuverlässig unter Einhaltung der Abgasgrenzwerte (VETTER & HERING 2001).

Die brenntechnischen Probleme treten nicht auf, wenn Stroh mit anderen Brennstoffen gemischt wird (10 %) oder wenn Stroh als Rohstoff für die BtL-Produktion verwendet wird. Die letztgenannte Option der Strohverwertung wird aber erst nach 2010 zur Verfügung stehen.

Bei der energetischen Strohnutzung wird die gesamte oberirdische Biomasse abgeführt. Dies kann bei langjähriger Strohnutzung zu einer Abnahme des Humusgehaltes im Boden führen (VETTER et al. 1998), die von der Menge des abgeführten Strohs abhängt. Bei den bisher bekannten Prognosen über die vorhandenen Brennstoffpotenziale aus strohartigen Rückständen geht man von einer Strohmenge von 8 Mio. t Trockenmasse/a aus (s. THRÄN in diesem Heft). Dies entspricht – bezogen auf die gesamte verfügbare Getreideanbaufläche – einer Entnahme von ca. 2,5 t Trockenmasse/ha. Da der Strohertrag im Mittel bei ca. 5 t Trockenmasse/ha liegt, braucht man nur das Stroh von jeder zweiten Getreideernte. Die andere Hälfte steht bei der zugrunde gelegten Prognose weiterhin für die Humusversorgung zur Verfügung. Ob die verbleibende Strohmen-

ge noch zur Aufrechterhaltung des Humusgehaltes ausreicht, ist von den Böden selbst, den übrigen Kulturen der Fruchtfolge und der Intensität der Bodenbearbeitung abhängig. Überwiegen die humusmehrenden Kulturen (z. B. Futterpflanzen, Zwischenfrüchte) und gelingt es, die Bodenbearbeitung zu minimieren, dürfte es möglich sein, den Humusgehalt trotz der abgeführten Strohmenge auf Dauer zu stabilisieren. Bei intensiver Bodenbearbeitung und bei einem höheren Anteil an humuszehrenden Kulturen (z. B. Hackfrüchten) in der Fruchtfolge ist dagegen mit einer Abnahme des Humusgehaltes zu rechnen.

3.1.1.5 Erzeugung von Energiepflanzen nach guter fachlicher Praxis der Landwirtschaft

Die Erzeugung von Biomasse in der Landwirtschaft kann sich durchaus von der bisherigen Produktion unterscheiden. Die erwähnte Zweikulturnutzung mit fast ganzjähriger geschlossener Vegetationsdecke bietet Schutz und Futter für viele Arten in Agrarökosystemen. Damit werden wichtige Anforderungen des Boden- und Naturschutzes und der guten fachlichen Praxis sichergestellt. Durch die Rückführung der Gärrückstände kann bei der Biomasseproduktion ein Landnutzungssystem mit

innerbetrieblich geschlossenen Nährstoffkreisläufen entstehen (s. Tab. 3).

In Gebieten, in denen eine Zweikulturnutzung wegen ungünstiger Standortbedingungen nicht möglich ist, sind bei den pflanzenbaulichen Maßnahmen beim Energiepflanzenanbau die gleichen Mindestanforderungen der „Guten fachlichen Praxis der Landwirtschaft“ zu erfüllen, wie für die übliche landwirtschaftliche Bodennutzung im Rahmen der Lebensmittel- und Futtermittelproduktion (s. Bodenschutzgesetz § 17 und Naturschutzgesetz § 5). Hierzu zählen:

- Einhaltung standortspezifischer maximaler Salden in den Nährstoffüberschüssen.
- Einhaltung einer dreifeldrigen Fruchtfolge mit mindestens 15 % Flächenumfang jeder Kulturart.
Werden Untersaaten, Zwischenfruchtanbau und Direktsaatverfahren eingesetzt, sind auch beim alleinigen Anbau von Fruchtarten (z. B. Mais) die wichtigsten Ansprüche des Bodenschutzes einhaltbar (WERNER et al. 2005).
- Anwendung der Prinzipien des „Integrierten Pflanzenschutzes“.
- Einhaltung eines regionaltypischen Anteils von Landschaftselementen (Feldgehölze, Saumstrukturen, Hecken).
- Vermeidung von schädlichen Bodenverdichtungen.

Schädliche Bodenverdichtungen lassen sich vermeiden, wenn für die Beurteilung der guten fachlichen Praxis praxismäßige und überprüfbare Indikatoren zur Verfügung stehen. Die bisherigen Handlungsempfehlungen vom damaligen BMVEL zur guten fachlichen Praxis sind zu allgemein gehalten und leider nicht bindend. Mit den von SCHNEIDER & SCHRÖDER (2005) vorgeschlagenen „degressiv kontaktflächendruckbezogenen Radlasten“ stehen solche Indikatoren zur Verfügung. Aus dem vorgeschlagenen Konzept geht hervor, dass eine wirkliche Bodenschonung nur zu erreichen ist, wenn der Kontaktflächendruck mit steigender Radlast überproportional sinkt, die maximale Radlast auf 5,5 t bei unverdichteten Böden begrenzt und der Reifendruck mit zunehmender Radlast gemindert wird. Die Schlussfolgerungen, die sich aus dem vorgeschlagenen Konzept ergeben, lassen sich zu „Zehn Geboten“ zusammenfassen (s. Kasten).

Die Einhaltung dieser zehn Gebote erfordert nur geringe Mehraufwendungen gegenüber bisheriger ortsüblicher Bewirtschaftung. Die Empfehlungen sind daher realisierbar, sie dienen der Vorsorge, helfen Ertragseinbußen sowie Sanierungskosten zu minimieren und gelten auch für die Anbauverfahren der Biomasseproduktion zur Energieerzeugung.

3.1.2 Schlussfolgerungen

Der Vergleich der verschiedenen landwirtschaftlichen Nutzungsformen in Tab. 3 zeigt, dass das Zweikulturnutzungssystem sowohl ökologisch als auch ökonomisch den anderen Nutzungssystemen deutlich überlegen ist, zumindest in Gebieten mit Niederschlagshöhen zwischen 600 – 700 mm/a. Allerdings ergibt sich in Verbindung mit dem von der Bundesregierung und auch der EU vorgegebenen Ziel, bis zum Jahr 2010 5,75 % des gesamten Kraftstoffbedarfs aus Biomasse zu erzeugen, ein zeitliches Problem. Da die BtL-Produktion vermutlich erst nach 2010 zur Verfügung steht, kann das festgesetzte Ziel für 2010 nur über die Erzeugung von Rapsölmethylester und Ethanol erreicht werden. Der Anteil von 5,75 % entspricht einer Kraftstoffmenge von ca. 3,1 Mio. t (= 3,9 Mrd. l). Legt man die in Tab. 3 aufgeführten Kraftstoffnettoerträge zugrunde, ergibt sich ein Flächenbedarf von ca. 3,12 Mio. ha. Die auf dieser Fläche produzierte Kraftstoffmenge von 3,9 Mrd. l entspricht einer Energiemenge von 39 TWh (1 l Kraftstoff = 10 kWh) bzw. 140 PJ.

Würde man auf der 3,12 Mio. ha umfassenden Fläche Feuchtbioasse produzie-

Zehn Gebote zur „besten“ fachlichen Praxis zur Vermeidung von schädlichen Bodenverdichtungen (SCHNEIDER & SCHRÖDER 2005).

- Große Mähdrescher müssen mit Zwillingsreifen aus- bzw. nachgerüstet werden und künftige Mähdrescher müssen eine bessere Gewichtsverteilung auf beide Achsen haben.
- Rübenroder sollten leichter, mit kleineren Bunkern gebaut werden. „Alte Giganten“ dürfen nur mit halb gefüllten Bunkern fahren, es sei denn, die Böden sind trocken.
- Herkömmliche Anhänger dürfen auf dem Acker nur halb beladen werden. Die Restfüllung muss auf dem Vorgewende oder einem Weg erfolgen.
- Alle Fahrzeuge (auch Güllewagen, Ladewagen usw.) sind entsprechend der erarbeiteten Indikatoren zu konstruieren. Sie entsprechen dann guter fachlicher Praxis und können entsprechend ausgezeichnet werden.
- Anbauspritzen und -düngerstreuer werden nur bis zu 1 t Füllgewicht zugelassen. Schwere Geräte sind als Anhängergeäte zu nutzen (für Spritzen weitgehend Praxis, für Düngerstreuer bisher nicht).
- Ab 5 Scharen sollten nur Onlandpflüge erlaubt sein.
- Alle schweren Bodenbearbeitungsgeräte sind aufzusatteln oder anzuhängen, nicht anzubauen.
- Schlaglängen müssen auf 500 m begrenzt werden, um den Fahrverkehr mit schwer beladenen Erntefahrzeugen zu reduzieren und die Landschaftsstrukturen zu diversifizieren.
- Technische Lösungen (Spurtiefenmessungen, Reifenverformungsmessungen) können die genannten Maßnahmen ergänzen, nicht aber ersetzen.
- Alle sonstigen Vorkehrungen (Kopplung von Geräten, Abtrocknung abwarten, Tragfähigkeit durch reduzierte Bearbeitung, gute Humusversorgung erhöhen usw.) sind zu treffen.

ren und mit dem in Abb. 7 beschriebenen kombinierten Verarbeitungsverfahren (Presssaft- und Pressgutnutzung) Biogas für die Stromerzeugung und Brennmaterial für die Wärmeproduktion gewinnen, so ließe sich der Energieertrag deutlich steigern, wie die folgenden Zahlen zeigen. Mit dem anfallenden Biogas kann eine Strommenge von 33,3 TWh bzw. 120 PJ erzeugt werden. Das mit überschüssiger Wärme getrocknete Pressgut enthält eine Wärmeenergie-menge von 154,8 TWh bzw. 557,3 PJ. Der Gesamtenergieertrag aus Strom und Wärme beträgt damit 188,1 TWh bzw. 677,2 PJ und liegt damit 4,8 mal höher als der Energieertrag von 3,1 Mio. t Rapsölmethylester bzw. Ethanol.

Daraus ergeben sich aus Sicht des DRL folgende Schlussfolgerungen und Forderungen:

- Bis zur Praxisreife der BtL-Erzeugung sollten die Zielvorgaben für die Kraftstoffherzeugung aus Biomasse mindestens auf den heutigen Stand reduziert werden, damit keine weiteren Fehlinvestitionen erfolgen und nicht noch mehr landwirtschaftliche Nutzflächen einer Nutzung unterliegen, die sowohl ökologisch als auch ökonomisch aufgrund der besseren Alternativen (z. B. Zweikulturnutzung) nicht zu verantworten ist.
- Die für die Biomasseerzeugung vorhandenen Flächen sollten in der Zwischenzeit für die Strom- und Wärmeherzeugung genutzt werden, dadurch wird nicht nur die Energienutzungseffizienz um den Faktor 4,8 verbessert, sondern auch die energetische Nutzung der Biomasse für den ländlichen Raum stärker erschlossen.

Bei der großtechnischen Herstellung von Ethanol und Rapsölmethylester verbleibt der Landwirt weiterhin in der Rolle des Rohstoffproduzenten. Lediglich in dezentralen Brennereien und bei der Herstellung von nativem Rapsöl, dessen Einsatzmöglichkeiten begrenzt sind, besteht die Chance einer regionalen Wertschöpfung (s. auch SCHEFFER 2005).

Der Biomasseanbau zur Kraftstoffherstellung sollte erst dann gesteigert werden, wenn die BtL-Erzeugung der Praxis zur Verfügung steht. Erst dann lassen sich maßgeschneiderte Kraftstoffe für die aktuellen Motorkonzeptionen herstellen, die den Vorteil haben, dass sie effizient und vollständig verbrennen und verringerte Abgasemissionen verursachen. Außerdem liegt, wie Tab. 3 zeigt, der Kraftstoffnettoertrag um den Faktor 4 bis 5 höher als bei

der Rapsölmethylester- bzw. Ethanolherzeugung.

Einen Überblick über das Energiepotenzial aus Biomasse für die Erzeugung von Strom, Wärme und Kraftstoffen gibt Tab. 6. Für die Energiepflanzenerzeugung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen wurde eine verfügbare Fläche von 4 Mio. ha unterstellt. Die Kalkulation der Energiepotenziale aus landwirtschaftlichen

Energiepflanzen erfolgte auf der Basis der Gesamtbiomassenutzung (Feuchtgutlinie) und dem von der Arbeitsgruppe SCHEFFER neu entwickelten „kombinierten Verarbeitungsverfahren“ (s. Abb. 7), bei dem Biogas zur Stromerzeugung und Brennmaterial (Briketts bzw. Pellets) zur Wärmeherzeugung oder Rohstoff für die BtL-Erzeugung anfällt.

Tab. 6 (folgende Seite) zeigt, dass die zur Verfügung stehende Biomasse für 15 % des Gesamtstrombedarfs, für 26,5 % des Wärmebedarfs für den Niedrigtemperaturbereich und für 12,4 % des Gesamtkraftstoffbedarfs ausreicht. Der überwiegende Anteil (60-70 %) der erzeugbaren Energie kommt dabei von den landwirtschaftlichen Nutzflächen. Bei der Aufteilung der zur Verfügung stehenden Biomasse stand im Vordergrund, möglichst viel von der vorhandenen Biomasse für die Wärmeherzeugung zu verwenden, da bei der Wärmeherzeugung die höchste Effizienz erreicht wird. Bei den Angaben in Tab. 6 beträgt der Anteil der Wärmeherzeugung aus Biomasse 55,9 %.

3.2 Bewirtschaftung von Energiewäldern⁹

Energiewälder stellen ein Landnutzungssystem dar, das zwischen Land- und Forstwirtschaft einzuordnen ist. Der Anbau von Waldbäumen mit einem guten Regenerationsvermögen aus dem Stock, wie Balsampappel, Aspe oder Weide, verdeutlicht die Nähe zur Niederwald-Forstwirtschaft. Der einstufige Aufbau der Bestände und die Möglichkeit der kahlschlagartigen Ernte mit Mähetechniken ähneln eher landwirtschaftlicher Bodennutzung. Beim Anbau von Energiewäldern werden i. d. R. in der Begründungsphase ein Herbizid sowie ein Voraufbaumittel (chemische Unkrautbekämpfung unmittelbar vor dem Austrieb der Stecklinge) eingesetzt, d. h. bei einer angenommenen Nutzungsdauer von 30 Jahren nur *einmal* in diesem Zeitraum. Damit unterscheiden sich Energiewälder ganz erheblich von herkömmlichen Ackerkulturen. Bei einer gesicherten Energiewaldkultur sind bis zum Jahr der Ernte keine weite-

ren Pflegemaßnahmen nötig. Energiewälder werden nur im Winter geerntet. Die Nährstoffentzüge sind vergleichsweise niedrig. Nach JUG (1997) brauchen Energiewälder mit Balsampappel oder Aspe zumindest in den ersten zehn Jahren keine Düngung. So wird beispielsweise der Stickstoffentzug durch die Ernte mit dem Eintrag aus der Luft in etwa ausgeglichen. Energiewälder erbringen nach den Erfahrungen der bayerischen Versuchsflächen einen Zuwachs von 10 bis 13 Tonnen Trockenmasse pro Jahr und Hektar. Mit der Verbrennung dieser Holzmenge lassen sich etwa 5.000 bis 6.000 l Heizöl einsparen.

3.2.1 Ernteverfahren

Energiewälder können mit herkömmlichen motormanuellen Verfahren (einfache Ausrüstung wie Motorsäge, handbetriebener Anbauhacker, landwirtschaftliche Anhänger) geerntet werden. Anschließend werden die Stämme gerückt und (evtl. nach einer Trocknung während des Sommers) gehackt. Der gleichförmige Aufbau von Energiewäldern erlaubt aber auch den Einsatz von höher mechanisierten Verfahren bis hin zu modifizierten landwirtschaftlichen Techniken (BURGER 2005). Die Flächen werden nur bei der Ernte, also z. B. alle 5 Jahre, und damit erheblich seltener als Ackerkulturen befahren.

Exkurs: Rechtliche Einordnung

Der rechtliche Status von Energiewäldern ist bundesweit momentan nicht klar geregelt; das Bundeswaldgesetz erwähnt die Energiewälder nicht. Kurzumtriebswälder gelten nach § 1 (1) des „Gesetzes zur Gleichstellung stillgelegter und landwirtschaftlich genutzter Flächen“¹⁰ weiterhin als landwirtschaftlich genutzte Flächen, wenn sie auf stillgelegten Flächen angebaut werden und dafür die sogenannte „Stilllegungsprämie“ beantragt wurde.

Die Waldgesetze der Länder sehen für den Anbau von Energiewäldern unterschiedliche Regelungen vor. In *Bayern* beispielsweise ist seit dem Inkrafttreten der Neufassung des Waldgesetzes am 1. Juli 2005 die Rechtslage klar. „In Feld und Flur gelegene“ Energiewälder sind demnach *nicht*

9 Synonyme: Kurzumtriebsplantagen, Kurzumtriebswälder, Energieholzplantagen, Biomassewälder, Feldholz, Short Rotation Forests (SRF).

10 Zuletzt geändert durch Art. 62 a des Gesetzes zur Bereinigung des Bundesrechts im Zuständigkeitsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz v. 13.04.2006 (BGBl I S. 855).

Tab. 6: Energiepotenzial aus Biomasse für die Erzeugung von Strom, Wärme und Kraftstoffen (Zeitraum 2020 – 2030).

Art der Biomasse	Energetisch nutzbare Menge in Mio. t TM bzw. FM TM=Trockenmasse FM=Frischmasse	Energiepotenzial für Strom		Energiepotenzial für Wärme		Energiepotenziale für Kraftstoffe	
		PJ/a	TWh/a %*	PJ/a	TWh/a %	PJ/a	TWh/a Mrd. l/a %
Energiepflanzen auf 4 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche (Feuchtgutlinie + kombiniertes Verarbeitungsverfahren, s. Abb. 1); eigene Angaben	80 Mio. t TM/a	145,8	40,5 7,1	425,5	118,2 16,4	165,6	46 8,4
Mähgut von Biotop- und Naturschutzflächen; eigene Schätzungen	2,5 Mio. t TM/a	3,25	0,9 0,15	20,25	5,62 0,8	4,05	1,12 0,112 0,2
Stroh	8 Mio. t TM/a**	35,6	9,9 1,7	35,6	9,9 1,4	12,2	3,4 0,34 0,6
Holzartige Produkte und Abfälle (Waldrestholz, Altholz, Industriestholz etc.)	45 Mio. t FM/a**	102,6 76-129***	28,5 5,0 23-33 4-6	136,1	37,8 5,2	63 47-79	17,5 13-22 1,75 1,3-2,2 3,2 2,4-4
Sonstige Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle (Exkremente, Abfälle aus Gewerbe und Industrie, organische Industrieabfälle, etc.), Klär- und Deponiegas	184 Mio. t FM/a** + Klär- und Deponiegas	18 15-21	5 0,9 4-6 0,7-1,1	69,8	19,4 2,7	-	- - -
Insgesamt		305,25	84,8 14,85	687,25	190,92 26,5	244,85	68,02 6,8 12,4

* Prozentanteil am Gesamtenergiebedarf der einzelnen Energieformen:

Gesamtstrombedarf = 570 TWh/a,

Wärmebedarf für den Niedrigtemperaturbereich = 722 TWh/a

Gesamtkraftstoffverbrauch = 545 TWh/a = 54,5 Mrd. l/a

** Angaben aus THRÄN (in diesem Heft)

*** Da die Angaben nach THRÄN bei den Energiepotenzialen für Strom und Kraftstoffe stark schwanken, sind außer den Mittelwerten auch die Variationsbreiten aufgeführt.

Wald im Sinne des Gesetzes. Sie dürfen jedoch nur mit einer behördlichen Erlaubnis angelegt werden. Eine Rodungserlaubnis ist allerdings nicht notwendig, der Landwirt kann die Fläche nach Auslaufen eventueller Bindungen, die durch eine finanzielle Förderung entstanden sind, jederzeit wieder in normale landwirtschaftliche Nutzung überführen. Wie dies in der Praxis umzusetzen ist, bleibt allerdings unklar: Für eine Rückführung in landwirtschaftliche Nutzung müssten die erheblichen Mengen an Wurzelstöcken/-stümpfen etc. wieder aus der Fläche gebracht werden. Alle bekannten Konzepte sind mit einem erheblichen Maschinen- d. h. Energieeinsatz verbunden. Dies müsste in einer Ökobilanzierung/Energiebilanz deutlich werden. In *Rheinland-Pfalz* sind Energiewälder nach dem Landeswaldgesetz als Wald anzusehen.

Das *Niedersächsische Wald- und Landschaftsgesetz* bietet zu den Energiewäldern keine Regelung, nach Auskunft des zuständigen Ministeriums wird nach einer Lösung gesucht.

In *Hessen* sind die Energiewälder rechtlich Wald. Eine Aufforstungsgenehmigung muss eingeholt werden, der Landwirt erhält allerdings weiterhin die sogenannte Stilllegungsprämie. An dieser Stelle sei der Hinweis erlaubt, dass Stilllegungsprämien nur für landwirtschaftliche Flächen gezahlt werden. Damit stellt „Energiewald“ keinen Wald im Sinne des bisherigen Verständnisses dar, sondern ist eine quasi agroforstliche Nutzung mit Sonderfallcharakter. In *Baden-Württemberg* wird im Fall einer Aufforstung mit Energiewäldern ein öffentlich-rechtlicher Vertrag geschlossen, der zugleich mit der Aufforstungsgenehmigung auch die Rodungserlaubnis enthält. Die betreffende Fläche ist rechtlich Wald, kann aber problemlos wieder in landwirtschaftliche Nutzung umgewandelt werden.

3.2.2 Restholznutzung aus dem Wald – Bedeutung der Biomasse im Naturhaushalt der Wälder

Biomasse als Nährstoffpool:

In den einzelnen Biomassefraktionen der Wälder sind Nährstoffe in unterschiedlichem Anteil gespeichert. Waldökosysteme „funktionieren“ langfristig und nachhaltig nach dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft. Die aufgenommenen Nährstoffe müssen früher oder später über den Streufall (inkl. Totholz) an den Boden zurückgeliefert werden, wenn das System nicht verarmen soll. Bis zu einer gewissen Schwelle sind Entnahmen aus dem System möglich, wenn sie durch Einträge aus der Atmosphäre oder aus der Gesteinsverwitterung aus-

geglichen werden („nachschaffende“ Kraft des Waldbodens). Die Nutzungsintensität sollte sich diesen Einträgen anpassen, wenn man dem Postulat der Nachhaltigkeit folgen will. Übersteigen die Entnahmen die Einträge, kommt es zu Verlusten an Nährstoffen wie Phosphor (P), Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Kalium (K). Der Nettoexport der drei letztgenannten Elemente vermindert über die dadurch bewirkte Bodenversauerung die Bodenfruchtbarkeit und die Pufferfunktion des Bodens gegenüber Säuren; dies kann zur Gefährdung der Grund- und oberirdischen Gewässer führen. Durch Nutzung von Rinde, Feinreisig und Nadeln werden überproportional Nährstoffe wie Ca, Mg, N (Stickstoff), aber auch P entzogen, weil diese Fraktionen nährstoffreicher als das reine Stammholz sind. Im Nutzungsfall müssen diese durch Düngung ersetzt werden. Walddüngung in Wirtschaftswäldern ist im Prinzip nur im Rahmen der guten fachlichen Praxis zulässig.

Biomasse als Humusbildner:

Nicht genutzte Biomasse trägt über den Streufall (inkl. Totholz) im Wald zur Humusbildung bei. Bei einer Steigerung der Nutzungsintensität sinkt die Neubildungs-

rate des Humus und es ändert sich durch die bevorzugte Nutzung verholzter Biomasse auch die Humusqualität. Der Humus spielt im Wald eine besondere Rolle bei der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit (Wasser- und Nährstoffspeicherung). Weil in Wirtschaftswäldern gegenüber ungenutzten „Ur“wäldern ohnehin viel weniger Biomasse für den Humusaufbau zur Verfügung steht, sind die Auswirkungen vermehrter Nutzung sorgfältig zu prüfen.

Verwendung von gebietsfremden Arten:

Weltweit ist die Robinie¹¹ (*Robinia pseudoacacia*) nach Eukalyptus- und Pappelhybriden als dritt wichtigste Holzart im Anbau und wird z. B. auch beim Alley Cropping verwendet. Die Fähigkeit der Robinie zur symbiotischen Stickstoffbindung führt rasch zu dauerhaften Standort- und Vegetationsveränderungen. Auf mit Stickstoff an-

11 Robinien aus Nordamerika, die zuerst 1670 im Berliner Lustgarten kultiviert wurden, spielten später eine wichtige Rolle als Bodenfestiger. Ende des 17. Jahrhunderts erhoffte man sich vom erweiterten Anbau eine Lösung der durch die beginnende Industrialisierung vermehrten Holznot. Die übersteigerten Erwartungen wurden nicht erfüllt. Jedoch dauert Robinienanbau als Flur- und Forstgehölz an.

Feste Biobrennstoffe zur Wärmeerzeugung bestehen überwiegend aus Holz. Hier wird unterschieden zwischen Stück- oder Scheitholz, Hackschnitzeln und Pellets. Das Stückholz entstammt direkt dem Wald, kommt als Restholz aus der Holzbe- und -verarbeitenden Industrie oder entsteht als Altholz am Ende der Nutzungsdauer von Holzprodukten. Hackschnitzel entstammen vorwiegend dem Wald, teils auch dem Restholz der Industrie und entstehen in geringem Umfang durch Zerkleinerung von Flurholz bei der Landschaftspflege. In Kurzumtriebsplantagen produziertes Energieholz wird ebenfalls zu Hackschnitzeln verarbeitet. Pellets entstehen derzeit durch Aufbereitung von Sägeresthölzern der Industrie. Bei weiter steigenden Energiepreisen ist damit zu rechnen, dass auch Waldholz für die Herstellung von Pellets verwendet wird. Pelletfeuerungen kommen in ihrem Bedienungskomfort an herkömmliche Ölheizungen heran. Die Nachfrage nach solchen Anlagen wird in Zukunft beträchtlich steigen. Von den im Wald anfallenden Holzsortimenten werden bislang zumeist nur mindere Qualitäten thermisch verwertet. Das sind vor allem schwache Dimensionen, krumme und astige Stammteile oder Astholz aus den Baumwipfeln. Vor allem im kleinbäuerlichen Waldbesitz wird auch in großem Umfang stofflich nutzbare Holzmasse als Brennholz verwertet. Steigende Energiepreise lassen erwarten, dass die thermische Nutzung zunehmend mit der stofflichen konkurrieren wird. Waldholz ist in Deutschland in beträchtlicher Menge vorhanden. Nach den Ergebnissen der Bundeswaldinventur von 2002 sind die Holzvorräte in Deutschland aufgrund hoher Zuwächse und einer zurückhaltenden Nutzung in den vergangenen Jahren beträchtlich gestiegen, so dass Deutschland inzwischen die größten Vorräte unter allen europäischen Staaten hat, wenn von Russland abgesehen wird. Das zusätzlich nutzbare Holzpotenzial ist vor allem im Privatwald vorhanden. Aufgrund nachteiliger struktureller Bedingungen (kleine Eigentumsgrößen, Parzellierung) können zusätzliche Holzmassen bislang allerdings nur in beschränktem Umfang bereitgestellt werden.

Es ist darauf hinzuweisen, dass bei der Verbrennung fester Biobrennstoffe mit zunehmenden Luftbelastungen, z. B. durch Feinstäube, gerechnet werden muss, wenn nicht Vorsorge dagegen getroffen wird (u. a. UBA 2006).

gereicherten Böden wachsen anspruchsvolle Arten schneller, höher oder dichter auf, so dass es zu Verdrängungseffekten kommen kann. Darüber hinaus neigt die Robinie stark zur vegetativen Ausbreitung über Wurzelbrut. Wenn diese Art also in Energieholzbausystemen verwendet werden soll, sind diese Effekte unbedingt zu berücksichtigen. Auszuschließen sind Anpflanzungen in unmittelbarer Nachbarschaft zu geschützten Flächen.

4 Ökobilanzen und Energiebilanzen

4.1 Zu Ökobilanzen

Auch die Erzeugung von Strom, Wärme und Kraftstoffen aus erneuerbaren Energien verläuft wie bei der Nutzung fossiler Energieträger auf einem Weg, der von der Rohstoffgewinnung über Herstellung, Vertrieb und Anwendung bis zur Entsorgung oder Wiederverwendung der dafür notwendigen Rohstoffe, Anlagen und (End-)Produkte führt. Gemessen an allen hierfür relevanten Entnahmen aus der Umwelt (z. B. zur Herstellung von Windenergieanlagen aus Stahl, Beton, Rotorflügeln oder der Rohstoffe für die Herstellung von z. B. Solarmodulen oder Biodieselanlagen) und den Emissionen in die Umwelt (z. B. durch die Ausbringung von Gärresten aus Biogasanlagen oder aus dem Rückbau veralteter Windkraft- und Fotovoltaikanlagen) kommt man zu entsprechenden Ökobilanzen¹². Hierdurch können die möglichen oder tatsächlichen Auswirkungen der Energieerzeugung auf die Umwelt systematisch erfasst und bewertet werden. In diese „Bewertung der Umweltverträglichkeit“ fließen dann auch Faktoren wie der Transportaufwand zur Beschaffung von Bioenergieträgern für Biogasanlagen und den hierdurch verbrauchten Treibstoff inkl. seiner Herstellungsbilanz und dem Beitrag zum Klimaschutz ein. So kann eine große Biogas- oder Verbrennungsanlage vielleicht effizienter Strom oder Wärme erzeugen als eine kleine, aber es vergrößern sich auch die Anlieferungsstrecken der hierfür benötigten Biomassen.

Nach diesem Verfahren der Gegenüberstellung von Input- und Output-Parametern und deren Bewertung werden auch Energiebilanzen errechnet, die das Verhältnis von Energieaufwand zu gewonnenem Energieertrag ermitteln. Vergleicht man die konventionelle mit der alternativen Energieerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen, kommt es darauf an, welche Parameter betrachtet werden. Ökobilanzen dienen als Handlungsempfehlungen für politische oder administrative Planungen. Ein Vergleich der einzelnen Energieträger ist demzufolge auch nur anhand einzelner Parameter, z. B. in Szenarien hilfreich, um Entscheidungen zur Erreichung bestimmter Zielstellungen (Minderung des CO₂-Ausstoßes, Erhaltung der Biodiversität oder der Kulturlandschaften) treffen zu können. Eine pauschale Beurteilung ist daher an dieser Stelle wenig sinnvoll.

Im Rahmen von vom BMU geförderten Projekten wurden u. a. eine umfangreiche „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ (Ökoinstitut et al. 2004) und Vorschläge „Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland“ (BMU 2004) vorgelegt. Die Endberichte hierzu können, neben vielen anderen Ökobilanzen zu Biotreibstoffen, Pelletheizungen oder z. B. Biogasanlagen, im Internet nachgelesen werden¹³.

4.2 Zu Energiebilanzen

Wichtige Größen bei der Beurteilung von Biomasse-Energieträgern sind deren Energiebilanz – also das Verhältnis von investiertem Energieaufwand zu gewonnenem Energieertrag – und der Nettoenergieertrag. Dabei gibt es große Unterschiede je nach Art der Bereitstellungs- und Energieumwandlungsverfahren. Bei der Bereitstellung entsteht ein Energieaufwand für Anbau, Konditionierung, Transport und Lagerung der Biomasse, der etwa 6 – 35 % des Energieertrages beträgt (siehe Tab. 7, FLAIG et al. 1998, ergänzt durch eigene Angaben). Circa 50 % des Energieaufwan-

des entstehen allein durch die Stickstoffdüngung beim Anbau von landwirtschaftlichen Kulturen.

Die in Tab. 7 aufgeführten Nettoenergieerträge der einzelnen Anbauverfahren zeigen ebenfalls deutliche Unterschiede. Der Nettoenergieertrag der Zweikulturnutzung (Feuchtgutlinie) liegt z. B. mehr als sechsmal höher als der von Raps.

Jeder Energieträger sollte daher dort eingesetzt werden, wo er seine beste Eignung zur Geltung bringen kann. Dies erfordert hohe Wirkungsgrade bei der Umsetzung und nach Möglichkeit wenig Konversionschritte, da bei jedem Schritt wirkungsgradbedingte Verluste gesteigert werden und das Endprodukt im Wert gemindert wird. Beim gegenwärtigen Stand der Technik ist bei den verschiedenen Energieumwandlungsverfahren mit folgenden Wirkungsgraden zu rechnen:

Aus den aufgeführten Wirkungsgraden geht hervor, dass die höchste Nutzungseffizienz bei der Wärmenutzung aus trockener Biomasse erreicht wird. Abb. 8 zeigt den quantitativen Zusammenhang zwischen dem Anteil aus der Wärmeerzeugung aus Biomasse und der Effizienz der Energienutzung aus Biomasse.

Mit steigendem Wärmeerzeugungsanteil steigt die Energienutzungseffizienz der Biomasse. Als Maß für die Energieeffizienz wurde 1. der Energieanteil aus Biomasse an dem Gesamtenergieverbrauch

12 Allgemein unterscheidet man zwischen einer Ökobilanz, die den Umweltaspekt eines einzelnen Produkts berücksichtigt, einer vergleichenden Ökobilanz, die eine Gegenüberstellung mehrerer Produkte verfolgt, sowie einer ganzheitlichen Bilanzierung, die wirtschaftliche, technische und/ oder soziale Aspekte mit einbezieht.

13 Bericht zur Stoffstromanalyse: www.oeko.de/service/bio/de/index.htm; Vorschläge zum ökologisch optimierten Ausbau der Nutzung EE in Deutschland unter www.kompetenznetze.de/navi/de/Services/literatur,did=99092.html

Tab. 7: Energieaufwand und Energieertrag verschiedener Anbauverfahren.

	Einheit	Getreidepflanzen (als Ganzes)	Schnellwuchsplantagen (Pappeln)	Stroh	Rapskorn	Zweikulturnutzung (Feuchtgutlinie)
Energieertrag	GJ/ha	184,6	152	92,3	72	324
Energieaufwand	GJ/ha	20,1	12,2	5,6	25	25
Nettoenergieertrag	GJ/ha	164,5	139,8	86,7	47	299
Verhältnis Aufwand / Ertrag	%	10,9	8,0	6,1	35	7,7

Tab. 8: Energieumwandlungsverfahren und Wirkungsgrade.

Umwandlungsverfahren	Wirkungsgrad
Ethanolherzeugung	0-50 %
BtL-Erzeugung	ca. 50 %
Strom- und Wärmeerzeugung über Biogas (Verfahren 1 s. Abb. 8)	ca 45 % (22 % Strom, 23 % Wärme)
Strom- und Wärmeerzeugung über Biogas (Verfahren 2 s. Abb. 8)	ca 70 % (15 % Strom, 55 % Wärme)
Wärmeerzeugung aus trockener Biomasse	ca. 90 %

und 2. die Gesamtenergiemenge aus Biomasse herangezogen. Die in Abb. 8 dargestellte Beziehung zeigt, dass man mit dem in der Tab. 6 ausgewiesenen Biomasseenergiepotenzial je nach Wärmeerzeugungsanteil unterschiedliche Anteile am Gesamtenergiebedarf erreichen kann.

In der Abb. 8 sind auch die absoluten Energiebeträge in Abhängigkeit vom Wärmeenergieanteil angegeben. Bei einer Zunahme des Wärmeerzeugungsanteils von 1 % steigt die Gesamtenergiemenge aus Biomasse um ca. 3 TWh/a.

Bei der Festlegung von Zielvorgaben und Förderungsmaßnahmen sollte man daher stärker die erzielbare Energieeffizienz der Biomassenutzung berücksichtigen.

Das vorrangige Ziel sollte dabei der Ausbau der Wärmenutzung sein. Dies spart auch die indirekten Subventionen, die z. B. bei der Ermäßigung der Mineralölsteuer entstehen. Würde man einen Teil dieser eingesparten Gelder als Anreiz für die Verbesserung der Wärmenutzung (Wärmedämmung etc.) einsetzen, so könnte ein zusätzlicher positiver Effekt erreicht werden. Das Energieeinsparpotenzial wird auf 50 % geschätzt. Bei voller Ausschöpfung des Sparpotenzials liegt die eingesparte Energiemenge von ca. 360 TWh/a so hoch wie die in Abb. 8 ausgewiesene Gesamtenergiemenge aus Biomasse. An einer gesetzlichen Grundlage zur Förderung regenerativer Wärmeenergiequellen wird seitens des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gearbeitet (vgl. Kap. 1).

5 Naturhaushalt und Landschaftsbild

5.1 Grundsätzliche Aspekte zu „Erneuerbare Energien und Landschaftsbild“

Der Ausbau der regenerativen Energien wird das Landschaftsbild verändern. Dies kann landschaftsästhetisch unterschiedlich

wahrgenommen und bewertet werden. So können einerseits sämtliche neuartigen Landschaftselemente als „fremd“ empfunden und emotional abgelehnt werden. Die Geschichte des Naturschutzes bietet hierfür reichhaltiges Anschauungsmaterial (Gebirgsbahnen, Flachdächer, Reklametafeln, Strommasten etc.). Andererseits bietet die Geschichte auch vielfältige Belege für Gewöhnungseffekte.

Bei der Betrachtung und Bewertung der Wirkungen der erneuerbaren Energien und ihrer Technik auf die Landschaft muss daher differenziert vorgegangen werden.

Aufgrund der vielhundertjährigen Tradition war z. B. Wasser die Triebkraft schlechthin. Bauwerke in Gewässern (von denen es in früheren Zeiten ungleich mehr gab als heute), Wind- und Wassermühlen, Krafthäuser, Kanäle und Fallrohre, gehörten zum alltäglichen Bild der Landschaft und wurden und werden sogar „romantisiert“. Durch ihr Alter, ihre Architektur und ihre technische Perfektion sind sie heute Objekte der Technikgeschichte und der Denkmalpflege.

Windräder hingegen, zumal die der jüngeren Generationen, sind neue Landschafts-

elemente, die vertikal hoch aufragen, „herausragen“, deren Rotoren sich bewegen und Geräusche bzw. Lärm erzeugen. Sie sind weithin sichtbar und können, wenn sie in größerer Zahl auftreten, das Bild der Landschaft beherrschen und nivellieren. Der zum Zweck der Akzeptanzbeschaffung häufig herangezogene Vergleich mit alten Windmühlen wird wegen der völlig anderen Dimension dem Anspruch einer sachlichen Auseinandersetzung mit den Vor- und Nachteilen nicht gerecht, da diese mit nur 10-20 m Höhe deutlich kleiner waren und sich nach dem Geschmack vieler Menschen eher in den Horizont einfügen als die heutzutage weit über 100 m hohen Windkraftanlagen (BINSWANGER 1998). Was die Wirkung auf das Landschaftsbild betrifft, sind die Windkraftanlagen am ehesten noch mit Strommasten vergleichbar, die sich allerdings nicht bewegen und keine Geräusche von sich geben, wenn man von den surrenden Tönen der daran hängenden Drahtleitungen absieht. Die Diskussionen um diese Masten werden seit den 1920er Jahren bis auf den heutigen Tag in unterschiedlicher Härte geführt: Sie gehören irgendwie dazu, dennoch sind sie Fremdkörper. Empirische Befragungen von Touristen über die Wahrnehmung von geplanten Offshore-Windparks vor der

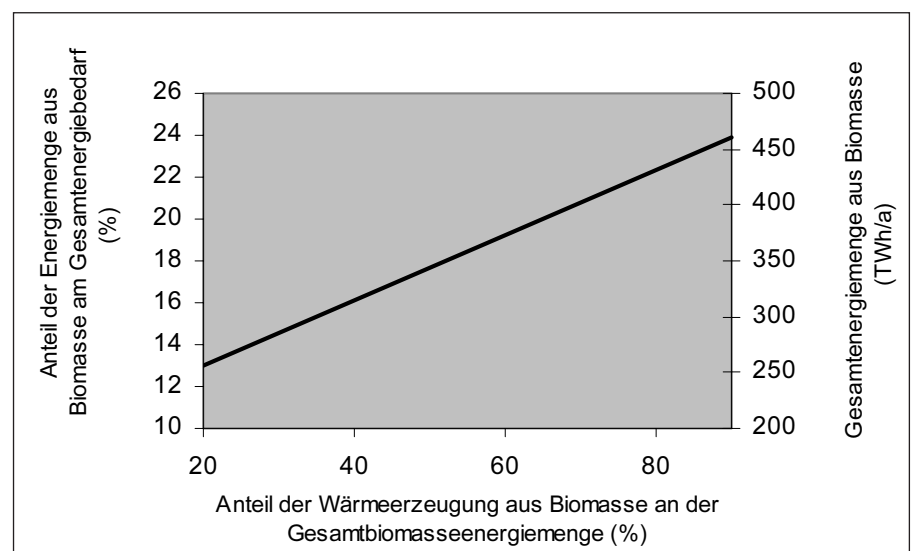


Abb. 8: Einfluss des Anteils der Wärmeenerzeugung auf den Anteil der Biomasseenergiemenge am Gesamtenergiebedarf sowie auf die Gesamtbiomasseenergiemenge (eigene Berechnungen).

Ostseeküste ergaben, dass diese neuartigen Landschaftselemente um so mehr als „störend“ oder „unpassend“ empfunden werden, je weniger sie mit einem bestimmten Landschaftstyp assoziiert werden können. So „gehören“ für die meisten Menschen z. B. Windmühlen nach Norddeutschland und Leuchttürme an die Küste.

Biomasseproduktion wiederum, gleich ob auf dem Acker, auf Grünland oder als Energiewald, verändert das gewohnte Bild von Landschaften. Einige der Arten können enorme Höhen erreichen, so z. B. Mais 3 bis 4 m, Hanf und Chinaschilf bis 4 m. Neue Kulturpflanzen, Wuchshöhen und Farbaspekte hat es immer wieder gegeben; ihre Akzeptanz durch die Menschen ergab sich im Lauf der Zeit. In einem analogen Sinne sollte im Zusammenhang mit der regionalen Leitbildentwicklung erforscht werden, welche Formen des Biomasseanbaus in vertraute Landschaftsbilder und soziale Praktiken integriert werden könnten. Ästhetik, Symbolik und Akzeptanz verweisen hier aufeinander. Besonders günstig im Bereich der Biomasse wären in Hinsicht auf ästhetische und kulturelle Akzeptanz mit hoher Wahrscheinlichkeit Agroforstsysteme¹⁴. „Alley Cropping“ scheint durchaus eine attraktive Option zu sein (GRÜNEWALD et al. 2005). Ebenfalls auf emotionale Akzeptanz stoßen dürften Anbauverfahren, die als „Rückkehr“ zu früheren Formen der Landnutzung (etwa Niederwälder) interpretiert werden könnten und die auch ästhetisch dem verbreiteten Landschaftsempfinden nicht zuwiderlaufen. Ebenfalls unproblematisch wären Verfahren des arbeitsintensiven Abschöpfens von Biomasse in eher traditioneller Form sowie so genannte „Low-input/Low-

output“-Systeme (WICHTMANN & SCHÄFER 2005). Das Abschöpfen von Biomasse könnte auch den wünschenswerten Nebeneffekt der „De-Eutrophierung“ haben. Vorteilhaft ist auch die Verwertung der Biomasse, die bei der Landschaftspflege anfällt (etwa Landschaftspflegeholz und -heu, s. METTE 2005, OECHSNER 2005). Hier geht es in technologischer Hinsicht vor allem darum, Formen der Beimischungen unterschiedlicher Pflanzenstoffe zu entwickeln und die Kraftwerke auf solche unterschiedlichen Mischungen einzustellen.

Wesentlich problematischer dagegen wären in ästhetischer und heimat-/landschaftsbildbezogener Hinsicht vermutlich monotone Anbauflächen exotischer Pflanzen in intensiver Nutzung, die mit hohem technischen Aufwand und geringem Einsatz von Arbeitskraft erzeugt würden. Hier könnten auch Konflikte mit den Zielen des Tourismus auftreten. Bezieht man das Landschaftsbild, die kulturelle Akzeptanz, die Auswirkungen auf Arbeitsplätze im ländlichen Raum, auf den Tourismus und auf Schutzgüter des Naturschutzes etc. in die Urteilsbildung ein, so könnten sich die o. g. Anbauformen als insgesamt „wirtschaftlicher“ erweisen. Ein neuer „Produktivismus“ in der land- und forstwirtschaftlichen Landnutzung ist somit keinesfalls ein Sachzwang, der durch die Biomasseerzeugung gegeben ist.

Fotovoltaikanlagen haben keinen Anschluss an Wahrnehmungsgewohnheiten, sie spiegeln und irisieren, doch liegen sie bei geringer Eigenhöhe mehr oder weniger horizontal in der Landschaft und gelangen nur hier und da ins Blickfeld. Meist befinden

den sie sich auf Dächern und anderen Bauten, so dass eine sinnvolle Mehrfachnutzung gegeben scheint. Freiflächenfotovoltaikanlagen mit ihren großflächigen Stahl-Glas-Bauten sind noch relativ selten erfahrbare, daher gibt es kaum Untersuchungen über ihre Akzeptanz. Derzeit existieren in Deutschland ca. 100 geplante oder auch bereits realisierte Anlagen dieser Art (vgl. Kap. 2.3).

Wahrnehmung und Bewertungen von Landschaftsveränderungen hängen generell davon ab, wie rasch und wie gravierend diese Veränderungen sind und ob und inwieweit die direkt Betroffenen diese Veränderung in ihren Lebensalltag integrieren können. Die landschaftliche Wirkung der erneuerbaren Energieträger und ihrer Technik auf den Menschen hängen also stark von der Kontinuität von Erscheinungsformen und damit von der Kompatibilität mit Wahrnehmungskonventionen ab. So entstehen seit Jahrzehnten allerorten bauliche Konstrukte, die aus dem bisherigen Maßstab herausfallen, die aber oftmals schon nach kurzer Zeit auch ihrer Funktion wegen nicht mehr in Frage gestellt werden. Es tritt der eingangs erwähnte Gewöhnungseffekt ein.

Die Sichtweise der Öffentlichkeit über Wasser- und Windkraftanlagen, Energiewälder (Energieholzplantagen) oder Fotovoltaikfelder kann sich erheblich von derjenigen der Experten („Energiewirte“, Betreiber, Hersteller) unterscheiden, weil die Landschaft nicht durch die Brille der Zweckdienlichkeit gesehen wird, sondern Schönheit, Erinnerung und angenehme Reize projiziert und deswegen auch lebhaft diskutiert wird (LEMKE et al. 2003).

Eine weitere, nicht minder wichtige und von dem Gesagten direkt abhängige Frage ist die nach dem Umgang mit Konstanz (oder Statik) und Dynamik in der Kulturlandschaft. Kulturlandschaft hat sich immer gewandelt, hat Neues aufgenommen und sich zum Teil in ganz drastischer Weise verändert. Wandel wird jedoch in der Öffentlichkeit und auch in der Fachöffentlichkeit vielfach mit Verklammerung assoziiert und deshalb abgelehnt. Andererseits soll Neues geprüft, dann integriert und ge-



Rapsfelder prägen zunehmend das Landschaftsbild (Foto: Konold).

14 Bei der Landnutzungsform Agroforstwirtschaft werden mehrjährige Holzpflanzen (Bäume, Sträucher etc.) mit landwirtschaftlichen Nutzpflanzen kombiniert angebaut und ggf. auch Tiere zur Beweidung gehalten. Die Pflanzenelemente können entweder in räumlicher Anordnung (z. B. Alley Cropping) oder in zeitlicher Abfolge kombiniert werden.

staltet werden, da Kulturlandschaft prinzipiell aufnahmefähig sein soll. Schließlich waren Kulturlandschaften immer Spiegelbild der politischen, wirtschaftlichen und kulturellen Verhältnisse ihrer Zeit. Die Landespflege versucht, zwischen diesen Auffassungen und Empfindungen zu vermitteln und mittels Gestaltungsinstrumenten wie der Landschaftsplanung und –architektur zu einer Vereinbarkeit und Zielharmonisierung von energetischer Nutzung, Erzeugung von Energieträgern und Landschaftsbild beizutragen.

5.2 Folgen der Biomassenutzung

Die Diskussion über die Auswirkungen erneuerbarer Energieträger auf den Naturhaushalt und das Landschaftsbild steht noch am Anfang. Dabei werden die positiv zu wertenden Potenziale (z. B. Extensivierung der Nutzung, Diversifizierung der Landschaft) stark in den Vordergrund gerückt – auch um das Thema schmackhaft zu machen. Doch laufen die betriebswirtschaftlichen Überlegungen und etliche konkrete Aktivitäten in Richtung großflächiger Monokultur und Nivellierung mit einer Dominanz der besten Energielieferanten wie Mais diesen Argumenten entgegen. In wenigen Jahren werden spezielle Sorten für die Energiegewinnung – wie Weiden- und Pappelsorten u. U. mit Hilfe der Gentechnik erzeugt – auf dem Markt sein.

Die Flächeninanspruchnahme für Biomasseerzeugung steigt zurzeit rasant. Es ist daher dringend notwendig, sich mit den Wirkungen auf die Landschaft und auf das biotische Inventar auseinander zu setzen; dies jedoch auf der Grundlage einer prinzipiellen Bejahung der Gewinnung von Wärme, Strom und Treibstoffen aus Biomasse. Es geht nicht um das Ob, sondern um das Wie.

Biomasse wird auch in Mischkulturen produziert, sei es als Mischung von Ackerfrüchten oder als Mischung von Ackerbau und Grünland auf der einen Seite und als Gehölzkulturen auf der anderen Seite. Diese teils neuen, teils gewohnten, teils aber auch alten und vergessenen Formen der Landnutzung sind – mit je spezifischen Effekten auf das Landschaftsbild und die Biodiversität – sicherlich besonders gut geeignet für

- (a) Rekultivierungsflächen in ehemaligen Abbaugebieten, auf Deponien, Halden, auf anderweitigen Rohbodenflächen und auf Stilllegungsflächen, aber auch für
- (b) die Anreicherung/Strukturierung ausgeräumter Landschaften.

Daraus ergibt sich bereits, dass sich die Geometrien dieser neuen Elemente ganz unterschiedlich darstellen können: flächig, linear und punktuell. Darüber hinaus kommen sie zum Einsatz

- (c) dort, wo Grünland und Futterbau unter dem Druck sinkender Milchpreise zurückgehen (z. B. RAAB & RÖSCH 2005 für Baden-Württemberg) und auch
- (d) dort, wo sich die „klassische“ Landwirtschaft aufgrund agrarstruktureller und standörtlicher Nachteile (Grenzertragsflächen) ganz zurückziehen würde, wo sich also auch das Problem der Offenhaltung stellt bzw. gestellt hätte.

Eine gewisse Konzentrierung dieser neuen Nutzungsformen wird sich aller Voraussicht nach außerdem im Umkreis von Biomasse-Kraftwerken und -verarbeitungsanlagen (Raffinerien) – die sich im Übrigen auch auf das Landschaftsbild auswirken – einstellen. Ob die ertragsschwachen Standorte (Grenzertragsstandorte) wirklich vom Energiepflanzenanbau profitieren, wird derzeit kontrovers diskutiert (WICHTMANN & SCHÄFER 2005, RODE & SCHLEGELMILCH in diesem Heft). Langfristig wird erwartet, dass die Grenzertragsstandorte nur dann einen Vorteil durch den Anbau von Energiepflanzen erfahren werden, wenn durch eine gezielte öffentliche Förderung der Ansiedlung von Verarbeitungskapazitäten die Anbauwürdigkeit von Energiepflanzen gegenüber der von Gunststandorten verbessert wird (WERNER et al. 2005).

Natürlich wird, wie gegenwärtig auch, die tatsächliche Flächennutzung zusätzlich bestimmt werden von den einzelbetrieblichen und regionsspezifischen Rahmenbedingungen (Werte, Traditionen, Marktnischen usw.). Es ist dringend zu empfehlen, dass in der Landwirtschaft über regionale und standortbezogene Strategien des Energiepflanzenanbaus diskutiert wird, um seine Vorteile und qualitativen Aspekte für Natur und Landschaft zu nutzen. Dabei müssen sowohl die einzelbetrieblichen bzw. regionsspezifischen, als auch betriebsübergreifende Konzepte berücksichtigt werden.

In den betroffenen Landschaften wird sich neben dem Landschaftsbild auch ihr Arteninventar verändern. Die neuen Landnutzungsformen lassen sich gezielt zur Aufwertung von Landschaften und für landeskulturelle Effekte einsetzen, z. B. Bodenschutz, Windschutz, Beeinflussung der Abflussbildung, Sichtschutz. Welche Auswirkungen sich auf das Mikroklima ergeben, bedarf weiterer Forschung.

Bundesweit gesehen wird die *Biomasse-Erzeugung auf Äckern* die größte Rolle spielen. Verschiedene Kulturarten sind hierfür geeignet (vgl. Kap. 2.1). Auch Mischkulturen in unterschiedlicher Ausprägung sind in der Diskussion (siehe Abschnitt 3.1.1.1). Dies impliziert die Möglichkeit einer großen strukturellen, aber auch farblichen Vielfalt im Raum. Da jede Kulturart auch eine spezifische Begleitflora besitzt, besteht die Chance, Ackerwildkrautgemeinschaften neuen Lebensraum zu geben. Voraussetzung ist, dass der Düngereinsatz auf einem niedrigen Niveau bleibt und Pestizide allenfalls dann zum Einsatz kommen, wenn eine hoch anzusetzende Schadensschwelle überschritten ist. Dies gilt mit besonderer Prägnanz für ertragsschwache Standorte. Das Belassen von Feldrainen, die Neuanlage von linearen Strukturen in und zwischen den Schlägen und die Etablierung von Blühstreifen können erhebliche Effekte für die Förderung der Begleitflora, der Wildflora und einiger Tierartengruppen bringen.

Eine sehr wichtige Aufgabe des Naturschutzes i. w. S. ist die Erhaltung der genetischen Vielfalt bei den Kulturpflanzen. Manche Kulturpflanzen-Art oder -Sorte wurde aus dem Anbau genommen, weil der Anteil der für den Menschen nicht nutzbaren Pflanzenteile zu hoch war. Solche biomassereichen alten Sorten könnten als Energiepflanzen eine Renaissance erleben.

Wenn Kulturpflanzen – Getreide, Ölfrüchte – nicht mehr der menschlichen Ernährung, sondern lediglich der Energieerzeugung dienen, könnte damit auch die Schwelle zum Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen wegfallen; u. a. wird das nicht zutreffende Argument vorgebracht, Energiepflanzen würden ohnehin vor der Blüte geerntet werden, so dass ein Pollenflug gar nicht möglich wäre. Doch das Saatgut der verwendeten Sorten wird auf generativem Wege erzeugt, und in fast allen Kulturen gibt es frühblühende Individuen, deren Pollen verbreitet werden könnte, so dass es zu Kreuzungen mit gentechnisch nicht manipulierten Sorten kommen kann. Auch Bewirtschaftungsfehler können nie ausgeschlossen werden. Dies stellt ein Risiko für Sorten derselben Art dar, die zur Erzeugung von Lebensmitteln angebaut werden. Ferner ist nicht auszuschließen, dass im Zuge der Monopolisierung der Saatguterzeugung auf großer Fläche genetisch identisches Pflanzenmaterial angebaut wird, das gegen Krankheiten anfällig ist und ggf. einen großflächigen Einsatz von Pestiziden erfordert. Aus einem anderen Blickwinkel betrachtet heißt das: Auf

gentechnischem Wege erzeugte Resistenzen gegen Schädlinge und Krankheiten wiederum fördern den großflächigen Anbau von genetisch einheitlichen Sorten.

Energieholzzerzeugung im Kurzumtrieb auf Ackerflächen (Energiewälder):

Diese Nutzungsform steht der ackerbaulichen Nutzung relativ nahe, auch wenn die Bodenbearbeitung in längeren zeitlichen Abständen stattfindet. Kurzumtriebsplantagen sind keine *per se* extensiven Formen der Landnutzung. Um beispielsweise einen Bestand mit Weiden- und Pappelstecklingen begründen zu können, wird ein Totalherbizid eingesetzt (BURGER in diesem Heft). Die Verwendung von Stecklingen kann bedeuten, dass Bestände mit einem engen genetischen Spektrum angelegt werden, die gegenüber Krankheiten und Schaderregern anfällig sind. Um das Ausfallrisiko gering zu halten, sollen daher bei der Begründung von Energiewäldern stets Klonmischungen verwendet werden. Erfahrungen auf Versuchsflächen zeigen, dass Totalausfälle eines Klons aufgrund von Pilzbefall durch die anderen Klone vollständig kompensiert werden können. Im Vergleich zum herkömmlichen Ackerbau (nicht zum Zweikultursystem!) ist die Nitratkonzentration im Sickerwasser der Kurzumtriebsplantagen deutlich reduziert (BURGER 2004).

Schnellwachsende Laubholzarten und -sorten werden für den Kurzumtrieb bevorzugt. Das sind Weiden (z. B. *Salix viminalis*), Aspen- und vor allem Balsampappel-Sorten, die bis zur Erntereife eine Höhe von bis zu 12 m erreichen können. Andere, stockausschlagfähige Baumarten wie Hainbuche, Eiche, Birke, Schwarz- und Grauerle und Sträucher wie die Hasel spielen – im Gegensatz zur Niederwaldwirtschaft – keine Rolle. Auch hier geht der Trend also eindeutig in Richtung Ertragsmaximierung und vegetative Vermehrung. Diese Energieholzproduktion besitzt dennoch gewisse Anklänge an die früher weit verbreitete Niederwaldwirtschaft; hierbei handelt es sich also um kein ganz neues, sicherlich aber gewöhnungsbedürftiges Landschaftselement. Linien- und flächenhaft angelegt, können Energieholzplantagen Landschaften neu prägen, speziell in Landschaften, die für eine Gestaltung neu zur Verfügung stehen (z. B. Bergbaufolgelandschaften). Sie können aber auch Geometrien schaffen, die der Landschaft immanent sind oder waren. Auch punktförmige Anlagen können die Reize einer Landschaft stark erhöhen.

Obwohl die bisher vorliegenden Untersuchungen zur Wirkung auf die Artenvielfalt

(vgl. BURGER in diesem Heft) nur punktuell sind, kommen alle bisher zum Thema durchgeführten Untersuchungen, wie von STETTER & MAKESCHIN (1999) zur Humusentwicklung oder von LIESEBACH et al. (1999) zum Sommervogelbestand und zur epigäischen Wirbellosen-Fauna von Energiewäldern zu für den Naturschutz günstigen Ergebnissen. Der Naturschutzwert von Energiewäldern wurde immer höher eingeschätzt als der von benachbarten, herkömmlich bewirtschafteten landwirtschaftlichen Flächen. Dies ist vor allem unter dem Gesichtspunkt wichtig, dass aktuell die Alternative zum Energiewald i. d. R. nicht der naturnahe Mischwald, sondern der Mais- oder Rapsacker ist. Bei neuen landwirtschaftlichen Nutzungssystemen werden sich jedoch andere Relationen einstellen. Intensive Begleitforschung ist hier notwendig.

Ein Energiewald soll nicht gleichartig aufgebaut sein, sondern muss gemäß der für die jährliche Ernte gewählten Umtriebszeiten aus verschiedenen Altersstadien bestehen. Auf den jeweils zuletzt beernteten Flächen haben dann die lichtbedürftigen Offenlandarten jeweils ihre Chance. Gerade bei den Energieholzanlagen spielen linienhafte, offene Strukturen im Bestand, die Außenrandstrukturen sowie die Anbindung an vorhandene Strukturen in der Umgebung im Hinblick auf Naturschutzeffekte eine große Rolle. Die Anlagen könnten möglicherweise Biotop verbindende Funktionen übernehmen. Entsprechende gesicherte Erkenntnisse sind hier noch abzuwarten.

Die Anlage von Energiewäldern kann zu erheblichen Veränderungen im Landschaftsbild führen. Daher muss die Auswahl der Flächen für Energiewälder, z. B. im Rahmen von Landschaftsplanungen, besonders sorgfältig vorgenommen werden. Die Anlage von Energiewäldern auf Grünlandflächen in Tälern ist kritisch zu sehen.

Energieholzzerzeugung im Kurzumtrieb auf Waldflächen:

Eine weitaus geringere Benachteiligung des Landschaftsbildes bei gleichzeitig hoher Wertigkeit für den Naturschutz stellen *Mittelwälder* dar. Bei dieser Betriebsform wird das Unterholz i. d. R. in einem ca. 30-jährigen Turnus traditionell zur Energieerzeugung genutzt.

Je nach Dichte des Oberholzes, die erheblich schwanken kann, geht der Waldcharakter der Bestände nicht verloren. Für den Naturschutz sind die sich mosaikartig erge-

benden, relativ offenen Flächen besonders interessant. Zu beachten ist allerdings, dass für die Mittelwaldwirtschaft wegen der unterschiedlichen Stockausschlagfähigkeit nicht alle Baumarten gleich gut geeignet sind. Insbesondere die Buche als wichtigste Baumart der potenziellen natürlichen Vegetation in weiten Teilen Deutschlands verträgt diese Art der Bewirtschaftung überwiegend nicht. Geeignet sind hingegen beispielsweise Hainbuche, Linde, Aspe, Esche und auch die Hasel als Strauchart.

Die verstärkte Nachfrage nach Holz für energetische Zwecke sollte dafür genutzt werden, in geeigneten Gebieten und bei entsprechenden Voraussetzungen (u. a. Eigentumsverhältnisse, Erschließung) die Mittelwaldbewirtschaftung zu erhalten bzw. wieder einzuführen. Schonenden Holzernteverfahren ist große Aufmerksamkeit zu widmen.

Im Gegensatz zum Mittelwald unterscheidet sich der *Niederwald* von den Energiewäldern lediglich durch die Rotationsperiode und die verwendeten Baumarten. Er ist daher ähnlich zu bewerten wie die Energiewälder.

Eine vermehrte Holznutzung für energetische Zwecke im *Hochwald* hat eher geringe Auswirkungen auf das Landschaftsbild und wird sich vorwiegend auf bisher wenig nachgefragte Schwachholzsortimente beziehen. Dies eröffnet neue Absatzmöglichkeiten für Land- und Forstwirte und kann somit ein Anreiz sein, dichtständige Nadelwälder zu durchforsten, wodurch ihre Stabilität gegenüber Sturm und Schnee erhöht wird. Für Borkenkäfer bruttaugliche Fichtenwipfel und Fichtenresthölzer können als Beitrag zur Borkenkäferbekämpfung durch den Verkauf von Waldhackgut kostengünstiger beseitigt werden.

Die verstärkte Nutzung von Holz als Energieträger darf gleichwohl nicht zu Lasten von Totholz, Biotopbäumen und anderen naturschutzrelevanten Strukturen gehen. Faules, in Zersetzung befindliches Holz ist aufgrund der geringeren Energiedichte und des höheren Aschegehaltes zur energetischen Nutzung ohnehin wenig geeignet. Doch müssen Altholz und Totholz entstehen können, so dass eine entsprechende Zahl von Bäumen hierfür vorzusehen ist. Durch die Nutzung schwacher Sortimente, die sich möglicherweise erstmals auch finanziell lohnt, ist es möglich, in gleich alten Reinbeständen durch kräftigere Eingriffe den Strukturreichtum zu erhöhen. Solange sich die Biomassenutzung auf frühe Phasen der Bestandsentwicklung be-

schränkt und keine starken potenziellen Biotop- oder Totholzbäume genutzt werden, ist ein Rückgang der Biodiversität daher durch eine umsichtig forcierte Biomassenutzung nicht zu erwarten.

In großem Stil betriebene Biomassenutzung in Wäldern kann unter bestimmten Bedingungen das Nachhaltigkeitsprinzip verletzen und zum Verlust von Bodenfruchtbarkeit führen. Je nach Naturausstattung des betrachteten Flächenausschnitts darf eine über die traditionelle Stammholznutzung hinausgehende Biomassenutzung nur in standortangepasster Intensität stattfinden. Es ist somit generell dafür Sorge zu tragen, dass ein angemessener Anteil der im Wald produzierten Biomasse als Nährstoffpool, als Humusbildner und als Lebensraum erhalten bleibt. Die Möglichkeiten der Ausgleichsdüngung oder der Rückführung der Nährstoffe über Holzasche sind begrenzt. Damit können Nährstoffexporte zwar teilweise ausgeglichen werden, die Verluste an Humusbildung und Lebensraumqualität werden aber so nicht gemildert.

Eine weitere Quelle von energetisch verwertbarem Holz können *Ausstockungen*¹⁵ auf naturschutzfachlich wertvollen Flächen sein, deren Überschirmungs- und damit Beschattungsgrad eine kritische Schwelle in Bezug auf das Schutzziel überschritten hat. Erste Untersuchungen im Südschwarzwald deuten an, dass durch den Erlös aus dem Holz (zum Beispiel für Hackschnitzel) zumindest die Kosten für die Landschaftspflege gesenkt werden können. Auch bei der Pflege von verbuschenden Mooren, Feuchtgrünländern, Heiden und Magerrasen fällt Biomasse an, die sich energetisch verwerten lässt. Ob dies konsequent geschieht, ist vor allem ein logistisches und ökonomisches Problem. Eine andere Möglichkeit, Energieholz zu erzeugen, ohne vertraute Landschaftsbilder aufgeben zu müssen, ist die bereits erwähnte Anlage von *Hecken*, die die Landschaft gliedern sowie strukturelle und tropische Funktionen übernehmen können.

Die Biomasseentnahme aus Hochwäldern und die Biomasseerzeugung mit speziell dafür angelegten Gehölzbeständen – etwa mit Pappelklonen – einerseits und die Aufgabe der Nutzung im Zuge von Zertifizierungen oder in Naturwaldreservaten andererseits deuten einen Trend an, der eine Abkehr von der viel beschworenen Multifunktionalität des Waldes auf ein und derselben Fläche bedeutet. Man muss dies nicht als Verlust eines identitätsstiftenden Paradigmas sehen, sondern kann es auch als einen seit Jahren ablaufenden Prozess anerken-

nen und versuchen, diesen bewusster zu gestalten. Auch kann und muss die Frage gestellt werden, ob man Multifunktionalität nicht eher in einem Raum-Zeit-Kontext sehen muss, wo auf großer Fläche Zustände, Nutzungen und Funktionszuweisungen wandern – vergleichbar dem Mosaik-Zyklus in Naturwäldern (KONOLD 2006).

Grünland als Ganzes gesehen ist in Mitteleuropa hoch divers bezüglich seiner Artenzusammensetzung, Struktur und spezifischen räumlichen Verteilung. Der Flächenrückgang in den letzten Jahrzehnten war jedoch erheblich. Damit sind auch Verluste naturschutzfachlicher und landschaftsästhetischer Wertigkeit verbunden (VOHWINKEL 2005). In Nordrhein-Westfalen beispielsweise hat sich die Grünlandfläche von 1954 bis 2003 von ca. 730.000 ha auf knapp 433.000 ha verringert (Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten NRW 2005). Bei allen Überlegungen über die Biomasseproduktion spielt das Grünland eine bedeutsame Rolle. In manchen Gebieten, insbesondere so genannten absoluten Grünlandgebieten, scheint diese Art der Landnutzung eine große Zukunft vor sich zu haben, auch weil damit das aus der Bewirtschaftung ausscheidende Grünland erhalten werden könnte. Zu einer rentablen Energie-Erzeugung benötigt man allerdings energiereichen Aufwuchs von Fettwiesen¹⁶, also nicht das Mähgut von ertragsschwachen, rohfaserreichen, kräuter- und damit blütenreichen Magerwiesen. Deren Erhaltung, die aus Naturschutzsicht nachdrücklich gefordert wird, würde also durch energetische Biomasse-Nutzung nicht gewährleistet; es wird aber befürchtet, dass zu deren Gunsten eine Intensivierung solchen Grünlandes mit der Folge erheblicher Artenverarmung versucht wird, auch wenn sie sich nicht als rentabel erweisen dürfte. Dann wäre dieses Grünland genau so von Nutzungsaufgabe, Verwaldung oder Aufforstung bedroht wie die Magerwiesen und -weiden, die weder intensiviert noch weiter bewirtschaftet werden. Das heißt, dass intensivierbares Grünland auch intensiviert und damit artenärmer wird, während das nicht intensivierbare, für die Biomasse-Erzeugung weniger taugliche Grünland wie seither von Nutzungsaufgabe und Brache oder von Aufforstung bedroht sein kann.

Gerade der Biomasse-Boom in der Grünlandwirtschaft bedarf einer intensiven naturschutzfachlichen Begleitung und Planung, um den Verlust des artenreichen Grünlandes nicht zu beschleunigen. Der DRL sieht hinsichtlich der Biomasse-Er-

zeugung und -Nutzung beim Grünland den größten Forschungs- und Handlungsbedarf und fordert höchste Sensibilität im Umgang mit der ökologischen und kulturellen Vielfalt unserer Wiesen und Weiden, Rasen und Triften.

5.3 Folgen der Windkraftnutzung

HÖTKER et al. (in diesem Heft) haben nach einer Auswertung einschlägiger Studien als Auswirkungen von Windkraftanlagen auf dem Land auf Vögel und Fledermäuse verschiedenartige Störungen und eine Erhöhung der Mortalität festgestellt. Negative Wirkungen wurden für Brutbestände von Watvögeln sowie für rastende Vögel, insbesondere Gänse und wiederum Watvögel ermittelt. Auf brütende Singvogelarten schienen Windkraftanlagen keine negative, sondern z. T. sogar eine positive Wirkung zu haben. Eine generelle Tendenz der Gewöhnung von Vögeln an Windkraftanlagen wurde nicht beobachtet. Kollisionen bei Vögeln und Fledermäusen stehen in engem Zusammenhang mit dem jeweiligen Lebensraum: Für Vögel erwiesen sich Windparks in Feuchtgebieten und auf kahlen Gebirgsrücken, für Fledermäuse Windräder in der Nähe von Wäldern und Gehölzbeständen als besonders gefährlich. Die Kollisionsrate stieg jeweils mit der Anlagengröße.

Als Todesursachen für Fledermäuse werden neben Kollision/Rotorschlag, Verwirbelungen durch Druckunterschiede auch Druckunterschiede und Quetschungen durch das Eindringen der Tiere in die Anlagen-Gondeln genannt (z. B. TRAPP et al. 2002 zit. in BRINKMANN 2004, BACH 2003 zit. in BRINKMANN 2004, BRINKMANN 2004, KUSENBACH 2005, BRINKMANN et al. 2006).

Neben der letalen Wirkung können Windkraftanlagen auf dem Land aber auch zu einem Ausweichverhalten bzw. einer Meidung der Standorte durch Vogel- und Fledermausarten und somit zu einem Verlust von Rast- oder Jagdgebieten führen.

Darüber hinaus werden von betroffenen Anliegern aber auch Belästigungen durch Eisabwurf (Verkehrgefährdung) sowie andere mit der Errichtung der Anlage im Zusammenhang stehende Schädigungen

¹⁵ Entnahme von Bäumen/Sträuchern.

¹⁶ „Je höher der Futterwert, desto höher der Gasertrag in der Biogasanlage“ (LEMMER & OECHSNER 2002, zit. nach RODE 2005).

(Minderung des Grundstückwertes für Besucher, Ausbleiben von Touristen) genannt.

Die Realisierung der erforderlichen Netzanbindung von Offshore-Windenergieanlagen kann negative ökologische Auswirkungen haben. Bei der Verlegung der Kabel (durch Eingraben oder Einspülen) kann es zu erheblichen Beeinträchtigungen des Meeresbodens und seiner Bewohner kommen. Bei laufendem Betrieb kann sich in der Umgebung der Kabel der Untergrund erwärmen. In Abhängigkeit von Untergrund, Dauer der ununterbrochenen Auslastung und Kabeltechnik können bei einer Eingrabetiefe von einem Meter die bodennahen Schichten um 17 K erwärmt werden. Da die Kabel große Anteile an Kupfer und Blei enthalten, könnte es bei Dauerbetrieb zu einer Schwermetallbelastung der Umgebung kommen. Elektrotechnische Beeinträchtigungen von Fischen durch Kabel sind vermutlich durch die Wahl geeigneter Übertragungstechniken minimierbar.

Schweinswale und Seehunde sind die am häufigsten vorkommenden Säugetiere in den deutschen Meeresgebieten. Da sich die Schweinswale unter Wasser vor allem durch Ultraschall-Ortung orientieren, sind sie besonders empfindlich gegenüber Unterwasserlärm. Die Betriebsgeräusche der Offshore-Windparks und der Baulärm könnten Verhaltensänderungen, aber auch körperliche Schäden hervorrufen. Die Tiere könnten durch die Störungen auch aus ihren Nahrungs- und Aufzuchtgebieten vertrieben werden oder durch vermehrten Stress einen schlechteren Allgemeinzustand haben. Ähnliches gilt für die Seehunde. Sie haben ein feines Gehör, orientieren sich aber im Zusammenspiel ihrer Ohren, Augen, Barthaare und ihres Geschmacksinns. Es ist zu vermuten, dass sie vor allem durch den starken Baulärm sowie durch vermehrten Schiffs- und Hubschrauberverkehr zu den Windparks beeinträchtigt werden (KELLERMANN 2004).

Die Flughöhe ziehender Vögel über der Deutschen Bucht und der Ostsee ist deutlich niedriger als über dem Festland und bewegt sich größtenteils in der Höhe der potenziellen Windenergieanlagen. Mögliche Maßnahmen zur Vermeidung von Vogelschlag wie Ausstattung der Anlagen mit einem adaptiven Beleuchtungskonzept oder kurzzeitiges Abschalten in „gefährlichen“ Massenzugnächten werden derzeit geprüft (HÜPPOP et al. 2006).

Der Lebensraum des Meeres-Benthos wird durch Überbauung zerstört. Die Einbringung von Hartsubstraten kann eine Verän-

derung der Artendiversität nach sich ziehen. Nach der Plattformgründung verändert sich in deren unmittelbarem Umfeld die Zusammensetzung der Weichbodenfauna. Dies geht mit einer Verringerung der Arten- und Individuendichte sowie dem Totalverlust einiger typischer Weichbodenbewohner einher. Die Fundamente der Plattformen wirken zugleich als künstliches Riff, an dem ein großer Zuwachs an Biomasse zu erwarten ist. Von der Einstellung eines Gleichgewichtsstadiums kann bislang noch nicht ausgegangen werden (OREJAS et al. 2005).

Die Erhaltung der Vielfalt, Eigenart und Schönheit der Landschaft auch als Erlebnis- und Erholungsraum des Menschen ist als Ziel und Grundsatz des Bundesnaturschutzgesetzes von herausragender Bedeutung. Der Charakter einer Landschaft wird von natürlichen und anthropogenen Elementen bestimmt. Die Entwicklung der Kulturlandschaft ist ein offener, eng mit dem gesellschaftlichen Wandel verknüpfter Prozess (vgl. BMVBW & BBR 2005). Die erneuerbaren Energieträger tauchen, z. B. in Form von Windkraftanlagen, zunehmend im Landschaftsbild auf und werden teils auch als Erhöhung der Strukturvielfalt (SCHINDLER 2005) und als Bestandteil der Eigenart einer Landschaft wahrgenommen. Gemäß Bundesnaturschutzgesetz kann einer Erhöhung der Vielfalt nur unter Beachtung und Bewahrung der landschaftlichen Eigenart und Schönheit zugestimmt werden. Unstrittig tragen Windkraftanlagen als bauliche Anlagen mit der dazu gehörenden Infrastruktur zur Technisierung und zur Nivellierung des Landschaftsbildes und punktuell auch zur Versiegelung der Landschaft bei. Windparks mit Küstenentfernungen von deutlich mehr als 30 km werden nur bei guten Sichtbedingungen wahrgenommen. Die von ihnen ausgehende Störung des Landschaftsbildes wird als hinnehmbar eingeschätzt. Systematische Kriterien zur Bewertung des Landschaftsbildes sind nützlich, um das Schutzgut Landschaftsbild bei der Standortsuche für Windkraftanlagen stärker berücksichtigen zu können (z. B. NOHL 1996, ADAM et al. 1986, KÖHLER & PREISS 2000, GERHARDS 2003, HOFFMANN & AMLING 2005). Plausible und anerkannte Verfahren liegen derzeit nicht vor. Bei solchen Verfahren ist nutzerabhängig und nutzerunabhängig vorgehen.

Der optische Eingriff durch Windkraftanlagen kann allerdings durch den Abbau der Anlage vergleichsweise leicht rückgängig gemacht werden. Im Zuge des angestrebten

Repowerings können Standorte, die aus naturschutzfachlicher oder betriebswirtschaftlicher Sicht für Windräder ungeeignet sind, aus der Nutzung genommen werden. Dabei ist aber zu beachten, dass der Ersatz kleinerer, der Landschaft einigermaßen angepasster Windkraftanlagen durch erheblich höhere, großrotorige und daher auf größere Entfernungen sichtbare Windräder das Landschaftsbild u. U. auch stärker beeinträchtigen könnte. Wird beim Repowering die Gesamtleistung eines Windparks nicht gesteigert, kann die Anlagenzahl hierdurch reduziert werden. Dies hätte positive Effekte für Vögel und Fledermäuse. Bei einer Erhöhung um das 1,5-fache oder mehr ist nach HÖTKER et al. (in diesem Heft) allerdings mit negativen Auswirkungen zu rechnen.¹⁷

Der nach wie vor große Bedarf an ökologischer Begleitforschung zur Untersuchung der Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Natur und Umwelt wird derzeit u. a. in einem Offshore-Testfeld für 12 Anlagen 45 km nördlich von Borkum realisiert (BMU 2006b). Dort sollen 5 MW Windturbinen unter Hochseebedingungen getestet werden. Im Sommer 2005 haben alle für die Offshore-Windenergie relevanten Unternehmen und Verbände die „Stiftung der deutschen Wirtschaft zur Nutzung und Erforschung der Windenergie auf See“ (Offshore Stiftung) gegründet, die den Rahmen für diese Forschungen setzt. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse müssen rasch geprüft und in die Planung sowie in Ausgleichsmaßnahmen einfließen.

Weil neben den Klimaschutzaspekten u. a. auch die Ziele der Landespflege und der Biologischen Vielfalt durch eine nachhaltige naturverträgliche Energieversorgung erreicht werden sollen, sind Aspekte zur Entwicklung und Umsetzung von Strategien zur Konfliktverminderung und Steuerung der verschiedenen Raumansprüche notwendig. Daher muss nach Auffassung des DRL auch die ökologische Begleitforschung bei der Entwicklung neuer Nutzungsformen und Technologien zur Energiegewinnung grundsätzlich ein wichtiger Bestandteil in der Forschung sein.

5.4 Folgen der Solarenergienutzung

Insbesondere Fotovoltaikfreiflächenanlagen (PV-Freiflächenanlagen) wirken sich auf Natur und Landschaft aus. Viele Konflikte mit dem Natur- und Landschaftsschutz werden jedoch von vornherein vermieden, da die Vergütungsregelung des EEG nur Freiflächenanlagen im Geltungsbereich eines Bebauungsplanes mit der

Vorgabe erfasst, dass es sich um versiegelte Flächen, Konversionsflächen aus wirtschaftlicher oder militärischer Nutzung (z. B. ehemalige Kasernenanlagen oder militärische Freiflächen) oder Grünland mit vorheriger Nutzung als Ackerland handelt (§ 11 (4) EEG).

Dadurch soll sichergestellt werden, dass naturschutzfachlich wertvolle Flächen nicht überbaut werden und durch Beteiligung der Öffentlichkeit eine große Akzeptanz erreicht wird. Vor der Zulassung einer PV-Freiflächenanlage müssen außerdem die Anforderungen der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung und ggf. der UVP im bauplanungsrechtlichen Verfahren erfüllt sein. Dabei sind die Möglichkeiten zur Vermeidung und Kompensation der Auswirkungen zu berücksichtigen (ARGE Monitoring PV-Anlagen 2005).

Folgen der Errichtung von Fotovoltaik-Freiflächenanlagen können sein (s. auch LEICHT in diesem Heft):

- Flächenumwandlung und -umnutzung je nach Ausgangssituation mit für den Naturschutz positiver oder negativer Wirkung, z. B. von intensiv genutztem Acker zu extensiv genutztem Grünland (positiv) oder Nutzung einer lange unberührt gebliebenen, naturschutzfachlich wertvollen Konversionsfläche (negativ). Die Nutzung von Ackerflächen kann auch nachteilig sein, wenn es sich um Rast- und Nahrungsgebiete von Zugvögeln handelt (ARGE Monitoring Fotovoltaik-Anlagen 2005).
- Veränderung der mikroklimatischen Verhältnisse durch Überdeckung des Bodens durch die Solarmodule, z. B. mehr Beschattung, unterschiedliche Niederschlagsverhältnisse.
- Mögliche Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und damit des Erholungswertes einer Landschaft durch die großflächigen technischen Einrichtungen/Infrastruktur sowie durch optische Effekte.

Fotovoltaik-Freiflächenanlagen können aber auch einen Mehrwert für Flora und Fauna schaffen, wenn genutzte Flächen durch gestaltende Landschaftspflegerische Begleitpläne qualitativ aufgewertet werden (KRANE 2004, LEICHT in diesem Heft).

In Hinblick auf die Auswirkungen von PV-Freiflächenanlagen auf Natur und Landschaft besteht in noch vielen Fragen Forschungsbedarf:

Von großflächigen Solaranlagen ist nicht bekannt, wie sie sich auf Brut-/Zugvögel und andere Tiere und Pflanzen in der Um-



Fotovoltaikanlage Hemau in Bayern (Foto: BfN).

gebung auswirken, ob sie z. B. eine Scheuchwirkung ausüben oder es zu Anflugopfern kommt. Auch die möglichen Auswirkungen der Verspiegelung der Landschaft bedürfen weiterer Untersuchungen. Ebenfalls kritisch zu hinterfragen sind die z. T. massiven Einzäunungen der Anlagen (ARGE Monitoring Fotovoltaik-Anlagen 2005), die die Durchlässigkeit der Landschaft vermindern.

5.5 Folgen der Wasserkraftnutzung

Den unbestreitbaren Vorteilen der Energiegewinnung aus Wasserkraft als einer der klassischen erneuerbaren Energien stehen Nachteile für die betroffenen aquatischen und terrestrischen Ökosysteme entgegen. Dies gilt vor allem in Hinblick auf die generellen Anforderungen z. B. der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie, die einen guten ökologischen Zustand einfordert, soweit nicht wichtige Gründe dem entgegenstehen. Daher ist es schwierig, eine generelle Bilanzierung der ökologischen Vor- und Nachteile vorzunehmen. Vielmehr gilt es, auf der funktionalen Ebene von Fließgewässersystemen einzelne Wasserkraftanlagen jeweils in ihrer Wirkung an und um den jeweiligen Standort sowie in der longitudinalen und lateralen Ausrichtung des Gewässers zu betrachten.

Kritischster Punkt ist vielfach die Veränderung der longitudinalen Durchgängigkeit infolge der Querabriegelung des Gewässers durch die Wasserkraftanlage. Sie verhindert vor allem die im Lebenszyklus von Fischen, aber auch für wirbellose Tiere erforderlichen Migrationsbewegungen. Es

kommt durch die Barrierewirkung zu einem deutlichen Artenverlust in oberhalb gelegenen Gewässerabschnitten für die aufwandernde Fischfauna, bei mehrfach gestauten Fließgewässern mit Wasserkraftnutzung aber auch zu einer sich mit jeder Anlage erhöhenden Schädigung abwandernder Spezies im ökologischen Funktionsraum des Gewässereinzugsgebiets. Technische Anlagen zur Wiederherstellung der longitudinalen Durchgängigkeit in Form von Fischaufstiegsanlagen zielen primär auf die Fischfauna, wirken sich aber auch insgesamt positiv auf die Möglichkeiten der Migrationsbewegungen aller Arten aus. Hierzu sind technische Lösungen verfügbar, wobei in der praktischen Umsetzung weiterhin oft noch gravierende Fehler bei Planung, Auslegung, Anordnung, Bau und Betrieb gemacht werden. Besonders die Abwärtsdurchgängigkeit bei Wasserkraftanlagen ist für erwachsene Fische ein bisher nicht befriedigend gelöstes technisches Problem. Aus ökologischer Sicht ist die nur auf einzelne Arten ausgerichtete Diskussion der Wiederherstellung der Durchgängigkeit von Fließgewässern nicht zu rechtfertigen. Die offensichtlich weiterhin vorhandene Symbolkraft einzelner Arten (insbesondere Lachs und Aal) wird der eigentlichen Zielsetzung, der Schaffung von Habitaten für eine standortgerechte Biodiversität, nicht gerecht.

17 Es handelt sich hierbei um Modellrechnungen, die auf sehr wenigen untersuchten Fällen beruhen. Die zugrunde liegenden mathematischen Beziehungen sind statistisch nicht gesichert (ebd.).

Vor diesem Hintergrund ist neben dem Aspekt der Durchgängigkeit von Gewässersystemen der Lebensraumverlust durch die gestauten Fließgewässerabschnitte der zweite wesentliche Nachteil bei der Wasserkraftgewinnung. In Stauhaltungen mit dem Fehlen der für Fließgewässer typischen Strömung kann sich die Biozönose erheblich verändern, außerdem tritt vielfach noch eine zusätzliche Erwärmung, Sedimentbildung und Nährstoffanreicherung mit Eutrophierungserscheinungen durch längere Verweilzeit des Wassers auf. Zusätzlich ist in der lateralen Ausrichtung des ökosystemaren Funktionsraums der Verlust der Aue und auch benachbarter, grundwasserabhängiger Ökosysteme infolge des veränderten Grundwasserspiegels ein signifikanter Eingriff in vorhandene Habitatstrukturen. Hier sind bei der Bewertung neben der Länge des gestauten Fließgewässerabschnittes dessen Lage im Fließgewässersystem hinsichtlich seiner morphologisch-hydrologischen und biologischen Zonierung und seiner Anbindung bzw. Überwindbarkeit an intakte Habitatstrukturen im Sinne des Biotopverbunds von Bedeutung.

Ein weiteres Problem stellt die Veränderung der vom Fließgewässer abhängigen Ökosysteme oberhalb und unterhalb des Absperrbauwerkes dar. Während im Oberwasser stillwasserähnliche Verhältnisse entstehen, muss im Unterwasser vor allem die verstärkte Erosion wegen des im Stau festgehaltenen Geschiebes als negative Beeinflussung des Gewässers gesehen werden. Darüber hinaus ist je nach Art des Staus eine signifikante Veränderung der natürlichen Abflussdynamik zu beachten: Bei Speicheranlagen werden die Abflussspitzen des Hochwassers vielfach gezielt gekappt, diese sind aber für die Transport- und Umlagerungsvorgänge im Gewässerbett sowie die ökologische Anbindung von Habitaten in Auen, Alt- und Nebenarmen essenziell. Verschärft wird das veränderte Abflussregime durch mit der Wasserkraftnutzung vielfach verbundene Schwall- und Sunkeffekte¹⁸.

Daraus wird deutlich, dass bei der Bewertung von Standorten für die Wasserkraftgewinnung neben den Maßnahmen zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit ein Augenmerk darauf gelegt werden muss, inwieweit Habitatstrukturen im gesamten natürlichen Gewässereinzugsgebiet abgeschnitten, verändert oder wieder erschlossen werden können.

Bezüglich der Unterscheidung zwischen großen und kleinen Anlagen werden aus

ökologischer Sicht beide Anlagentypen gleich bewertet; betrachtet man den Aspekt *Wirtschaftlichkeit* bzw. *Kosten-Nutzen-Analyse* schneiden die kleinen Anlagen viel schlechter ab, da die Kosten zur Erhaltung oder Wiederherstellung der ökologischen Funktionsfähigkeit im Verhältnis zum Anlagenenertrag sehr hoch ausfallen. Nimmt man also in Kauf, dass der Zustand der Fließgewässersysteme durch die Wasserkraftnutzung beeinträchtigt wird, so sollte bedacht werden, dass 90 % aller Wasserkraftanlagen kleine Anlagen sind, aber nur 10 % des mit Wasserkraft erzeugten Stroms liefern.

6 Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen

Für Biomasse, Solarenergie und Wasserkraft lassen sich kaum gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen nachweisen. Für die Windkraft stellt sich dies anders dar. Die sprunghafte Errichtung von Windkraftanlagen in den letzten Jahren wird von den Anliegern oftmals sehr kritisch beurteilt. Gegen die Errichtung von Windenergieanlagen werden von den betroffenen Bürgern vor allem folgende ernstzunehmende Befürchtungen geäußert:

- Geräuscentwicklung und Infraschall (niederfrequente Schwingungen, < 16 Hz),
- Schattenschlag und so genannter Diskoeffekt,
- Optische Beeinträchtigung als negative Wirkung auf das Wohlbefinden (Verunstaltung des Landschaftsbildes, vgl. Kap. 5.1 und 5.3).

Die von Windenergieanlagen ausgehende Geräuscentwicklung und das damit verbundene Auftreten von Infraschall werden von der Nachbarschaft häufig als erhebliche Belästigung empfunden. Während Lärmmessungen heutzutage standardmäßig überall durchgeführt und bewertet werden können, kann der Infraschall bisher nicht flächendeckend mit der üblichen Messtechnik erfasst werden; es existiert in Deutschland nur eine feste Messstation (Bayerischer Wald), darüber hinaus gibt es vier mobile Messstationen.

Die Zumutbarkeit der von Windenergieanlagen ausgehenden Lärmimmission richtet sich nach den Kriterien der technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm). Danach darf der von einer technischen Anlage ausgehende Schall in reinen Wohngebieten nachts nicht lauter als 35 dB(A) sein (allgemeines Wohngebiet 40 dB, Dorf- und Mischgebiet 45 dB, Ge-

werbegebiet 50 dB, Industriegebiet 70 dB). Diese Werte können i. d. R. durch die Einhaltung von ausreichenden Abständen zu Siedlungsbereichen eingehalten werden; ggf. kann nachts die Geschwindigkeit der Rotorblätter gesenkt werden, von denen der Lärm ausgeht. Für nach dem Baurecht nicht festgesetzte Gebiete (z. B. Einzelgehöft im Außenbereich) werden nach aktueller Rechtsprechung die Werte für Mischgebiete angesetzt. Wenn der hier vorgegebene Grenzwert nicht überschritten wird, ist nach der gültigen Rechtsprechung den im Außenbereich wohnenden Anwohnern der durch die Anlagen entstehende Lärmpegel zuzumuten, auch wenn die Umgebung ihres Hauses sonst besonders ruhig ist. Bei einer besonders ruhigen Wohnlage ist aber der mit der Geräuscentwicklung einer Windkraftanlage verbundene Belästigungseffekt evident und damit als besonders relevant einzustufen.

In der Öffentlichkeit werden mögliche Gesundheitsbeeinträchtigungen durch den Infraschall lebhaft diskutiert. Zusammen mit der Geräuscheinwirkung werden hier von den Windkraftgegnern immer wieder Augenbeschwerden, Blutdruckbeeinflussungen, Depressionen, Durchblutungsstörungen, Epilepsie, Beeinflussung des endokrinen Systems, Veränderungen der Erythrozyten, Gleichgewichtsstörungen, Veränderungen der Herzschlagfrequenz und viele weitere Symptome und Erkrankungen genannt. Abgesehen davon, dass diese vor allem dem Infraschall zugeschriebenen Wirkungen in ihrer Mannigfaltigkeit und in der Vielzahl der betroffenen Organe medizinisch schwer nachvollziehbar sind, fehlen bisher entsprechende wissenschaftlich begründete Daten für diese Behauptungen. Allerdings gibt es bisher praktisch keine Untersuchungen, die sich speziell mit der hier vorliegenden Exposition beschäftigen haben. Da die Wahrnehmung und Wirkung von tieffrequenten Geräuschen deutlich von denen der mittel- oder hochfrequenten Geräusche abweicht und hier die Körperschallausbreitung im Vordergrund steht, wird die kontroverse Diskussion über die Bewertung des Infraschalls – vergleichbar der Diskussion um den Elektromog – weiter andauern, solange sich die Forschung hiermit nicht intensiv beschäftigt.

¹⁸ Schwall und Sunk sind hydraulische Phänomene von kurzzeitigen, ggf. auch sich überlagernden Schwankungen des Wasserspiegels und -abflusses, die in offenen Gerinnen infolge Öffnen und Schließen von Schleusen, Schiebern, Pumpen, Turbinen oder Wehren auftreten (MORGENSCHWEIS, 2003).

Besonders belästigend wird von den Anwohnern von Windenergieanlagen der flackernde Schatten des drehenden Rotors empfunden, vor allem bei zu geringem Abstand und ungünstiger Position. Der „Diskoeffekt“ bezeichnet demgegenüber Lichtreflektionen durch die Rotorblätter, er wird häufig mit dem Schattenwurf des Rotors verwechselt. Bei Schattenwurf und Diskoeffekt besteht (theoretisch) die Möglichkeit, dass es bei bestimmten vorbestehenden (neurologischen) Erkrankungen (z. B. Epilepsie) zu einer Verschlimmerung bzw. zur Auslösung von Anfällen kommen kann. Wegen der besonderen Belästigung sowohl durch den Schattenwurf als auch durch den Diskoeffekt hat der Gesetzgeber deshalb mit einer Reihe von Regelungen reagiert. So darf nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz der Schattenwurf einer (neuen) Windenergieanlage auf (bestehende) Wohnhäuser nicht mehr als 30 Stunden pro Jahr betragen. Es gibt heute Windkraftanlagen, die mit einer sonnenstand- und wetterabhängigen Schattenwurfregelung ausgerüstet sind. Als Faustregel für eine problemlose Aufstellung gilt ein Abstand von 500 m zum nächsten Wohnhaus, da dann der Schattenwurf bei ungünstigster Position und unbedecktem Himmel nur während insgesamt etwa 20 Stunden pro Jahr auftreten kann. Zur Vermeidung des Diskoeffekts hat sich die Verwendung von nicht reflektierender Farbe durchgesetzt und auch bewährt. Er spielt daher bei der Abstandsbestimmung keine Rolle mehr.

7 Räumliche Planung

Das politische Leitbild der Bundesregierung für die Raumordnung sieht vor, dass mit Energie sparsam umgegangen, der künftige Energiemix möglichst wirtschaftlich, nachhaltig umweltverträglich und preiswert Wirtschaft und Bevölkerung zur Verfügung stehen und der Anteil erneuerbarer Energien gesteigert werden soll. Dieses Leitbild findet sich inzwischen auch in den Rechtsgrundlagen der Landesplanung, z. B. der Bundesländer Bayern, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Nordrhein-Westfalen und Sachsen.

Aufgrund ihrer vielfältigen Auswirkungen auf die Natur- bzw. Kulturlandschaften ist zur Umsetzung eines solchen Leitbildes eine offene und breite Diskussion über Chancen und Risiken der Energieausbaupfade erforderlich. Dies betrifft sowohl die räumliche Gesamtplanung als auch die Umweltplanungen, um die verschiedenen, bisher häufig eher sektoral betrachteten Aspekte vor allem der energetischen Biomasse-, Windkraft-, Solar- und Wasser-

kraftnutzung, aber auch der Geothermie, einer raumbezogenen, integrierten Betrachtung zu unterziehen.

Räumliche Planung ist die Planung auf der Grundlage des Raumordnungsgesetzes des Bundes, der Landesraumordnungsgesetze mit der Landes- und Regionalplanung und auf der untersten Planungsebene die Bauleitplanung mit dem Flächennutzungs- und dem Bebauungsplan. Sie ist das Ergebnis der Abstimmung und des guten Zusammenspiels mit Fachplanungen, z. B. der Landschaftsplanung, Umweltplanungen nach dem Immissionsschutzrecht oder dem Abfallrecht, wasserwirtschaftlichen Planungen u. a. m. Aufgabe der räumlichen Planung in Zusammenhang mit Energie allgemein ist die Suche und Auswahl geeigneter Standorte für raumwirksame (Energie-)Anlagen¹⁹ nach Abwägung mit anderen Nutzungsansprüchen an den Raum.

Der § 7 (4) Satz 1-3 des Raumordnungsgesetzes des Bundes ermöglicht den Ländern die Ausweisung bestimmter Gebiete als Vorrang- (bestimmte raumbedeutsame Funktionen oder Nutzungen haben Vorrang), Vorbehalts- (bestimmte raumbedeutsame Funktionen oder Nutzungen können bei der Abwägung mit konkurrierenden raumbedeutsamen Nutzungen besonderes Gewicht erhalten) oder Eignungsgebiete (bestimmte raumbedeutsame Maßnahmen, die städtebaulich nach § 35 BauGB zu beurteilen sind, wie Wind- oder Wasserkraft- und Biogasanlagen und an anderer Stelle ausgeschlossen werden), was an anderer Stelle den Ausschluss bedeuten kann. Von diesen Möglichkeiten haben die Länder in ihren Regionalplänen, die gleichzeitig der Plan-Umweltverträglichkeitsprüfung entsprechen und deren Aussagen zu übernehmen sind, auch für den Bereich Energie Gebrauch gemacht.

Auf den Ebenen der Landes- und Regionalplanung ist vorausschauend zu berücksichtigen, dass eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien mit einer Zunahme großräumiger und intensiver Flächennutzungen sowie – bei wachsender Bedeutung energetisch effizienter Ver- und Entsorgungseinheiten – auch mit der Zunahme dezentraler Strukturen vor allem in ländlichen Räumen einhergehen wird. Vermehrte Nutzungskonflikte in der Fläche auf der einen und vermehrt dezentrale Wirtschaftskreisläufe auf der anderen Seite werden die Folge sein. Sie werden zukünftig dynamische Veränderungen in den räumlichen Strukturen und Nutzungen maßgeblich prägen, die der raumordneri-

schen Steuerung und Koordinierung bedürfen. Die Raumplanung wird sich auch verstärkt mit den zu erwartenden demografischen Veränderungen und deren sozioökonomischen Folgen in den Regionen befassen und diese berücksichtigen müssen. Damit aber die Landes- und Regionalplanung der Sicherung der vielfältigen Raumfunktionen durch die vorausschauende Bewirtschaftung räumlicher Ressourcen im Spannungsfeld zunehmender Nutzungskonflikte dienen kann, bedarf es seitens der Landesplanung einer weiteren Überprüfung und feineren Ausgestaltung der bestehenden Leitbilder und Ziele einer nachhaltigen Raumentwicklung.

Die meisten landesplanerischen Erfahrungen der Länder mit erneuerbaren Energien liegen im Bereich der Windenergie, deren Entwicklung sich seit 1980 sehr dynamisch vollzog. In der Entschließung der Ministerkonferenz für Raumordnung: „Mehr Planungssicherheit für Windenergieanlagen durch Darstellung von Eignungsgebieten in der Landes- und Regionalplanung“ vom 8. März 1995 wurde z. B. zur Frage des Umgangs mit der Windenergie im Abschnitt 5 festgehalten: „Landes- und Regionalplanung können die Nutzung der Windenergieanlagen dadurch fördern, dass sie dafür in geeigneten Gebieten Standorte mit Zielqualität zur Errichtung von Windparks und Windenergieanlagen ausweisen. Sie geben damit den Gemeinden vor, dass in diesen Gebieten der Bau von Windenergieanlagen bauplanungsrechtlich zulässig gemacht werden soll“. Heute liegen in den Ländern vielfach Erlasse, Rundschreiben, Grundsätze, Richtlinien und Empfehlungen zum Umgang mit Windenergieanlagen in der Landes- und Regionalplanung vor (z. B. in Brandenburg, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen). Hier finden sich zahlreiche Hinweise und Standards für den Umgang im Rahmen der Regionalplanung. Insbesondere ist die Frage ihrer Raumwirksamkeit (Dimension/Höhe, Standort, Auswirkungen auf andere Raumfunktionen) und der damit verbundenen Problematik grundsätzlich geklärt. Es gibt umfangreiche Festlegungen zu einzuhaltenden Abständen zu Siedlungen, Schutzgebieten, zur Freihaltung unzerschnittener Räume, zum Schutz von Kulturlandschaften usw.

¹⁹ Anlagen, die sich z. B. aufgrund ihres Standortes, ihrer Dimension/Größe auf den Raum auswirken.

Wie angesprochen, entwickelt die *Regionalplanung* auf der Ebene des Teilraums eines Landes räumlich und sachlich konkretisierte Ziele, stimmt die verschiedenen fachlichen Raumansprüche für die Region ab und leitet u. U. erforderliche Maßnahmen ein. Wegen ihres konkreteren räumlichen Bezugs kommt ihr nach Auffassung des DRL in der räumlichen Planung die maßgebliche Verantwortung bei der Lösung von Nutzungskonflikten und für die Entwicklung von Regionen zu. Über das förmliche Instrumentarium des Regionalplans hinaus kann sie informelle regionale Entwicklungskonzepte auf den Weg bringen sowie teilräumliche Entwicklungen anstoßen. Einen solchen Ansatz verfolgt z. B. das Land Rheinland-Pfalz im Zusammenhang mit der Erarbeitung regionaler Energieversorgungskonzepte und räumlicher Leitbilder für den Einsatz erneuerbarer Energien. Das Land Brandenburg hat kürzlich einen regionalen Biomasseaktionsplan aufgelegt, der die künftigen agrar- und energiepolitischen Eckwerte sowie die Entwicklungsperspektiven der Biomassenutzung darstellt. Dieser muss aber noch umgesetzt und konkretisiert werden.

Eine umwelt- und raumverträgliche Nutzung der erneuerbaren Energien wird zukünftig verstärkt die *interdisziplinäre Zusammenarbeit* der verschiedenen berührten Fachdisziplinen, insbesondere zwischen den Fachgebieten Naturschutz und Landschaftspflege, Land- und Forstwirtschaft sowie Energiewirtschaft, erfordern. Auch die Inhalte ihrer Planungen müssen mit den neuen Anforderungen der erneuerbaren Energien, ihrer Chancen und Herausforderungen, korrespondieren. Dies betrifft darüber hinaus aber auch die Landes- und Regionalplanung mit ihrer integrierenden Ordnungs- und Entwicklungsfunktion.

Die bisherige Erfahrung hat gezeigt, dass sich der Einsatz erneuerbarer Energien dort positiv entwickelt, wo frühzeitig bei allen Akteuren und Betroffenen Akzeptanz geschaffen, Nutzungskonflikte im Dialog der berührten Fachdisziplinen, der Bevölkerung vor Ort und regionalen Akteuren gelöst und gemeinsam Entwicklungsstrategien festgelegt werden konnten.

Ein Beispiel hierfür liefert u. a. das Landesentwicklungsprogramm Rheinland-Pfalz von 1995 (LEP III), das der Regionalplanung die Aufgabe zur Erarbeitung räumlicher Leitbilder für den Einsatz geeigneter erneuerbarer Energien zuordnete. Aktuell liegen in einigen rheinland-pfälzischen Planungsregionen erste Konzepte über das (theoretische) Potenzial und die

zukünftige Nutzung erneuerbarer Energien in ihren Grundzügen vor, die im Rahmen der Fortschreibung regionaler Raumordnungspläne für die Windenergie bereits konkretisiert und mittel- bis langfristig auch für andere erneuerbare Energien umgesetzt werden sollen. In Hessen befindet sich ein entsprechendes Konzept auf Landesebene derzeit in Vorbereitung.

Die aktuelle Diskussion in der Raumordnung über eine verstärkte Ausrichtung auf informelle Planungsleistungen, d. h. auf Moderations- und Entwicklungsaufgaben im Sinne des Managementgedankens („Management räumlicher Ressourcen und Raumnutzungen“) trägt den zukünftigen Anforderungen zur Koordination, Sicherung und Entwicklung einer nachhaltigen Raumentwicklung unter vielfältigen und oft konfligierenden Raumansprüchen ebenfalls Rechnung.

Sowohl die Landes- als auch die Regionalplanung als überörtliche und überfachliche Gesamtplanungen sind daher maßgebliche Instrumente, die vielfältigen und oftmals konfligierenden Raumnutzungsanforderungen und landschaftsästhetischen Belange, die im Zusammenhang mit einer verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien auftreten werden, abzuwägen, zu bündeln und in Einklang mit räumlichen Entwicklungsstrategien und -konzepten zu bringen.

1997 wurde das Baugesetzbuch dahingehend ergänzt, dass nach § 35 Abs. 1 Nr. 5 Anlagen, die der Erforschung, Entwicklung oder Nutzung der Wind- und Wasserenergie dienen und nach Nr. 6 Vorhaben zur energetischen Nutzung von Biomasse im Rahmen eines land- und forstwirtschaftlichen Betriebes, unter bestimmten Voraussetzungen privilegiert sind. Der Privilegierungstatbestand des § 35 Abs. 1 Nr. 6 Baugesetzbuch erfasst Einzelvorhaben („Im Außenbereich ist ein Vorhaben nur zulässig ...“). Damit ist lediglich die Errichtung einer Einzelanlage privilegiert, nicht aber die Errichtung mehrerer Anlagen oder gar Windparks. Von Windparks spricht man i. d. R. ab drei bis fünf Einzelanlagen. Ab zehn Einzelanlagen sollen verbindliche Bebauungspläne aufgestellt werden. Die bauleitplanerische Steuerung der Standorte gleich für mehrere Windenergieanlagen ist sinnvoll, auch um das Windangebot optimal zu nutzen. Bei besonders hohen Anlagen oder an hervorgehobenen Standorten trifft die Notwendigkeit der Aufstellung von Bebauungsplänen ebenfalls zu. Die Privilegierung der Wind- und Wasserenergie wurde allerdings mit einer Erweiterung der öffentlichen Belange nach

§ 35 Abs. 3 Baugesetzbuch verbunden, die auch privilegierten Vorhaben entgegenstehen können. Die Regelung zielt darauf ab, durch frühzeitige positive Standortzuweisungen privilegierter Nutzungen an einer oder mehreren Stellen im Plangebiet den übrigen Planungsraum von den durch den Gesetzgeber privilegierten Anlagen freizuhalten, und zwar für den Bereich der Bauleitplanung der Gemeinden oder der Regionalplanung.

Gemäß § 1 Abs. 5 Nr. 1 Baugesetzbuch sind bei der Aufstellung von Bauleitplänen die allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse zu berücksichtigen.

Bei *Windkraftanlagen* handelt es sich um Anlagen im Sinne des § 3 Abs. 5 Bundesimmissionsschutzgesetz. Diese unterliegen als nicht genehmigungsbedürftige Anlagen den immissionsschutzrechtlichen Anforderungen nach § 22 Bundesimmissionsschutzgesetz.

Zur Prüfung schädlicher Umwelteinwirkungen durch Geräusche ist dabei die Technische Anleitung Lärm (TA Lärm) in der Fassung vom 26. August 1998 anzuwenden. Darüber hinaus gibt es fachtechnische Hinweise zur Ermittlung der Auswirkungen durch Schallemissionen, die den Empfehlungen des Arbeitskreises „Geräusche von Windenergieanlagen der Immissionsschutzbehörden und Messinstitute“ vom Juni 1998 zu entnehmen sind.

Für die Ausweisung von geeigneten Standorten für z. B. *Biogasanlagen* spielt sicherlich deren Größe eine entscheidende Rolle. In der Vergangenheit waren Biogasanlagen als privilegierte Vorhaben nach § 35 Baugesetzbuch genehmigungspflichtig, da sie auch eher einzelnen Betrieben zuzuordnen waren. Nach den Angaben von SCHMIDT et. al. (2006) dominieren die kleineren Anlagen von der Anzahl her (mehr als 25 % liegen unter 50 kW_{el} Leistung und 81 % gehören zu Größenklassen unter 5.000 kW_{el}). Größere und leistungsfähigere Anlagen sind nach Auffassung des DRL raumwirksam und bedürfen zudem einer aufwendigeren Infrastruktur. Daher sollte über ihre Standorte im Rahmen der Regionalplanung entschieden werden.

Zu der Frage, welche Form von Biomasse an welchen Standorten am besten angebaut wird, lassen sich regionalplanerisch zurzeit kaum Festlegungen treffen, auch der erwähnte Biomasseaktionsplan Brandenburgs steht hier am Anfang. Hier sind weitere Forschungen erforderlich. Der DRL

Ein Naturschutzverband auf dem Weg zur Positionierung im Problemkomplex Windkraft

CO₂-Problematik

Atomkraft – Nein Danke

Klimakiller: Kohle, Öl und Gas

Im Dilemma zwischen Klimaschutz und Naturschutz

Klimaschutz vor Landschaftsschutz?

Windkraft über Wald - Eine Tagung zur offenen Meinungsbildung

Tourismus und Erholung

Studie: Windkraftanlagen sind Vogelkiller

NORDDEUTSCHLAND

Flodermäuse von Rotorflügel geköpft und Schwarzstorch an WKA abgestürzt

Windkraft im Wald ?

EEG

Auf dem Berge da weht der Wind

Windkraft ist schön ! Was ist schön ?

Kyoto-Protokoll

Überzogene Umweltpolitik

„Keine Entscheidung gegen das Dorf treffen“

Subventionen

Discoeffekt

Verspargelung der Landschaft

Wirtschaftlichkeit

Unwetter im Norden – eine Stunde wie Weltuntergang

Das Brummen der Rotoren ...

Windhöflichkeit mindestens > 6 m/s

Andere erneuerbare Energien

Bürgerwille

Windparks statt Einzelanlagen

Schützt unsere Heimat

LEITLINIEN DER UMWELTVERBÄNDE FÜR EINE NACHHALTIGE ENERGIEPOLITIK

DOKUMENTATION

SDW Schutzgemeinschaft Deutscher Wald

Position der SDW zur Windkraft in Hessen

Als Alternative zu den begrenzten fossilen und klimafährlichen Energieträgern und zur abfallproblematisch ungeklärten Atomkraft stellen erneuerbare Energien zusammen mit Energieeinsparmaßnahmen einen wesentlichen Beitrag zum Klima- und Umweltschutz dar. Die Windkraft nimmt inzwischen den größten Anteil bei den erneuerbaren Energien ein.

Windenergieanlagen können aber zu empfindlichen Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes, des Landschaftsbildes und der Lebensqualität sowie der Erholungsfunktion führen. Bei der Errichtung von Windkraftanlagen ist daher immer sorgfältig zu prüfen, wie derartige Beeinträchtigungen so weit wie möglich ausgeschlossen oder minimiert werden können.

Aus Sicht der SDW sind dabei folgende Kriterien zu prüfen:

- Windkraftanlagen im Wald bedürfen einer besonders kritischen Prüfung im Hinblick auf Flächenverbrauch, Ersatzaufforstungen, Waldstabilität, sensible Waldlebensgemeinschaften und Waldgesellschaften, Erholungswert, Natur-, Boden- und Kulturdenkmäler, regionaler Waldanteil sowie Erschließung.
- Besondere Waldschutzgebiete nach dem Forstgesetz wie der Bann-, Schon-, Schutz- und Erholungswald, Naturwaldreservate, wertvolle Waldbiotope, Altholzinseln, Wald mit Bodenschuttfunktion mit kulturhistorisch wertvollen oder landschaftsprägenden Beständen sind für Windkraftnutzung auszuschließen.
- In EU-Vogelschutz- und FFH-Gebieten (Natura 2000), Naturschutzgebieten, Nationalparks und Biosphärenreservate (Kernzone und Pufferzone A) ist der Bau von Windkraftanlagen generell auszuschließen. In den Naturparks ist durch fundierte Studien nachzuweisen, dass die gesetzlich vorrangigen Schutzgüter Landschaftsbild, Erholung und auch Arten- und Biotopvielfalt hierdurch nicht beeinträchtigt werden.
- Auf den übrigen Flächen ist eine Einzelfallprüfung erforderlich, um eine Beeinträchtigung der Lebensqualität der Menschen (Erhalt des Landschaftsbildes, Störungen durch Geräusche und Schattenwurf) zu vermeiden. Die Position der örtlichen Bevölkerung zu den Windkraftstandorten ist zu berücksichtigen.
- Besonders geschützte Tier- und Pflanzenarten, vor allem Zugvögel und Flodermäuse dürfen nicht beeinträchtigt werden. Auch bestehende Anlagen sind hierauf zu überprüfen.
- Jede Anlage ist auf ihre volkswirtschaftliche Rentabilität zu prüfen (Richtwert: Windhöflichkeit in der Regel größer 6 m/s). Das Nachrüsten (Repowering) bestehender wirtschaftlicher Standorte ist der Neuausweisung vorzuziehen. Unwirtschaftliche Anlagen sind abzubauen.
- Die Bündelung von Windkraftanlagen ist aus landschaftsökologischer Sicht dem Bau von Einzelanlagen vorzuziehen.
- Es ist bei jedem Vorhaben eine Machbarkeitsstudie auch über andere erneuerbare Energien anzufertigen.

Stand 27.07.2005

Runkel 2005 ??

SDW Schutzgemeinschaft Deutscher Wald

www.sdw.de

Der Meinungsbildungsprozess zum Umgang mit erneuerbaren Energien ist langwieriger und schwieriger (zum Abschnitt 8). Beispiel aus einem Verband.

empfiehlt grundsätzlich die Aufstellung von land- und forstwirtschaftlichen Strategieplänen zum Energiepflanzenanbau, die auf die unterschiedlichen Standorte und ihre Eignung abgestimmt sind (vgl. Kap. 5.2). Hier sind insbesondere die Land- und Forstwirtschaftlichen Behörden im Rahmen ihrer Planungen gefragt (z. B. agrarstrukturelle (Vor-)Planung, Ländliche Neuordnung, Forsteinrichtung, waldbauliche Planung).

Fotovoltaikanlagen, die sich nicht auf oder an Gebäuden befinden und im Rahmen der Bauleitplanung zu regeln waren sondern auf Freiflächen außerhalb von Siedlungen, gibt es erst seit etwa fünf Jahren. Solche Anlagen können Dimensionen von 50 ha und mehr annehmen und sind dann eindeutig raumwirksam. Aufgabe der Regionalplanung ist es folglich, sich künftig hiermit stärker auseinander zu setzen und Standortentscheidungen zu treffen. Inwieweit großflächige Fotovoltaikanlagen ohne die vorübergehende Förderung durch das EEG langfristig Chancen und Raumbedarf haben, ist noch nicht abzusehen. Der DRL hält Standorte an bestehenden Bauwerken, entlang von Autobahnen oder an Parkplätzen für geeignet.

Große *Wasserkraftanlagen* werden in Deutschland an naturnahen Fließgewässerstrecken zukünftig kaum noch gebaut werden; hier geht es eher um Erneuerung und Effizienzsteigerung, die aber auch erhebliche Umweltauswirkungen haben können, wie das Beispiel des Wasserkraftwerkes Rheinfelden zeigt. Die Anlage von Wasserkleinkraftwerken ist zukünftig in den meisten Regionen Deutschlands unrealistisch. Inwieweit die Regionalplanung Einfluss auf deren Standortwahl nehmen kann, bleibt angesichts eines starken Wasserrechts zu bezweifeln.

8 Partizipation und Öffentlichkeitsarbeit

Der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien geht einher mit Veränderungen von Landnutzungsformen und teilweise auch neuen Flächennutzungen. Windkraftanlagen können unter anderem beispielsweise eine visuelle Störung in der Landschaft bewirken und der Anbau von Energiepflanzen kann sich in einem für die Region bisher untypischen Umfang entwickeln. Diese neuen Formen der Landnutzung und das Entstehen neuer Landschaftsbilder können in der Bevölkerung auf Unverständnis und gar Abwehrreaktionen treffen (vgl. Kap. 5).

Um hier zu nachhaltigen, vertretbaren und in der Region weitgehend akzeptierten Lösungen zu kommen, ist es sinnvoll, mit den Instrumenten der Umweltkommunikation solche Prozesse zu begleiten und zu lenken. Die Landschaftsplanung nach dem Bundesnaturschutzgesetz kann hierzu den instrumentellen Rahmen bieten. Handelt es sich um einzelne Vorhaben, können neutrale Moderatoren und Mediatoren mit dem entsprechenden fachlichen Hintergrund die einzelnen Vorhaben begleiten und, ohne eine eigene Bewertung einzubringen, Planungsprozesse steuern und optimieren.

Mediationsverfahren und Moderationen sind dabei ein Anwendungsbeispiel für gemeinschaftliche Planungsverfahren, bei denen alle Betroffenen in den Prozess der Entscheidungsfindung einbezogen werden. Einschränkungen in der Mitwirkung ergeben sich hierbei beim Anbau von Biomasse, wo primär der Landeigentümer über seine Nutzungsformen zu entscheiden hat, wo aber bereits bei der Errichtung der Anlage die Folgewirkungen in der Struktur der Landnutzung in der Region mitbedacht werden müssen. Beim Bau von Windkraft- und Fotovoltaik-Freiflächenanlagen ist i. d. R. ein Bebauungsplan nötig, so dass hier eine Partizipation der Öffentlichkeit im Planungsprozess möglich ist.

Einen besonderen Schwerpunkt im Vermittlungsprozess stellen die wirtschaftlichen und arbeitsmarktpolitischen Potenziale beim Einsatz von erneuerbaren Energien dar. In Landschaften, die von Abwanderungsprozessen betroffen sind, kann der großflächige Einsatz von erneuerbaren Energien besonders positive Auswirkungen auf anhaltende strukturelle Veränderungen haben und somit eine nachhaltige Regionalentwicklung initiieren (vgl. Kap. 9). Damit eignen sich die erneuerbaren Energien gut für die Einbindung in Lokale Agenda 21-Prozesse. Weiterhin müssen die Fragen geklärt werden, inwieweit eine Bereitschaft zur Veränderung und Möglichkeiten bei der Mitgestaltung für die potenziellen Akteure vorhanden sind.

Bei der Veranschaulichung von Landschaftsveränderungen kann auf vielfältige moderne und innovative Methoden zugegriffen werden. Die neuen Medien mit den Möglichkeiten der Visualisierungen wie 3D-Pläne und Computersimulationen können den Akteuren mögliche Landschaftsentwicklungen und deren Folgen im Voraus demonstrieren (ein Beispiel ist der Interaktive Landschaftsplan Königslutter am Elm²⁰) und den Vermittlungsprozess unterstützen.

9 Impulse für den ländlichen Raum

Der Ausbau der erneuerbaren Energien kann Wohlfahrtswirkungen im ländlichen Raum entfalten, indem er Impulse zur wirtschaftlichen Entwicklung gibt und zur Schaffung von Arbeitsplätzen und Investitionen beiträgt. Insbesondere durch die Nutzung von Biomasse kann die Landnutzung diversifiziert und der Absatz neuer land- und forstwirtschaftlicher Produkte ermöglicht werden. Dies könnte die angespannte wirtschaftliche Situation vieler land- und forstwirtschaftlicher Betriebe verbessern, aber auch Kulturlandschaften können erhalten und weiterentwickelt werden.

Nach einer Studie des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung arbeiteten im Jahr 2004 rund 130.000 Beschäftigte im Bereich der erneuerbaren Energien (UBA 2004), wobei eine Zuordnung dieser Daten zu „Stadt“ und „Land“ nicht verfügbar ist. Die Entwicklung verläuft sehr rasant. So hat sich die Zahl der Arbeitsplätze von 1998 bis 2002 fast verdoppelt. Damit sind die erneuerbaren Energien die einzige bedeutende Beschäftigungssparte im Umweltschutz, in der die Arbeitsplatzzahlen nicht stagnieren oder rückläufig sind. Besonders dynamisch haben sich in den vergangenen Jahren Fotovoltaik und Windkraft entwickelt. Im Jahr 2002 verteilten sich die Beschäftigtenzahlen im Bereich erneuerbare Energien wie folgt: 45 % in der Windkraftnutzung, 24 % in der Biomassenutzung, 7 % in der Wasserkraftnutzung, 6 % in der Nutzung von Solarthermie und 5 % in der Fotovoltaik-Nutzung. Da in der Windenergienutzung aber ein erheblicher Teil der Arbeitsplätze während der Planungs- und Errichtungsphase der Anlagen entsteht und ein großer Teil der nutzbaren Windenergie-Potenziale bereits ausgeschöpft ist, liegen künftige Arbeitsplätze vor allem im Export und in der Herstellung von Anlagen im Rahmen des Repowerings.

Bei der Errichtung von Anlagen entstand 2004 ein Umsatz von insgesamt 7,0 Mrd. €, bei deren Betrieb ein Umsatz von ca. 5,3 Mrd. € (BMU 2005). Die jeweiligen Anteile unterscheiden sich stark, je nachdem wie lange die Technologie bereits im Einsatz ist. So wurde 2002 mit 3,9 Mrd. € sehr stark in neue Windkraftanlagen investiert, während nur 197 Mio. € für ihren Betrieb anfielen. In Wasserkraftanlagen, eine eher

²⁰ Abzurufen unter: <http://www.koenigslutter.de/landschaftsplan.php>.

alte Technologie, wurden im selben Jahr dagegen nur 74 Mio. € investiert, aber 390 Mio. € an Betriebskosten ausgegeben. Bisher von der Statistik nicht erfasst sind die Arbeitsplätze, die durch die Biomasse-Brennstoffversorgung anfallen. Der daraus resultierende Umsatz betrug im Jahr 2004 aber immerhin geschätzte 600 Mio.

Die o. g. genannten Beschäftigungszahlen sind Bruttobeschäftigungseffekte, die wenig strittig sind. Umstritten ist dagegen die Bewertung der Nettobeschäftigungseffekte, die auch einbezieht, wie viele Arbeitsplätze in anderen Bereichen der Volkswirtschaft durch die Subventionierung der erneuerbaren Energien verloren gehen. Die Nettobeschäftigungseffekte gelten als spürbar kleiner als der Bruttoeffekt. Volkswirtschaftlich positiv ist jedoch der mit erneuerbaren Energien verbundene Effekt der Importsubstitution, also die Stärkung der inländischen Nachfrage und Produktion durch Ersatz überwiegend importierter fossiler Energieträger. Auch gehen von den erneuerbaren Energien technologische Impulse aus, die der damit zusammenhängenden Wirtschaft Exportoptionen öffnen. Schließlich werden Lernkurveneffekte²¹ für Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien das notwendige Subventionsvolumen im Zeitablauf reduzieren und dadurch die Nettobeschäftigungswirkung verbessern.

Gerade bei der Biomassenutzung unterscheiden sich die Wohlfahrtswirkungen sehr stark danach, ob die Biomasse in zentralen oder in dezentralen Anlagen verarbeitet wird. Die zentrale Bioethanolanlage im brandenburgischen Schwedt hat z. B. einen Biomassebedarf von 600.000 t Roggen pro Jahr. Zum Vergleich: Die gesamte Roggenernte Brandenburgs betrug im Jahr 2001 1,3 Millionen t. Durch die Nachfrage einer solchen Anlage ergibt sich – regionale Rohstoffbereitstellung vorausgesetzt – ein Einzugsbereich von 536.000 ha bis 1.670.000 ha. Der ländliche Raum liefert allerdings nur die unverarbeiteten Rohstoffe zu, während der Großteil der Beschäftigungseffekte unmittelbar an den häufig in Industriegegenden angesiedelten Anlagen selbst entsteht. Auch werden die Anlagen meist an verkehrstechnisch gut erschlossenen Standorten errichtet, z. B. in der Nähe von Häfen. Deshalb ist zu erwarten, dass ein erheblicher Teil der Rohstoffe aus dem Ausland importiert werden wird, teilweise sogar aus Übersee. In vielen Fällen ist die aus zentralen Anlagen resultierende Wertschöpfung in ländlichen Räumen also sehr gering. Zudem wird die heimische Bioethanol-Produktion ab 2009 nach dem

Wegfall von Einfuhrbeschränkungen durch Importe z.B. aus Brasilien massiv unter Konkurrenzdruck geraten.

Wesentlich höher ist die Wertschöpfung für die Landwirtschaft bei dezentralen Anlagen. So werden Biogas-Anlagen im Bereich von ca. 300 kW_{el}-Leistung häufig direkt auf landwirtschaftlichen Betrieben errichtet. Auf diese Weise können Landwirte ihr Produktangebot diversifizieren, sie

werden unabhängiger von den Märkten und können an der Wertschöpfung aus dem Biomasse-Anbau und aus der Stromerzeugung partizipieren. Strom und Wärme sind – anders als Bioethanol und Biodiesel –

21 Lernkurveneffekt (auch: Erfolgskurveneffekt) bedeutet, dass sich Durchschnittskosten mit der über einen Zeitraum kumulierten Produktionsmenge senken, oder anders ausgedrückt: Je größer die Erfahrung mit etwas, desto geringer die Kosten.

Projektbeispiele

Güssing im Südburgenland/Österreich (4.500 Einwohner) war durch eine schlechte Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung gekennzeichnet, bis die Stadt 1990 beschloss, aus der fossilen Energieversorgung auszusteigen und die lokalen Ressourcen für die örtliche Energieversorgung zu nutzen. Ziele waren die Steigerung der Wertschöpfung in der Region, die Schaffung von Arbeitsplätzen und die CO₂-Reduktion. Neben verschiedenen Energiesparmaßnahmen wurden ein Fernwärmenetz errichtet, eine RME-Anlage zur Erzeugung von Biodiesel aufgebaut sowie erstmalig ein neuer Kraftwerkstyp zur Erzeugung von Strom aus Biomasse in kleinen dezentralen Kraftwerken realisiert. Güssing ist heute „energieautark“ und ein international anerkanntes Energiezentrum.

Weitere Informationen unter <http://www.eee-info.net> und BRUNNER, C.; HOTWAGNER, M. & KOPITAR, A. (2006): Güssing/Südburgenland – erste energieautarke Stadt Österreichs. – Informationen zur Raumentwicklung H. 1/2.2006; Bioenergie: Zukunft für ländliche Räume, 93-101.

„**Regionalstrom Bodensee-Oberschwaben**“ ist ein gemeinsames Projekt von Biogaslandwirten, BUND Ravensburg-Weingarten in Zusammenarbeit mit den örtlichen Elektrizitätswerken. Projektidee: Da Vergütungen des EEG v. a. für kleinere Anlagen und die Mitvergärung von Mähgut nicht immer kostendeckend sind, wurden Aufpreismodelle entwickelt. Die Landwirte erhalten für den durch Vergärung von Gülle, Gras und Grünabfällen erzeugten Strom eine zusätzliche Vergütung aus einem regionalen Fördertopf. Gefördert wird der umweltfreundliche Betrieb landwirtschaftlicher Biogasanlagen, dazu gehören die naturverträgliche Nutzung landwirtschaftlicher Flächen und die Bewirtschaftung von Schutzgebieten. Besondere Zuschläge erhalten z. B. Biobetriebe. So wird die regionale Wirtschaft gefördert und die Landwirte erhalten ein zweites Standbein als Energiewirt.

Vgl. MILLER, U. & WALSER, M. (2005): Regionalstrom – regionaler Mehrwert durch Umwelt- und Naturschutz. – Natur und Landschaft, 80, H. 9/10, 413-415.

Beispiel **Jühnde**: Das in Südniedersachsen im Landkreis Göttingen gelegene Jühnde (rd. 780 Einwohner) ist das erste Bioenergiedorf Deutschlands. Im Rahmen eines Projektes des Interdisziplinären Zentrums für Nachhaltige Entwicklung (IZNE) der Universität Göttingen, in dem Wissenschaftler der Universitäten Göttingen und Kassel/Witzenhausen zusammenarbeiten, wird die Strom- und Wärmeversorgung auf Biomasse, die in der heimischen Land- und Forstwirtschaft erzeugt wird, umgestellt. Eine Biogasanlage und ein angeschlossenes Blockheizkraftwerk (BHKW) stellen zurzeit doppelt soviel Strom her, wie in dem Dorf verbraucht wird. Mit der Abwärme des BHKW werden die Häuser in Jühnde beheizt. Ein zusätzliches Heizwerk, in dem überwiegend Holzhackschnitzel verfeuert werden, soll den erhöhten Wärmebedarf im Winter decken. Per Nahwärmenetz werden die Häuser versorgt. Die Bewohner haben sich in der dorfeigenen Jühnder Bioenergiedorf-Genossenschaft zusammengeschlossen und betreiben eine wirksame Öffentlichkeitsarbeit. Der CO₂-Ausstoß hat sich um 60 % verringert, die Haushalte können pro Jahr 500 bis 600 Euro sparen.

Weitere Informationen unter <http://www.bioenergiedorf.info/> und „Betriebsanleitung für die Bioenergie. Das südniedersächsische Dorf Jühnde erprobt die energetische Selbstversorgung.“ – WDR5 Leonardo vom 6. April, – <http://www.wdr5.de/sendungen/leonardo/704235.phtml>.

keine handelbaren Agrarprodukte im Sinne der Welthandelsorganisation (WTO). Dadurch erscheint die Energiebereitstellung aus Biogasanlagen auch längerfristig eine Zukunftsperspektive für die mitteleuropäische Landwirtschaft zu sein. Da die Wirtschaftlichkeit sich mit zunehmender Anlagengröße verbessert (WALLA & SCHNEEBERGER 2003), ist die Errichtung einer eigenen Biogasanlage jedoch nur vor allem für große Betriebe oder für Zusammenschlüsse von Betrieben geeignet. Vereinzelt besteht die Gefahr, dass sich Landwirte mit der Investition in eine Biogasanlage finanziell übernehmen. Das Phänomen, dass Betriebe zu hohen Investitionen verführt werden, die spätere Liquiditätsengpässe verursachen, ist im englischsprachigen Raum als „new paint disease“ bekannt. Häufig wird es durch großzügige Investitionsförderprogramme noch verstärkt.

Positiv auf die betriebliche Autonomie und Wertschöpfung wirkt sich die Verwendung von selbst erzeugtem Pflanzenöl in landwirtschaftlichen Betrieben aus, die seit dem Wegfall der Steuerbefreiung von Agrardiesel einen Aufschwung erlebt.

In der Forstwirtschaft sind Festbrennstoff-Anlagen zur Stromerzeugung derzeit noch sehr wenig entwickelt. Dies hängt damit zusammen, dass das Investitionsvolumen solcher Anlagen erheblich über dem einer Biogasanlage liegt und i. d. R. nicht von einem Forstbetrieb selbst getragen werden kann.

10 Der Werte-Rahmen

Bei der Beurteilung der Produktion erneuerbarer Energieträger verbinden sich komplexe Sachverhalte mit normativen Bewertungen. Bezugspunkte sind die Machbarkeit, Wünschbarkeit und Verantwortbarkeit unterschiedlicher Szenarien der Energieerzeugung. Ein grundlegendes Werturteil ist beispielsweise die Ablehnung von CO₂-intensiven und nuklearen Formen der Energieerzeugung. Doch ist dies in der Gesellschaft keineswegs unumstritten, wie sich an Debatten um neue Kohlekraftwerke und die Verlängerung der Restlaufzeiten von Atomkraftwerken zeigt.

Der Erfolg des Einsatzes der erneuerbaren Energieträger ist abhängig vom zukünftigen Gesamtbedarf an Primärenergie sowie am Bedarf einzelner Sektoren zu messen (z. B. Verkehr). *Daher erfordert der Ausbau der erneuerbaren Energien komplexer eine konsequente Orientierung an*

energiesparenden Technologien. Obwohl die deutsche Industrie mittlerweile relativ energieeffizient produziert, liegen im Bereich Raumwärme, Haushaltstechnologien und Verkehr noch große Sparpotenziale, die es zu erschließen gilt. Erneuerbare Energieträger sind mit einer rein angebotsorientierten Energiepolitik schwer zu vereinbaren. Daher verdient das in den Hintergrund getretene Thema des Energiesparens eine neue Aufmerksamkeit. Das japanische Top-Runner-Konzept²² könnte hier zum Vorbild genommen werden.

Die Produktion erneuerbarer Energien wirft eine Reihe von Bewertungsproblemen auf. Ging die ältere Diskussion über erneuerbare Energie, wie sie von Umwelt- und Naturschützern geführt wurde, immer nur von einem Gegensatz zwischen den „guten“ erneuerbaren und den „schlechten“ fossilen und nuklearen Energieerzeugungsarten aus, so herrscht mittlerweile dahingehend Übereinstimmung, dass die Erzeugung von nennenswerten Anteilen an der Primärenergie durch „Renewables“ nicht ohne Kosten, also nicht zum „Nulltarif“ zu haben ist. Mit diesen Kosten sind keineswegs nur die ökonomischen Kosten gemeint, sondern auch Opportunitätskosten²³ bei der Landnutzung einschließlich des Naturschutzes. Windkraftanlagen beeinträchtigen das Landschaftsbild und werden für den Tod von Vögeln und Fledermäusen mit verantwortlich gemacht; Wasserkraftwerke und Staudämme sind für Fließgewässer-Ökosysteme nachteilig; Biomasseanbau ist mit einer ganzen Reihe von Zielkonflikten verbunden (Energie- und Ökobilanz, Naturschutz) und selbst die Fotovoltaik ist aufgrund ihres Ressourcen- und Flächenverbrauchs im Freiland mit Umweltproblemen behaftet.

Erneuerbare Energieträger sind also ebenfalls mit Eingriffen in Natur und Landschaft verbunden. Im Einzelnen stellen sich die Konflikte unterschiedlich dar. Entscheidend für die Bewertung ist die Frage, ob diese Eingriffe und die damit verbundenen Konflikte, in ihrer Summe betrachtet, nach Art und Ausmaß geringfügiger sind als die Auswirkungen und Risiken fossiler und nuklearer Energien und ob sie sich durch eine kluge Gestaltung reduzieren oder vermeiden lassen. Berechnen lässt sich dieser Vergleich aufgrund der Heterogenität der Risiken und Belastungen nicht. Erforderlich ist vielmehr sachkundige Urteilskraft. Im Interesse einer sachlichen, aber wertbewussten Diskussion ist dabei vor einem abstrakten Moralismus zu warnen, der einzelne Problemfelder isoliert betrachtet.

Der DRL geht von der – gemäßigt optimistischen – Vermutung aus, dass die Vorteile erneuerbarer Energien im Vergleich mit fossilen und nuklearen Energien deutlich überwiegen könnten, wenn die derzeit noch vorhandenen Gestaltungsspielräume bei ihrer Einführung konsequent im Sinne einer „Ökologisierung“ der Landnutzungssysteme genutzt werden. Allerdings besteht gegenwärtig auch die Gefahr, dass im Gefolge der derzeitigen „Goldgräberstimmung“ bei den möglichen Nutzern Sachwänge geschaffen werden, die die Gestaltungsmöglichkeiten einschränken. Doch sind im Bereich der Wasserkraft und der Windenergie auf dem Land die noch vorhandenen Optionen deutlich geringer als insbesondere im Bereich der Biomasse-Erzeugung. Die ethisch relevanten Fragen dieser Energieerzeugung sollen daher im Folgenden exemplarisch diskutiert werden.

Verwertungspfade priorisieren!

Die unterschiedlichen Möglichkeiten der Verwertung von Biomasse (Wärme, Strom und Kraftstoffe, vgl. Kap. 3) schließen einander nicht aus. Angesichts begrenzter Mengen muss jedoch beurteilt werden, welcher Verwertungspfad Vorrang verdient. Eine erste Gestaltungsoption, etwa im Hinblick auf die Förderungswürdigkeit, ist demnach die Priorisierung der Verwertungspfade. Etliche Studien kommen zu dem Ergebnis, dass die Erzeugung für den Kraftstoffsektor hinsichtlich des CO₂-Vermeidungspotenzials und der Vermeidungskosten deutlich schlechter abschneidet als andere Nutzungen. Auch angesichts der bestehenden konventionellen Sparpotenziale im KFZ-Sektor gibt es keine überzeugenden Gründe, den Kraftstoffverwertungspfad zu priorisieren (vgl. Kap. 3.1.2). Der SRU empfiehlt in seiner Bewertung im Sondergutachten „Umwelt und Straßenverkehr“ eine bedingte Priorität für den stationären Bereich der Wärme- und Stromerzeugung, ohne allerdings innovative Technologien im Verkehrssektor dadurch preiszugeben (SRU 2005, Tz. 351). Besonders im Kraftstoffsektor zeigt sich in jedem Falle die Komplementarität von Erzeugungs- und Verbrauchsseite. So macht die Biomasse-Nutzung nur in Verbindung mit einer deutlichen Reduktion des gesamten

22 Konzept zur Effizienzsteigerung beim Energieverbrauch und zur Vermeidung von Energieverschwendung bei elektrischen Geräten.

23 Kosten, die dadurch entstehen, dass Opportunitäten oder Möglichkeiten zur Nutzung von Ressourcen nicht wahrgenommen wurden. Es geht um Kosten eines Nutzenentganges, der bei zwei Alternativen durch die Entscheidung für die eine und gegen die andere Möglichkeit entsteht.

Flottenverbrauchs von Kraftfahrzeugen Sinn. Ansonsten liegt hier ein Fall von symbolischer Umweltpolitik vor.

Die Erhöhung des Biokraftstoff-Anteils im Treibstoff bietet freilich eine für die Automobilindustrie attraktive Lösung des Problems an, ihre EU-weite Selbstverpflichtung zu erfüllen und die längst überfällige Innovationsstrategie zugunsten verbrauchsärmerer Fahrzeuge weiter hinauszuschieben. Diese Strategie lässt sich zudem medienwirksam durch Kampagnen für „sauberen Bio-Treibstoff“ (z. B. „Pack die Sonne in den Tank“) verdecken. Auch die großen EVU haben offenbar wenig Interesse an einer dezentralen Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse. Daher ist aufgrund der dominanten Interessenkonstellation zu erwarten, dass trotz entgegenstehender Sachgründe der Verwertungspfad „Biokraftstoff“ priorisiert werden wird.²⁴

Import von Biomasse an Kriterien binden

Eine besondere Bedeutung wird in Zukunft der Frage zukommen, ob und inwieweit Biomasse importiert werden kann und darf. Die bisherige Annahme, wonach durch lange Transportwege der Import/Export von Biomasse energiebilanziell grundsätzlich unrentabel sei, dürfte sich durch neue Transporttechnologien in der Seeschifffahrt und vor allem durch veränderte Preisstrukturen in Zukunft als unzutreffend erweisen. Durch höhere Preise für Erdöl ändert sich das gesamte Preisgefüge. Dies macht möglicherweise nicht nur die Biomasse, sondern auch deren Transport konkurrenzfähig, wenn bestimmte Regionen deutliche Kostenvorteile bei der Erzeugung besitzen. Eine Importstrategie könnte für Deutschland eine Möglichkeit sein, inländische Nutzungskonkurrenz zu vermeiden, indem man sie „auslagert“, allerdings sind hier sämtliche Aspekte nachhaltiger Nutzung zu berücksichtigen.

Für den Import von Biomasse kommen einmal Länder in Frage, die bereits heute Biomasse für den einheimischen Energiemarkt erzeugen (Brasilien), Länder, die derzeit noch über große Waldgebiete verfügen (Russland, Kanada), oder u. U. auch grenznahe Regionen (Polen). Der Import von Biomasse dürfte allerdings in den Herkunftsländern mit erheblicher Nutzungskonkurrenz verbunden sein und mit globalen Natur- und Waldschutzziele sowie mit sozialen Anforderungen konfliktieren.

Die Entstehung eines globalen Marktes für Biomasse steckt derzeit noch in den Anfängen. Daher ist es zur Gestaltung solcher

Märkte unumgänglich, Kriterien bzw. Standards guter fachlicher Praxis für den Biomasseanbau außerhalb Deutschlands und der EU zu entwickeln und Zertifizierungssysteme einzurichten. Langfristig könnte der Biomasseanbau ein neues Problemfeld für die WTO aufwerfen, wenn einige Länder entsprechende Import-Auflagen erlassen würden, die unter dem WTO-Regime als Handelsbeschränkungen anfechtbar wären. Die Bearbeitung dieser Probleme würde voraussichtlich in die WTO-Grundsatzdebatte um „like products“ (gleichartige Produkte) führen. Aus Sicht des DRL lassen sich gerade auf dem Gebiet der Biomasseerzeugung und der nachwachsenden Rohstoffe die Produkte grundsätzlich nicht von der Art ihrer Erzeugung trennen. Es handelt sich aus Sicht des DRL also nicht um die unzulässige „Diskriminierung“ eines Produktes, wenn die Art und Weise seiner Erzeugung in die Regulierung seines Handels einbezogen wird. Es wäre auch sachlich unangemessen, die Frage, ob der Produktionsprozess mitsamt seinen Auswirkungen auf Natur und Umwelt bei der Beurteilung des Endproduktes beachtlich oder unbeachtlich ist, den Präferenzen der Konsumenten zu überlassen, wie dies Verfechter der Freihandelslehre vorschlagen. Der DRL regt an, derartige Fragen vorausschauend zu bedenken und zu ihrer Lösung Konzepte und Positionen zu entwickeln.

Deutschland und die EU sollten daher möglichst rasch eine naturethisch verantwortbare und vor der WTO vertretbare Position zum Handel mit Biomasse zur Energieerzeugung entwickeln.

Auswirkungen auf die Ernährungssituation

Die Auswirkungen des Biomasseanbaus auf die Nahrungsmittelversorgung sind differenziert zu betrachten. Eine Verknappung von Nahrungsmitteln im Inland oder eine Verschlechterung der Lebensmittelqualität sind nicht zu erwarten. Auswirkungen auf die Nahrungsmittelpreise sind (durch eine „Sogwirkung“ der Biomassekraftwerke) allerdings nicht prinzipiell auszuschließen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass das Ernährungsverhalten der Bevölkerung von derart vielen Faktoren geprägt ist, dass der Biomasseanbau unter sonst gleichen Rahmenbedingungen nur eine geringere Rolle spielen dürfte.

Die Frage, ob bzw. unter welchen ökonomischen Randbedingungen es zu Konkurrenz zwischen dem Biomasseanbau und dem Ökologischem Landbau kommen

könnte, kann nicht eindeutig beantwortet werden: Der DRL sieht auf jeden Fall große Synergieeffekte; ökologisch wirtschaftende Betriebe können sich dafür entscheiden, z. B. Zweikulturenanbau zu betreiben.

Weitaus schwieriger ist die Frage, ob angesichts der wachsenden Weltbevölkerung nicht der Verlust fruchtbarer Böden in vielen Weltregionen problematisch wäre und nicht zuletzt aufgrund des Klimawandels die Agrarflächen Mittel- und Osteuropas für die globale Nahrungsmittelversorgung unentbehrlich sein könnten. Die Staaten der EU kommen langfristig als Agrarexportnationen in Betracht. Unter dieser Perspektive wäre die Flächenkonkurrenz zwischen Biomasseanbau (etwa für BtL) und Nahrungsmittelerzeugung natürlich von großer moralischer Bedeutung.

Moralische Vorbehalte gegen das „Verbrennen“ von Getreide

Auf verbreitete moralische Irritationen und vielfach spontane Ablehnung stößt das Vorhaben, Getreidepflanzen einer energetischen Nutzung zuzuführen, also gewissermaßen „Brot zu verbrennen“. Diese Irritationen speisen sich aus tief sitzenden kulturellen Wertvorstellungen und der durch das Christentum geprägten Bedeutung des „täglichen Brotes“. Brot symbolisiert Nahrung schlechthin, die energetische Nutzung von Brotgetreide wäre demnach Ausdruck einer Missachtung von Lebensmitteln, die angesichts des Welthungers nur zynisch genannt werden könnte. Eine derartige Einstellung ist moralisch ehrenwert, bedarf aber der kritischen Reflexion.²⁵ Das gewichtigste Gegenargument bezieht sich auf den möglichen Zielkonflikt mit dem globalen Welthungerproblem. Dieser Konflikt hat jedoch zwei Aspekte: Einmal könnte der Import von Biomasse als „cash crops“ im Süden (s. o.) die Nahrungssicherheit in südlichen Ländern beeinträchtigen, andererseits könnte der Biomasseanbau in nördlichen Ländern das globale Ernährungsproblem verschärfen, da hierdurch Flächen belegt werden. Der moralische Einwurf (einschließlich von Schuld- und Verantwortungsgefühlen) bezieht sich eher auf den zweiten Aspekt, wogegen etliche Indizien dafür sprechen, dass der erstgenannte Aspekt in Zukunft weitaus bedeutsamer sein dürfte. Daher lässt sich der Biomasse-

²⁴ Die Subventionierung des Biodiesels wird allerdings ab 2007 wegfallen und er wird mit 0,09 Cent besteuert werden. Die Steuersätze für Pflanzenöl und Biodiesel sollen ab 2008 steigen.

²⁵ Ausführlich hierzu s. Angelika KRÖBER: „Energetische Getreidenutzung in Deutschland“. Diplomarbeit Greifswald 2005.

anbau in der südlichen Hemisphäre nur im Rahmen eines globalen Handels- oder Verteilungs-Regimes rechtfertigen, das dieses Risiko minimiert oder ausschließt. Natürlich können auch beide Aspekte von Bedeutung sein. Wer den moralischen Einwurf teilt, sollte daher besonders skeptisch gegen den Import von Biomasse für den Wärme- und Kraftstoffsektor sein.

Es ist in diesem Zusammenhang darüber nachzudenken, worin der moralisch relevante Unterschied zwischen der energetischen Nutzung von Getreide und der Erzeugung von Industrialkohol besteht. Auch ist zu fragen, ob die Erzeugung von Biomasse nicht in Analogie zum früheren Anbau von Hafer für die Zugtiere gesehen werden kann. Überdies werden viele Stoffe, die für die menschliche Nahrung geeignet sind, zur Tiermast eingesetzt. Aus Sicht des DRL könnte diese Thematik Anlass sein, in eine Diskussion über die Ethik der Ernährung („food ethics“) einzutreten (KARTHALS 2004). Bei der Betrachtung der Konkurrenz zwischen Biomasse und Nahrungsmitteln kann uns die Bedeutung einer gesicherten Ernährungslage und damit auch der Wert von Nahrungsmitteln neu zu Bewusstsein kommen.

Mit der Nutzung von Getreide für die Energiebereitstellung wird gerade erst begonnen. Eine Verbesserung der Akzeptanz dieser Form der Energieerzeugung dürfte vermutlich dann eintreten, wenn durch Züchtung die Getreidesorten für die energetische Verwendung einerseits und die Nahrungserzeugung andererseits klar getrennt werden.

Der DRL empfiehlt, diese mit der energetischen Verwertung von Getreidepflanzen aufgeworfenen Probleme offen anzusprechen und sie weiter zu erforschen. Moralischen Vorbehalten sollte aus Sicht des DRL nicht mit Wortschöpfungen begegnet werden („Ganzpflanzen“, „Feuchtgutlinie“, „Halmgüter“ etc.).

Klimapolitik und Naturschutz

Bei der Beurteilung der erneuerbaren Energieträger ist ein Gegenüberstellen oder gegeneinander Auspielen von Klimapolitik und Naturschutz allein schon deshalb falsch, weil der Klimawandel völlig unabhängig Folgen für das Artenspektrum und die Verschiebung von Verbreitungsarealen und biozönotischen Gefügen mit sich bringen wird. Diese sind bereits absehbar, in ihren Details aber kaum vorhersagbar. Ein besonders für Mitteleuropa gravierendes Problem stellt die Situation in intensiv genutzten Kulturlandschaften dar, da natürlich vorkommende Lebensräume von

anthropogenen Strukturen umgeben sind und sich einer klimatischen Veränderung nicht durch „Wanderung“ anpassen können. Dies unterstreicht die hohe Bedeutung von unzerschnittenen Räumen, Biotopverbünden und Trittsteinen sowie die Notwendigkeit, Ausmaß und Geschwindigkeit des Klimawandels so weit wie irgend möglich zu reduzieren. „Naturfreundliche“ Arten der Biomasseerzeugung bieten Chancen, Klima- und Naturschutz miteinander zu versöhnen. Auch in Bezug auf die Anpassung an Klimaveränderungen sind extensive und natur- und landschaftsverträgliche Formen des Biomasseanbaus eine weiter zu verfolgende Option.

11 Zusammenfassung, Ausblick und Empfehlungen

11.1 Zusammenfassung und Ausblick

Wie eingangs erwähnt und in der Stellungnahme gezeigt wurde, wirkt sich der Ausbau der erneuerbaren Energieträger Biomasse, Wind, Wasser und Solarenergie auf Natur und Landschaft aus. So kann der Naturhaushalt beeinflusst werden und das Bild der Landschaft verändert sich. Zur verstärkten Nutzung der erneuerbaren Energien in einem sinnvollen Energiemix gibt es allerdings keine Alternative, auch wenn alle Energieeinsparpotenziale und Maßnahmen zur Effizienzsteigerung ausgeschöpft werden. Die Landespflege betrachtet es als ihre Aufgabe in Zusammenhang mit erneuerbaren Energien, die Auswirkungen ihrer Nutzung und die Veränderungen in der Landschaft sachlich zu analysieren, Wege zur Minimierung der Auswirkungen sowie Chancen für den Naturschutz und die Landschaftspflege zu zeigen und Empfehlungen zu formulieren, wie erneuerbare Energieträger nachhaltig für den Naturhaushalt und das Landschaftsbild genutzt werden können.

Der DRL erwartet, dass die größten Auswirkungen auf Natur und Landschaft von der verstärkten Nutzung der verschiedenen Arten von Biomasse ausgehen werden. Hier stellen sich neue Aufgaben der Gestaltung durch die Politik und der Steuerung durch die Landes- und Regionalplanung, für die die Landschaftsplanung entsprechende regionale Leitbilder mit entwickeln muss, aber auch für die landwirtschaftliche Planung und Beratung. Es wird vor allem darauf ankommen, einerseits Kulturlandschaften nicht vollständig zu verändern, andererseits neue regionale Nutzungsformen, Kreisläufe und kurze Wege der Vermarktung zu entwickeln und

zu fördern. Der Anbau nachwachsender Rohstoffe eignet sich unter bestimmten Voraussetzungen zum Anbau in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten, kann aber auch für periphere Räume neue Chancen für die Landwirtschaft bieten, wobei hier viele Formen von extensivierten Nutzungen (z. B. *Low-input/Low-output-Systeme*, *extensive Grünlandnutzung*) denkbar sind. Beim Anbau nachwachsender Rohstoffe sind selbstverständlich die Vorschriften der guten fachlichen Praxis anzuwenden und dem Stand der Technik anzupassen.

Die Windkraftnutzung wird sich auf der Landfläche nach Jahren des Booms nicht mehr rasant weiterentwickeln; der Trend geht zum Austausch veralteter und nicht mehr effizient arbeitender Anlagen. Diese Neuanlagen haben gleichwohl wegen ihrer Höhe und Größe Folgen für das Landschaftsbild, sie können sich auf bestimmte Vogelarten nachteilig auswirken und stellen mithin Eingriffe dar. Mit erheblichen neuen Flächeninanspruchnahmen ist jedoch nicht zu rechnen. Die Windkraftnutzung *offshore* wird allerdings zunehmen. Hier erwartet der Deutsche Rat für Landespflege weitere Flächeninanspruchnahmen auf dem Land durch den Bau der erforderlichen Einspeisungs-, Umspann- und Energiefreileitungen mit ihren Trassen. Auch hier liegt ein wichtiger Aufgabenbereich vor, der von der Landes- und Regionalplanung steuernd zu begleiten ist.

Der Bau von Fotovoltaikanlagen hat sich bislang weitgehend auf Wohn- und gewerblich genutzte Gebäude beschränkt. Erst seit kurzer Zeit geht der Trend nicht nur in strahlungsreichen Gebieten Süddeutschlands sondern auch in anderen Landschaftsräumen in die Fläche, wie die zunehmende Zahl von Anträgen aus den Ländern zeigt. Dabei handelt es sich zwar meist nicht um direkte Versiegelung der in Anspruch genommenen Flächen, sondern um großflächige technische Überprägungen und mitunter um die Inanspruchnahme bislang unzerschnittener Offenlandbereiche. Auch wenn die Vergütung der produzierten Energie zeitlich befristet ist, bleiben die Anlagen über mehrere Jahrzehnte Bestandteile der Landschaft und ändern ihr Erscheinungsbild. Daher ist es notwendig, dass auf regionalplanerischer Ebene rechtzeitig Vorschläge für geeignete naturschutz- und landschaftsverträgliche Standorte²⁶ gemacht werden.

²⁶ Vgl. hierzu z. B. Regionaler Planungsverband Westsachsen (2004), JESSEL & KÜLER (2006), UVS & NABU (2005).

Auch im Bereich der Wasserkraft ist derzeit nicht mit neuen Flächeninanspruchnahmen großen Maßstabs zu rechnen. Überwiegend geht es auch hier um die Modernisierung und Effizienzsteigerung bestehender Anlagen. Mit dem Bau kleiner Wasserkraftanlagen – deren ökonomischer Nutzen mitunter zweifelhaft ist – und entsprechenden Eingriffen in die Gewässerstruktur ist regional gleichwohl noch zu rechnen. Auf eine naturverträglichere Gestaltung muss dabei auch vor dem Hintergrund der Wasserrahmenrichtlinie²⁷ geachtet werden.

Es bleibt die große Herausforderung, sich vor dem Hintergrund der ablaufenden und prognostizierten wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und ökologischen, v. a. klimatischen Prozesse mit *Raum-Zeit-Modellen der künftigen Landnutzung* zu beschäftigen, und zwar ganz differenziert auf regionaler Ebene und unter starker Berücksichtigung der Optimierung von Nachhaltigkeit, von Biodiversität und von landschaftsästhetischen Gesichtspunkten, wohl wissend, dass sehr viele landschaftliche Prozesse ungesteuert verlaufen und verlaufen müssen (was zur regionalen und lokalen Ausdifferenzierung der Kulturlandschaften beiträgt). Nicht nur Windräder, Biomasseproduktion auf Äckern, auf Grünland und in Gehölzbeständen und die damit verbundenen Strukturen sowie punktuell Solaranlagen werden zusätzlich zur Lebens- und Futtermittelproduktion eine Rolle in der Landschaft spielen, sondern auch andere Formen agroforstlicher Systeme sowie „archaische“ und gleichzeitig neue, extensive Weidesysteme mit Haus- und Wildtierarten (evtl. bis hin zum Game Farming), die aus Gründen der Offenhaltung und der Diversifizierung der Landschaft eingefordert werden und mancherorts auch schon verwirklicht sind.

Der DRL begrüßt, dass an einem Gesetz zur Förderung regenerativer Wärmequellen gearbeitet wird.

Möglichkeiten eines natur- und sozialverträglichen Biomasseanbaus in den Tropen und Subtropen, die Konzentration der Fotovoltaik in ariden Zonen bei geringer Nutzungskonkurrenz, weiter entwickelte Transporttechnologien (für die Seeschiffahrt solare oder segelähnliche Antriebe, Wasserstofftransport), Verbrennung von Biomasse in Kraftwerken mit CO₂-Abscheidetechnik (Senkung der atmosphärischen CO₂-Konzentrationen) und eine gewisse Konzentration der Nahrungsmittelproduktion in den nördlich-gemäßigten Regionen ergeben die Grundzüge eines



Fotovoltaikanlage oder Solarzellen in einem modernen Wohngebiet (Foto: Kreuz).

Szenarios, das zwar „futuristisch“ anmutet, aber – als Alternative zu Autarkiestrategien – gründlicher auf seine Machbarkeit und Wünschbarkeit durchdacht werden sollte. Dies setzt allerdings massive politische und rechtliche Veränderungen (Landreformen) voraus. Unter den bestehenden politischen, rechtlichen und institutionellen Bedingungen in den Ländern des Südens (Argentinien, Brasilien, Philippinen usw.) wird Biomasse als „cash crop“ die Armut der Bevölkerungsmehrheit nicht beseitigen können.

Neben der Nutzung der Wasserkraft an Land bei gesicherter Durchgängigkeit von Gewässern könnte die Meeresenergienutzung eine Option für die Zukunft sein. Unter dem Begriff Meeresenergie werden verschiedene Formen von mechanischer, thermischer und physikalisch-chemischer Energie zusammengefasst, die in den Wassermassen der Weltmeere enthalten sind. Die drei genannten Gruppen von Energieformen sind in verschiedenen Kraftwerkstypen nutzbar: Gezeiten-, Wellen-, Strömungskraftwerk (mechanische Energie); ozeanthermische Gradientenkraftwerke (thermische Energie) und Osmosekraftwerke, bei denen die Unterschiede im Salzgehalt nutzbar gemacht werden (physikalisch-chemische Energie).

Die technologische Entwicklung für die Energiegewinnung steckt noch in den Anfängen. Ökologische Auswirkungen auf

den „Meeresnaturhaushalt“ und insbesondere auf die Fauna und Flora der Meere sind zu erwarten und bedürfen daher rechtzeitig der sorgfältigen Erforschung ihrer Folgen.

11.2 Empfehlungen

Vor allem sind alle technischen Möglichkeiten der Senkung des Energieverbrauchs und zur Steigerung der Energieeffizienz bei allen bisher genutzten Energieträgern auszunutzen, weiter zu entwickeln und anzuwenden. Generell gilt auch für die erneuerbaren Energieträger, dass diese effizient und – je nach ihren spezifischen Eigenschaften und aufgrund von umfassenden Umweltbilanzen – nachhaltig genutzt werden.

Bei allen weiteren Entwicklungen und Nutzungen erneuerbarer Energien sollte die Raum- und Landesplanung eine gravierende Rolle bei der Beurteilung geeigneter Standorte spielen. In der Landes- und Regionalplanung der Länder wird es künftig verstärkt auf eine Regionalisierung und räumliche Differenzierung bei der Suche nach geeigneten Standorten für Biomasseerzeugung, Windkraftanlagen, Solar-/Fotovoltaikanlagen und Wasserkraftanlagen ankommen, die im Einklang mit dem demografischen Wandel und seinen sozioö-

²⁷ Vgl. hierzu auch BMU 2005b.

konomischen und ökologischen Folgen steht. Voraussetzung ist, dass es der Landes- und Regionalplanung gelingt, im Rahmen ihrer Verfahren die Öffentlichkeit zu beteiligen und so letztlich eine Zielharmonie zwischen Zielen des Naturschutzes und der Landschaftspflege und den Zielen der Erzeugung und Nutzung erneuerbarer Energieträger herzustellen.

Zu den wichtigsten Empfehlungen im Umgang mit und bei der Weiterentwicklung von erneuerbaren Energien gehören aus der Sicht des DRL die folgenden:

Zum Umgang mit Biomasse

- Auf regionaler Ebene sollen land- und forstwirtschaftliche Strategiepläne für den Energiepflanzenanbau entwickelt werden, die auf die Standorteignung abgestimmt sind. Hier sind insbesondere die Land- und Forstwirtschaftlichen Behörden im Rahmen ihrer Planungen gefragt (z. B. agrarstrukturelle (Vor-)Planung, Ländliche Neuordnung, Forsteinrichtung, waldbauliche Planung). Diese Planungen sind auch mit den finanziellen Steuerungsinstrumenten (z. B. Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung des Küstenschutzes und der Agrarstruktur, Agrarumweltprogramme) abzustimmen. Es ist Aufgabe der Landschaftsplanung, regionale Leitbilder zu entwickeln, die Aussagen zu Nutz- und Schutzflächen und zum Landschaftsbild treffen. Alles zusammengefasst sollte die Steuerung im Rahmen der Regionalplanung und ggf. auch die Lenkung finanzieller Hilfen erleichtern.
- Auch die Erzeugung von Biomasse muss der guten fachlichen Praxis gemäß Bundesnaturschutzgesetz und Bodenschutzgesetz folgen. Weitere Standards, die speziell auf den Biomasseanbau abgestimmt sind, sind zu entwickeln; bisher vorliegende Hinweise reichen nicht aus.
- In intensiv genutzten Gebieten dürfen durch Energiepflanzenanbau keine neuen Monotonien entstehen oder Bodenbelastungen durch die Anwendung von Pflanzenbehandlungsmitteln verursacht werden. Bestände, die aus zwingend wirtschaftlichen Gründen monokulturell genutzt werden, sollen durch ein Netz von Heckenstrukturen, Feldrainen, Blühstreifen und Staudenfluren aufgewertet werden.
- Ein solches Netz kann neben der Biomasseproduktion und der landschaftlichen Gliederung auch landeskulturelle Funktionen sowie Biotopfunktionen erfüllen, z. B. in Hanglagen dem Bodenschutz und der Abflussverzögerung dienen.
- Wo immer möglich, soll mit diversen Fruchtfolgen und in Mischkulturen nach dem Prinzip der differenzierten Landnutzung gewirtschaftet werden – unter Einbeziehung von positiven Randeffekten (z. B. Energieholz neben altem Wald oder Hecken, Energiepflanzenkulturen mit Ackerrandstreifen oder neben Blühstreifen).
- Vielfalt auf verschiedenen Ebenen – Arten, Sorten, Lebensgemeinschaften in ihrer räumlichen Anordnung, die vertikale Struktur von Pflanzengemeinschaften – setzt voraus, dass die Ackerschläge nicht allzu groß sind.
- Die Nutzung alter, biomassereicher Arten in der Fruchtfolge kann die Vielfalt deutlich erhöhen.
- Biomasseanbau kann dann besonders vorteilhaft sein, wenn er im Zweikultursystem betrieben wird; er ist im Intensivanbau dem herkömmlichen Anbau im Hinblick auf Belastungen ansonsten nicht überlegen. Es sind allerdings noch Untersuchungen zum Verhalten von Brutvögeln durch die veränderten Erntezeitpunkte notwendig.
- Biomasseanbau bietet Chancen für Grenzertragsstandorte und die Wertschöpfung im Ländlichen Raum (auch im peripheren Raum); ertragsschwache Standorte dürfen jedoch nur mit geringer Intensität (Low Input/Low Output-Systeme) energiewirtschaftlich genutzt werden, damit sich die häufig dort vorhandenen Naturschutzpotenziale entfalten können. Aus der Pflege von für den Naturschutz wichtigen Flächen oftmals in großen Mengen anfallendes Landschaftspflegegut kann energiewirtschaftlich genutzt werden.
- Was die Arten- und Naturschutzeffekte auf Biomasse-Produktionsflächen angeht, so besteht hier noch erheblicher Forschungsbedarf. Insbesondere die Beziehungen zwischen Fruchtfolge, Kulturartenmischung, Nutzungsintensität, Randliniendichte sowie Umgebungsfaktoren und Naturschutzeffekten bedürfen intensiver Untersuchungen.
- Wichtig ist die Aufstellung und Weiterentwicklung von ehrlichen Energie- und Ökobilanzen, um die Nutzung von verschiedenen Arten Biomasse effektiv zu gestalten.
- Bis zur Praxisreife der BtL-Erzeugung sollten die Zielvorgaben für die Kraftstofferzeugung aus Biomasse mindestens auf den heutigen Stand reduziert werden, damit keine weiteren Fehlinvestitionen erfolgen und nicht weitere landwirtschaftliche Flächen einer Nutzung unterliegen, die sowohl ökologisch als auch ökonomisch aufgrund besserer Alternativen (z. B. Zweikulturnutzung) nicht zu verantworten ist.
- Die für die Biomasseerzeugung vorhandenen Flächen sollten in einer Zwischenzeit – bis die BtL-Erzeugung praxisreif ist – für die Strom- und Wärmezeugung genutzt werden. Dadurch wird nicht nur die Energienutzungseffizienz um ein Mehrfaches verbessert, sondern auch die energetische Nutzung der Biomasse für den ländlichen Raum stärker erschlossen.
- Beim Biomasseanbau ist ferner zu bedenken, dass evtl. Mehrbelastungen von bestehenden Infrastrukturen und ggf. Neubauten notwendig werden, z. B. wegen des Transports und der Logistik (BtL, Bioethanol, Pellets, Hackschnitzel), und ggf. neuer Flächenverbrauch entsteht.
- Für die Einpassung von Biogasanlagen in das Landschaftsbild sind landschaftsplanerische Vorgaben notwendig.
- Bei der Biomassenutzung entstehen in den Anlagen Abfälle, Aschen oder auch Filterstäube, deren Verbleib geklärt werden muss.
- Energiewälder (Energieholzplantagen) sollten derart landschaftsgestaltend und raumgliedernd eingesetzt werden, dass neue ästhetische Werte entstehen oder vorhandene aufgegriffen werden. Auf vorhandene wichtige Sichtbeziehungen ist unbedingt zu achten. Es gilt, die Auswirkungen auf das Landschaftsbild zu berücksichtigen. Deshalb sollten die Länder die Anlage von Energiewäldern erlaubnispflichtig machen, um Entscheidungen im Einzelfall zu ermöglichen.
- Energiewälder (Energieholzplantagen) sollen eine gewisse Vielfalt an Arten aufweisen, um auch Biotopfunktionen (Refugium, Ausbreitungsstruktur, Nahrung und anderes mehr) wahrnehmen zu können. Zu berücksichtigen sind hierbei insbesondere verschiedene stockauschlagsfähige Bäume sowie Sträucher, die in der Niederwaldwirtschaft eine Rolle spielen. Es sollte geprüft werden, inwieweit auch klassische Niederwald- und Mittelwaldformen mit Eiche, Hasel, Birke, Hainbuche, Aspe in Energiekonzepten einbezogen werden können.
- Verschiedene Artenzusammensetzungen, und damit unterschiedliche Umtriebszeiten und Formen von Energiewäldern schlagen sich in einer differenzierten Ernte nieder. Arbeitswirtschaftliche Erfordernisse müssen hier mit landschaftlichen Wirkungen in Einklang gebracht werden.

- Bei waldartigen Nutzungen soll Übernutzung vermieden werden. Hierfür sind Schwellenwerte festzulegen.
- Im Wald darf die vermehrte Nutzung von Holz nicht zu Lasten von Totholz, Biotopbäumen und anderen naturschutzrelevanten Strukturen gehen. Dies gehört zu den Regeln einer guten fachlichen Praxis.
- Der weiteren Entwicklung des Grünlandes ist im Zuge der Biomasse-Erzeugung besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Aus naturschutzfachlicher Sicht wertvolles Grünland darf nicht intensiviert werden. Intensive Biomasse-Produktion sollte mit einer Verpflichtung zur Erhaltung extensiven Grünlandes gekoppelt werden.
- Hinsichtlich der Biomasse-Erzeugung und -Nutzung beim Grünland besteht großer Forschungs- und Handlungsbedarf. Der Umgang mit der ökologischen und kulturellen Vielfalt der Wiesen und Weiden, Rasen und Triften erfordert höchste Sensibilität.
- Generell fehlen zu den Auswirkungen auf das Landschaftsbild häufig geeignete Kriterien und Akzeptanzstrategien. Hier muss weiter an der Leitbildentwicklung gearbeitet werden; insbesondere ist zu untersuchen, welche Formen des Biomasseanbaus in vertraute Landschaftsbilder passen (z. B. Agrarforstsysteme, Alley Cropping) und die Kulturlandschaft nicht entwerten.
- Im Zusammenhang mit internationalem Biomassehandel sollen rechtzeitig vor der WTO vertretbare Strategien und Kriterien entwickelt werden, um umweltverträgliche nachhaltige Nutzungen in den Herkunftsländern fördern und prüfen zu können (z. B. Zertifikatlösungen, Einfuhrkontrollen etc.).

Zum Umgang mit Windkraftanlagen (WKA)

- Mit Hilfe des Planungsrechts (Regional- und Landesplanung, Bauleitplanung) sollten WKA auf landschaftlich verträgliche Standorte mit ausreichend Windangebot konzentriert werden, um andersorts unverbaute Landschaften zu erhalten. Abstandsregelungen zu besiedelten Bereichen, aber auch Abstände zu Schutzgebieten sind einzuhalten.
- Im Zuge des Repowerings sollten risikoreiche Standorte für Vögel und Fledermäuse sowie aus landschaftsästhetischer Sicht unpassende WKA aufgegeben und durch weniger problematische ersetzt werden. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass ab einer Steigerung der Gesamtleistung eines Windparks um das

1,5-fache im Zuge des Repowerings mit negativen Auswirkungen zu rechnen ist. Diesen könnte mit dem Instrument der Eingriffsregelung begegnet werden.

- Die vielfältigen Methoden zur Bewertung der Landschaft und des Landschaftsbildes bedürfen der Präzisierung und weiterer Erprobung, um mehr Akzeptanz zu finden.
- Neben der geeigneten Standortwahl für WKA in Bezug auf Vögel und Fledermäuse sollten die Standorte potenzieller Kollisionen möglichst unattraktiv gestaltet werden; so könnte innerhalb einer Windparkfläche darauf verzichtet werden, Gehölze als Kompensationsmaßnahme zu pflanzen, da diese während der 20-30-jährigen Betriebsdauer der WKA zu attraktiven Leitstrukturen für Fledermäuse heranwachsen.
- Insbesondere sind Kollisionen von Rotmilanen und Seeadlern mit WKA zu vermeiden und deren Lebensräume zu beachten, da Deutschland für diese Arten aufgrund ihrer Verbreitung besondere Verantwortung trägt.
- Bestimmte bauliche Vorkehrungen (z. B. Vermeidung von Gittermasten, nächtliche Beleuchtung) sowie eine geeignete Anordnung der WKA (parallel zur Hauptflugrichtung von Zugvögeln oder wandernden Fledermäusen anstatt quer) können helfen, negative Auswirkungen zu minimieren.
- Der Wissensstand hinsichtlich der Auswirkungen von WKA insbesondere auf Zugvögel und wandernde Fledermäuse muss weiter verbessert werden und Eingang in Planungsleitlinien finden.
- Die Auswirkungen von Offshore-WKA auf den Vogelzug sowie auf die Meeresfauna und -flora und den Untergrund bedürfen umfangreicher Untersuchungen; dies gilt z. B. auch für Lärmbelastungen unter Wasser, Erschütterungen, Kabelverlegungen u. a. m.
- Offshore-WKA ziehen den Bau von Einspeisungs-, Umspann- und Energiefreileitungen mit ihren Trassen nach sich. Hier liegt ein wichtiger Aufgabenbereich vor, der von der Landes- und Regionalplanung steuernd zu begleiten ist.
- Bekannte oder befürchtete Wirkungen von WKA auf die Gesundheit des Menschen sind ernst zu nehmen und weiter zu erforschen.

Zum Umgang mit Solarenergie/ Fotovoltaik

- Solar- und Fotovoltaikanlagen gehören vorrangig in den besiedelten Bereich, auf Haus- und Garagendächer, Industrieanlagen oder an Lärmschutzwände.

- Die Standortwahl von Fotovoltaik-Freiflächenanlagen hängt nicht nur vom Flächentyp ab, sondern von umgebungsspezifischen Merkmalen. Es sollte stets der Einzelfall geprüft werden. Für die landschaftliche Einbindung sind Landschaftspflegerische Begleitpläne unumgänglich.
- Es besteht noch Forschungsbedarf darüber, ob Fotovoltaik-Freiflächenanlagen z. B. Auswirkungen auf das Verhalten von Zugvögeln durch die großen verspiegelten Flächen haben.
- Zusammenhängende Landschaftsräume dürfen nicht durch die Anlage von Fotovoltaikanlagen zerstört werden.
- Der Wissensstand hinsichtlich der Auswirkungen von Fotovoltaikanlagen-Freiflächenanlagen und deren Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Akzeptanz ist zu verbessern.

Zum Umgang mit Wasserkraft

- Die Wasserkraftgewinnung ist auf die bereits vorhandenen Anlagen sowie deren ökologische, technische und wirtschaftliche Optimierung zu beschränken und sollte vom Rückbau nicht mehr benötigter Anlagen begleitet werden.
- Technische Lösungen zur Wiederherstellung der Längsdurchgängigkeit von Fließgewässersystemen an Standorten der Wasserkraft zur Sicherstellung ihrer Funktionsfähigkeit (Fisch- und Makrozoobenthosauf- und -abstieg) sind weiter zu entwickeln.
- Ausleitungsstrecken sollen eine auf die ökologischen Ansprüche abgestimmte Mindestwasserführung vorsehen, der Betrieb von Wasserkraftanlagen sollte das Wanderungsverhalten der Fischarten berücksichtigen (nicht nur der Symbolarten Lachs und Aal) und Stauräume sollten naturverträglich bewirtschaftet werden.
- Der Wissensstand über die Auswirkungen von Wasserkraftanlagen auf aquatische und terrestrische (insbesondere grundwasserabhängige) Ökosysteme bedarf der weiteren Verbesserung. Dasselbe gilt für die Verbesserung des Wissensstandes über Grundlagen und praktische Umsetzung des Biotopverbunds betroffener Habitate in einem Gewässersystem.

Auch bei einem forcierten Ausbau der erneuerbaren Energien wird in absehbarer Zeit auf die fossilen Energieträger zur Sicherung der Versorgung nicht verzichtet werden können – insbesondere wenn die Absicht des Ausstiegs aus der Atomenergie – die der DRL begrüßt – bestehen bleibt. Technische Innovationen, z. B. das emis-

sionsreduzierte Braunkohlekraftwerk²⁸, können dabei bestehende Umweltprobleme verringern. Ein Mix aus verschiedenen Energiequellen wird jedoch vorläufig notwendig sein, um auf den schwankenden Bedarf an Strom (Grundlast, Spitzenlast, jahreszeitlich bedingte Schwankungen) reagieren zu können.

Der DRL geht in seiner Stellungnahme von der Voraussetzung aus, dass die Vorteile erneuerbarer Energien im Vergleich mit fossilen und nuklearen Energien deutlich überwiegen könnten, wenn die *derzeit noch vorhandenen Gestaltungsspielräume* bei ihrer Einführung konsequent im Sinne einer „Ökologisierung“ der Landnutzung ausgenutzt werden. Die Empfehlungen können dabei allen Entscheidungsträgern im Umgang mit erneuerbaren Energien eine Hilfe sein. Allerdings sieht er auch die Gefahr, dass im Gefolge der derzeitigen „Goldgräberstimmung“ bei den möglichen Nutzern Sachzwänge geschaffen werden, die diese Gestaltungsmöglichkeiten einschränken.

12 Summary²⁹

Energy prices are mounting, the content of CO₂ in the atmosphere is increasing, the global annual average temperature is rising, weather fluctuations are becoming more extreme. All of this, as it is becoming progressively certain, is caused in part by our untamed consumption of fossil fuels.

In addition to the two most important measures, *energy conservation* and *increasing energy efficiency*, the *use of renewable energy sources* is an important element of climate protection and helps to reduce greenhouse gas emissions.

In order to increase the share of renewable energies in *power generation*, the German Renewable Energies Act was created to form an important promotional instrument for regulating feed-in tariffs. In 2005, renewable energy sources took up 4.6 % of the total primary energy consumption in Germany (14,238 PJ).

The objective of the German Federal Government is to increase the percentage of renewable energies in power generation to 12.5 % by 2010 and to at least 20-25 % by 2020. In addition to climate protection, the objectives of landscape management and biological diversity are to be met with a sustainable, ecologically compatible energy supply. We therefore need strategies to minimize conflicts and to control the different spatial claims. In order for society to

accept the continued expansion of renewable energies, their advantages and disadvantages, risks, requirements and prospects must be laid open and discussed so that possible conflicts between this expansion and nature conservation and landscape management can be mitigated or avoided.

The greatest changes in the landscape are anticipated from the future increased cultivation of biomass, which competes with the goals of sustainability (e. g. organic farming, habitat systems, and soil and water protection).

Biomass consists of plants and plant parts (e. g. various species of tree and shrub cultures, field crops, various grass species and plants previously used for feed and oil, starch and fibre crops), but also of waste and by-products of plant and animal origin, such as waste wood, cuttings resulting from landscape management or liquid manure. Biomass can be used to provide heat, power and fuel in solid form (e. g. plants), liquid form (alcohols and rapeseed oil methyl ester (biodiesel) produced from biomass) or as gas (e. g. produced from gasification, pyrolysis or fermentation of biomass). Biomass can be cultivated on farmland, forestland and grassland.

In 2004, 9.4 TWh of electricity, 59.8 TWh of heat and 11.3 TWh of fuel produced from biomass was used. The technically possible potentials are estimated many times higher, however they depend on the type of biomass and how it is produced and used. Biomass production is highly accepted among farmers („energy farmers“), since this type of production agrees with the cultural pattern of farming. Compared with pure landscape management, biomass farming generates a directly marketable product, which can also serve to create jobs and increase added value in rural regions.

Agricultural production of biomass can differ a great deal from conventional production. The two-crop system, for example, involves cultivating and harvesting the total biomass from two cultures in the course of one year. A winter and a summer crop are grown in succession and the entire plants harvested and used for energy. A comparison with the various agricultural uses shows that the two-crop system is clearly superior both ecologically and economically to other crop systems, at least in regions with precipitation levels higher than 600 – 700 mm/a. In addition, it fulfils important requirements of soil and nature conservation and of good practice. In regions where two-crops are not possible due

to unfavourable local conditions, the agonomic measures used for growing energy crops must always fulfil the same minimum requirements of „good agricultural practice.“ Energy crops can also be grown organically.

Energy forests are a land use system similar to coppicing that can be grouped between agriculture and forestry. Usually, chemical treatment agents are employed only for plantation establishment, i. e. only once for a use duration of approx. 30 years; an ecological advantage. Varying amounts of nutrients are stored in the individual biomass parts of the forests, which are returned to the soil via litter fall (incl. deadwood) in a cyclical system. Therefore, compliance with removal thresholds is essential for sustainable management. Fertilization of commercial forests used for energy production is permissible on principle only in the scope of good practice.

An energy forest consists of different age classes according to the rotations chosen for the annual harvest. Shade intolerant open land species each have their opportunity on the respective last-harvested areas. For energy timber plantations in particular, linear, open structures in the stand, the outer boundary structures and connections to existing structures in the surroundings make major contributions to nature conservation. The plantations could also fulfil biotope-connecting functions. When managing a composite forest, the underwood is used commonly and traditionally for energy production in intervals of approx. 30 years. Depending on the density of the up-

28 Bei der Verbrennung von Kohle entsteht stets CO₂, das bei den so genannten CO₂-freien Kraftwerken durch technologische Prozesse (Abscheidung und Lagerung) entzogen wird, so dass es nicht in die Atmosphäre emittiert wird. So wird beim Oxy-fuel-Verfahren Braunkohle mit einem Gemisch aus reinem Sauerstoff und rezirkuliertem Rauchgas verbrannt. Das bei der Verbrennung anfallende CO₂ soll dann in geologischen Speichern wie erschöpften Öl- und Gasfeldern, tiefen Salzwasser führenden Gesteinsformationen oder tiefen Kohleflözen, aber auch in den Ozeanen eingelagert werden. Die Frage der dauerhaften Speicherung ist allerdings noch nicht gelöst, da nicht auszuschließen ist, dass das Gas im Laufe der Zeit an die Erdoberfläche (beispielsweise durch Bohrlöcher von ehemaligen Erkundungsbohrungen) und damit in die Atmosphäre zurückkehren kann. Der Energiekonzern Vattenfall testet derzeit das Verfahren der CO₂-Abscheidung gemeinsam mit universitären Forschungsgruppen in einer Pilotanlage am Standort Schwarze Pumpe in Spremberg (Brandenburg).

29 Übersetzung/Translation: Faith Gibson-Tegethoff

per storey, which can fluctuate considerably, the forest character of the stands is not lost.

Nevertheless, the increased use of timber as fuel should not be a detriment to deadwood, biotope trees and other structures relevant to nature conservation. With the use of weak assortments, which could perhaps be profitable at first, it is possible to increase structural diversity in same-aged pure stands through stronger interventions. As long as the biomass use is limited to early phases of stand development and no strong potential biotope or deadwood trees are used, there is hardly any danger of a decrease in biodiversity.

Other possible sources of energetically utilizable timber are undesired growth and stumps grubbed up on lands that are valuable to nature conservation (e. g. shrub-invaded bogs, moist grasslands, heath land and dry meadows), whose degree of canopy and therefore shelter has exceeded a critical threshold with regard to the conservation objective. The proceeds from this material could at least decrease the costs of landscape management.

A further possibility for producing energy timber is to plant hedgerows (e. g. in intensively farmed regions), which divide up the landscape and take up structural and trophic functions.

It is difficult to assess biomass production on grassland. In some regions, particularly so-called absolute grassland regions, this may preserve the endangered grassland. However, for profitable energy production, energy rich growth of fertile meadows is required, hence not the cuttings from low-yield, crude fibre-rich, herb- and therefore blossom-rich rough pastures. This can result in species protection problems. The biomass boom in grassland farming in particular requires intensive expert nature conservation monitoring and planning, in order to not accelerate the loss of species-rich grassland. Different plant species are suitable for cultivation and can be mixed; even old varieties could experience a „renaissance.“ This increases the possibility of great structural and colour diversity in the region. Since each crop species also has specific associate plants, there is the possibility to offer field weed communities new habitats. Allowing boundary ridges, planting of linear structures in and between the fields and the establishment of flowering strips can have considerable effects for promoting associate plants, wild flora and some animal species groups.

Biomass production, whether on the field, in forests or on grassland, changes the accustomed appearance of landscapes. Some of the species used can grow to enormous heights; for example, maize 3 to 4 m, hemp and zebra grass up to 4 m. In conjunction with the regional model development, research should be done on which forms of biomass cultivation could be integrated in familiar characteristic landscapes and social practices. It is highly probable that biomass agroforestry systems or growing methods that can be interpreted as a „return“ to earlier types of land use (such as coppices) and that do not run counter to widespread landscape perceptions, including aesthetic sensitivities, would be particularly favourable with regard to aesthetic and cultural acceptance. In this respect, alley cropping also seems a very appealing option.

In 2004, *wind power* held the largest share of power generation (26.5 TWh) of renewable energies with approx. 4.6 %. The suitable sites for wind power plants on land have been developed to the most part. In coming years, the focus of further development will be on so-called repowering and the construction of offshore plants. Due to technical challenges, high development and construction costs and special environmental requirements, the first offshore wind power plants will not be completed and functional until 2010. Questions concerning the location of transport routes and grid connection are presently still not clarified. The present debate revolves around the landscape appearance, species protection and subsidization. Under certain circumstances, wind power plants on land can lead to disturbances and increased mortality rates for birds and bats. Carrying out the required grid connection of offshore wind power plants may have negative ecological effects (e. g. laying cables, warming of layers near the ground, heavy metal pollution in the surroundings, electro-technical impairments to fish due to cables). The erection of wind power plants on land is often very critically assessed by adjacent owners. They fear effects on their health from noise and subsonic noise, from shadow flicker and the so-called disco effect as well as impairments to the landscape appearance.

When we speak of *solar energy*, we differentiate between solar thermal energy and photovoltaics. The former is employed by using or converting solar radiation into heat predominantly on the roofs of private homes to produce warm water for home requirements. In photovoltaics, sunlight is converted by solar cells directly into electrical energy. This type of energy use can

be employed decentrally. Reimbursement of electrical power is promoted for a certain period in order to get the technology ready for the market. Photovoltaic *open space* plants in particular can have effects on nature and the landscape (covering the landscape with reflective surfaces, possible effects on the landing behaviour of breeding or migrating birds, massive fencing in of the plants, „cutting up“ landscapes). Only relatively recently the trend is not only in highly sunlit regions of southern Germany, but also sites in other areas, as the increasing number of proposals from the *Länder* demonstrate. Even if the reimbursement of produced energy is for a limited duration, the plants remain part of the landscape for many decades and change its appearance.

After wind power, *hydroelectric power* takes up the second-highest share of the renewable energy sources in Germany. It can be used to produce electrical power according to demand both to safeguard the base load and for the peak load. Because of the relevant surface forms, most river power plants are located in the south of Germany. Further expansion is problematical because of the geographical location and for nature conservation reasons (particularly small-scale hydroelectric power). Potentials for increasing power generation lie in modernizing and increasing the efficiency of outdated large-scale power plants and less in the development of new sites. Interrupting the watercourse continuum with groynes and dams primarily impedes fish migrations as well as dissemination of aquatic and semi-aquatic invertebrates and alters the erosion and deposition processes and discharge behaviour. This applies chiefly with regard to the general requirements for example of the European framework directive for water policy, which demands good ecological conditions. The future establishment of small-scale hydroelectric power plants is not suitable for most regions of Germany.

There is no alternative to the increased use of a prudent mixture of renewable energies. First, all technical possibilities for decreasing energy consumption and for increasing energy efficiency of all energy sources used at present must be exploited, further developed and applied. In general, the same applies for the renewable energy sources: that they are efficient and – depending on their specific properties and based on extensive life cycle assessments – used sustainably.

Regional and land use planning should play a major role in evaluating suitable si-

tes for all further developments and uses of renewable energies. In the future land use and regional planning of the *Länder*, the search for suitable sites for biomass production, wind power plants, solar/photovoltaic plants and hydroelectric power plants will rely more on regionalization and spatial differentiation that are harmonized to demographic change and its socioeconomic and ecological consequences. The prerequisite for this is that land use and regional planners are able to involve the public in the scope of their procedures and thus ultimately create a harmony between the objectives of nature conservation and landscape management and the objectives of the production and use of renewable energy sources.

In order to reach sustainable, justifiable solutions that meet broad regional acceptan-

ce, it is advisable to monitor and steer such processes using the instruments of environmental communication. Landscape planning in accordance with the Federal Nature Conservation Act can offer the instrumental framework for this.

The situation in intensively used cultivated landscapes is a grave problem in particular for central Europe, since natural biotopes are surrounded by anthropogenic-dominated structures and cannot adapt to climatic change through „migration.“ This underscores the great importance of linked biotope networks including corridors, stepping stones and widely unbroken spaces and the necessity to reduce the extent and speed of climate change as best as possible. In this respect, „nature-friendly“ species for biomass production could offer opportunities to reconcile climate protection and nature

conservation with one another. More extensive and nature- and landscape-friendly forms of biomass cultivation are another option to be pursued with regard to the adaptation to climate changes.

The DRL (German Council for Land Stewardship) assumes the prerequisite that the advantages of renewable energies could clearly outweigh those of fossil and nuclear energies if the *existing creative margin* is consistently exploited in their introduction in the sense of an „ecologization“ of land use. The detailed recommendations the DRL presented can be helpful to all decision makers for dealing with renewable energies. Nevertheless, he also recognizes the risk that in the wake of the present „gold-digger attitude“ practical constraints will be created for the possible users that restrict these creative possibilities.

Freiburg, den 31. Juli 2006

Der Sprecher



Prof. Dr. Werner Konold

13 Literatur

- ADAM, K.; NOHL, W. & VALENTIN, W. (1986): Bewertungsgrundlagen für Kompensationsmaßnahmen bei Eingriffen in die Landschaft. – Erstellt im Auftrag des Ministers für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, 3. Auflage 1992.
- ARGE Monitoring PV-Anlagen (2005): Fotovoltaik-Freiflächenanlagen – Aktuelle Erfahrungen und Konfliktlinien. Workshop-Dokumentation 21.-22.03.2005. – <http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/dokumentation-endfassung-workshop.pdf>.
- ARGE Monitoring PV-Anlagen (2005): Monitoring zur Wirkung des novellierten EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Solar-energie, insbesondere der Photovoltaik-Freiflächen. 2. Zwischenbericht, 31.01.2006. – http://www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/35964.php.
- BACH, L. & DIETZ, M. (2003): Mindestanforderungen zur Durchführung von Fledermausuntersuchungen während der Planungsphasen von Windenergieanlagen (WEA). – Sächs. Akad. Natur u. Umwelt (Hg.): Kommen Vögel und Fledermäuse unter die (Wind)räder? – CD mit den Beiträgen der Veranstaltung v. 17./18.11.2003, Dresden.
- BACH, L. (2003): Effekte von Windenergieanlagen auf Fledermäuse. – Beitrag zur Tagung der Akademie der Sächsischen Landesstiftung Natur und Umwelt vom 17.-18.11.2003 an der TU Dresden „Kommen Vögel und Fledermäuse unter die (Wind)räder?“ Dresden.
- Bayer. Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (2005): Gesamtkonzept Nachwachsende Rohstoffe. 20 S.
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2004): Daten zur Natur. Münster: Landwirtschaftsverlag. 82-90.
- BINSWANGER, H. C. (1998): Zur Landschaftseinwirkung der Windkraftanlagen. Die Windenergie im Widerstreit. – Energie und Landschaft. Hohenheimer Umwelttagung 30, 39-47.
- BiomasseV – Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse – i. d. F. vom 21.6.2001, zuletzt geändert durch Erste Verordnung zur Änderung der Biomasseverordnung vom 9.8.2005.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) Hg. (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Berlin: Köllen Druck. 308 S. <http://www.bmu.de/erneuerbare-energien/doc/5650.php>
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2005a): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung – Stand: Dezember 2005 – Internet-Update. <http://www.erneuerbare-energien.de>.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hg.) (2005b): Leitfaden für die Vergütung von Strom aus Wasserkraft. – Berlin, 143 S.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2006a): Entwicklung der erneuerbaren Energien im Jahr 2005 in Deutschland. Stand: Februar 2006. – <http://www.erneuerbare-energien.de>.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hg.) (2006b): Innovation durch Forschung. Jahresbericht 2005 zur Forschungsförderung im Bereich der erneuerbaren Energien. 44 S.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2006c): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung – Stand: Mai 2006 – Internet-Update. <http://www.erneuerbare-energien.de>.

BMVBW (Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen) & BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hg.) (2005): Future Landscapes. Perspektiven der Kulturlandschaft. – Bonn/Berlin, 119 S.

BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft) (2004): Die zweite Bundeswaldinventur. Das wichtigste in Kürze. 87 S.

BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) & BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2006): Energieversorgung für Deutschland. Statusbericht für den Energiegipfel am 3. April 2006. – <http://www.bmw.de/Redaktion/Inhalt/te/Pdf/E/energiegipfel-statusbericht.property=pdf,bereich=bmw,sprache=de,rwb=true.pdf>, Stand 17.03.2006.

BRINKMANN, R. (2004): Welchen Einfluss haben Windkraftanlagen auf jagende und wandernde Fledermäuse in Baden-Württemberg? – Tagungsführer der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg, H. 15 „Windkraftanlagen – eine Bedrohung für Vögel und Fledermäuse? – http://www.buero-brinkmann.de/Windkraft_Brinkmann.pdf, 26 S.

BRINKMANN, R.; SCHAUER-WEISSHAHN, H. & BONTADINA, F. (2006): Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg. – <http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1158478/rpf-windkraft-fledermaeuse.pdf>, 63 S.

Bodenschutzgesetz – Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundesbodenschutzgesetz) v. 17. März 1998 (BGBl. I S. 502).

Bundesnaturschutzgesetz – Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz) v. 25. März 2002 (BGBl. I 2002, 1193), zuletzt geändert durch Art. 40 G v. 21. Juni 2005 (BGBl. I S. 1818).

Bundeswaldgesetz – Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz) vom 2. Mai 1975 (BGBl. I S. 1037), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 5 des Gesetzes vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1954).

BURGER, F. (2005): Energiewälder und Ökologie: positive Auswirkungen auf Flora, Fauna und Boden.. – LWF-aktuell Nr. 48, 26-27.

BURGER, F. (2004): Ökologische Auswirkungen von Energiewäldern. – Bornimer agrartechnische Berichte, H. 35, Potsdam-Bornim.

Da COSTA-GOMEZ, C. (2005): Die wichtigsten Änderungen in der EEG Novelle vom August 2004 und ihre Umsetzung in die Praxis. – Tagungsbd. zur 14. Jahrestagung des Fachverband Biogas e. V., 11. bis 14. Januar 2005 in Nürnberg.

Die Bundesregierung (2001): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Bundeskanzleramt, 266 S.

Deutscher Bundestag (2005): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Christel Happach-Kasan, Angelika Brunkhorst, Dr. Karl Addicks, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP – Drucksache 15/5064 –. Deutscher Bundestag – 15. Wahlperiode, Drucksache 15/5188.

ENDER, C. (2006): Windenergienutzung in Deutschland – Stand 31.12.2005 –. – DEWI Magazin Nr. 28, 10-21.

EEG – Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 1. April 2000; aktuelle Fassung: Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich vom 21. Juli 2004, BGBl. Teil I Nr. 40, ausgegeben zu Bonn am 31. Juli 2004.

EU (2005) : Biomass Action Plan. – Mitteilungen der Kommission Com 2005 G 28 final Sec 2005 1573, Brüssel, 7.12. 2005, 47 S.

EU Richtlinie (2003): Richtlinie 2003/30 EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor. 08. Mai 2003.

Europäische Union (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 327 vom 22. Dezember 2000. – EG WRRL.

FLAIG, H. et al. (1998): Biomasse – nachwachsende Energie. Potenziale – Technik – Kosten. – Kontakt und Studium, 539, 209 S.

FRITSCH, U. R., DEHOUST, G. & JENSEIT, W. (2004): Stoffstromanalyse der nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. – Verbundprojekt gefördert vom BMU im Rahmen der ZIP, Endbericht, Bonn, 294 S.

FRITSCH, U. R. & WIEGMANN, K. (2005): Potenziale und Szenarien für die zukünftige Biomassenutzung. – Natur und Landschaft, 80, H. 9, 396-399.

GERHARDS, I. (2003): Die Bedeutung der landschaftlichen Eigenart für die Landschaftsbildbewertung: dargestellt am Beispiel der Bewertung von Landschaftsbildveränderungen durch Energiefreileitungen. – Culterra 33, 225 S.

GOSSNER, M. (2004): Diversität und Struktur arborikoler Arthropodenzönosen fremdländischer und einheimischer Baumarten. – Neobiota Band. 5, 320 S.

GRASS, R. & SCHEFFER, K. (2005) : Alternative Anbaumethoden: Das Zweikulturnutzungssystem. – Natur und Landschaft, 80, H 9/10, 435-439.

GRÜNEWALD, H., WÖLLECKE, J., SCHNEIDER, B. U. & HÜTTL, R. F. (2005): Alley-Cropping als alternative Folgenutzung von Kippenstandorten. – Natur und Landschaft, 80, H. 9/10, 440-443.

HEIMERL, S. & GIESECKE, J. (2004): Wasserkraftanteil an der elektrischen Stromerzeugung in Deutschland 2003. – WasserWirtschaft 10/2004, 28-40.

HOFFMANN, A. & AMLING, M. (2005): Beeinträchtigung des Schutzgutes Landschaftsbild – Bewertung und Kompensation am Beispiel von Windkraftanlagen. – Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen, 42, H. 2, 49-55.

HÖTKER, H.; KÖSTER, H. & THOMSEN, K.-M. (2005): Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse. – BfN-Skripten 142, Bonn-Bad Godesberg, 83 S.

HÜPPOP, O.; DIERSCHKE, J.; EXO, K.-M.; FRIEDRICH, E.; HILL, R. (2006): Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines. – Ibis, 148, 90-109.

JESSEL, B. & KULER, B. (2006): Naturschutzfachliche Beurteilung von Freilandphotovoltaikanlagen. Analysen und Vorschläge zur Beurteilung am Beispiel Brandenburgs. – Naturschutz und Landschaftsplanung, 38, H. 7, 225-232.

JUG, A. (1997): Standortkundliche Untersuchungen auf Schnellwuchsplantagen unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffhaushalts, Dissertation LMU München, Hieronymus München.

KARPENSTEIN – MACHAN, M. (1997): Konzepte für den Energiepflanzenanbau – Perspektiven eines pestizidfreien Anbaus von Energiepflanzen zur thermischen Verwertung im System der Zweikulturnutzung. Frankfurt a. M.: DGL-Verlag, 183 S.

KARTHALS, M. (2004): Before Dinner: Philosophy and Ethics of Food. Dordrecht: Springer.

KELLERMANN, A. (2004): Offshore-Windparks und die Meeresumwelt. – Jahrbuch Ökologie 2005. München: Verlag C.H. Beck. 74-82.

Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD (2005): Gemeinsam für Deutschland – mit Mut und Menschlichkeit. 191 S.

KÖHLER, B. & PREISS, A. (2000): Erfassung und Bewertung des Landschaftsbildes. – Inform. d. Naturschutz Niedersachs., 20, H. 1, 1-60.

KONOLD, W., (2006): Wälder im Waldland aus landespflegerischer Sicht. – TANNER, K.M., BÜRGI, M., COCH, T. (Hg.): Landschaftsqualitäten, Festschrift für Prof. Dr. Klaus C. Ewald. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt-Verlag, 293-317.

KRANE, N. (2004): Die Sonnenseiten der Landschaft. Aktiver Klimaschutz durch umweltgerechte Solarparks. – Ökologisches Wirtschaften 2004/5, 22-23.

KUSENBACH, J. (2005): Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Fledermäuse. – Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen, 42, H. 2, 56-61.

KWKG – Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) vom 18. März 2002, BGBl. I S. 1092). Geändert durch Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich vom 21. Juli 2004, BGBl. I Nr. 40 vom 31.7.2004 S. 1918, geändert d. Art. 7 Gesetz vom 03.05.2005 (BGBl. I S. 1224), zuletzt geändert durch Art. 3 Gesetz vom 22.09.2005 (BGBl. I S.2883).

Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten NRW (Hg.) (2005): Natur und Landschaft in Nordrhein-Westfalen 2005. – LÖBF-Mitteilungen 4/2005, 283 S.

LIESEBACH, M. et al. (1999): Ökologische Aspekte der Kurzumtriebswirtschaft. – Modellvorhaben „Schnellwachsende Baumarten“, Zusammenfassender Abschlussbericht. Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH, 455-476.

LÜBBERT, D. (2005): Das Meer als Energiequelle. Wellenkraftwerke, Osmose-Kraftwerke und weitere Perspektiven der Energiegewinnung aus dem Meer. Info Brief WF VIII – 116/2005. 26 S.

METTE, R. (2005): Energetische Verwertung von Landschaftspflegeholz am Beispiel der schleswig-holsteinischen Knicklandschaft. – Natur und Landschaft, 80, H. 9/10, 416-420.

- MLUR Brandenburg (2003): Tierökologische Abstandskriterien für die Errichtung von WEA in Brandenburg. – <http://www.mlur.brandenburg.de/cms/media.php/2318/tierabs.pdf> (Stand 25.01.2006).
- MORGENSCHWEIS, G. (2003): Schwall und Sunk aus Wasserkraftbetrieb kontra hydrologische Leitbilder. Workshop „Flussgebietsmanagement“ der DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef.
- Niedersächsischer Landkreistag (2005): Hinweise zur Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege sowie zur Durchführung der Umweltprüfung und Umweltverträglichkeitsprüfung bei Standortplanung und Zulassung von Windenergieanlagen. – Hannover, 30 S.
- NOHL, W. (1996): Windkraftanlage und Landschaftsbild – Bewertungsverfahren für Standortvergleich und Eingriffsermittlung. – Aktuelle Probleme der Windkraft in Deutschland: Raumordnung, Naturschutz, Genehmigungsverfahren, Förderung, Perspektiven, 173-209.
- OECHSNER, H. (2005): Möglichkeiten zur energetischen Verwertung von Landschaftspflegeheu. – *Natur und Landschaft*, 80, H. 9/10, 426-429.
- Öko-Institut Freiburg et al. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Verbundprojekt gefördert vom BMU im Rahmen des ZIP, Projektträger: FZ Jülich. Endbericht. Darmstadt ..., 294 S. <http://www.oeko.de/service/bio/de/index.htm>
- OREJAS, C., JOSCHKO, T., SCHRÖDER, A., DIERSCHKE, J., EXO, M., FRIEDRICH, E., HILL, R., HÜPPO, O., POLLEHNE, F., ZETTLER, M. L., BOCHERT, R. (2005): Ökologische Begleitforschung zur Windenergienutzung im Offshore-Bereich auf Forschungsplattformen in der Nord- und Ostsee (BeoFINO), BMU.
- OTT, K. & C. BARTOLOMÄUS (2005): Konflikte beim Ausbau der Offshore-Windenergie in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ): die Stellungnahme des SRU. – Nutzungs- und Schutzkonflikte in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ): rechtliche Steuerungsmöglichkeiten. Dokumentation des Rostocker Gesprächs zum Seerecht 2003.
- RAAB, K. & RÖSCH, C. (2005): Grünlandüberschuss in Baden-Württemberg. – *Berichte über Landwirtschaft*, Bd. 83, H. 3, 388-414.
- Regionaler Planungsverband Westsachsen (2004): Regionalplanerische Beurteilung von Vorhaben zur großflächigen Nutzung solarer Strahlungsenergie im Freiraum Westsachsens. Informationen zur Regionalentwicklung 06/2004, 14 S. <http://www.rpv-westsachsen.de>.
- REINHARDT, G. A. & GÄRTNER, S. O. (2005): Biokraftstoffe made in Germany: Wo liegen die Grenzen? – *Natur und Landschaft*, 80, H. 9/10, 400-402.
- RENGER, M. & WESSOLEK, G. (1994): Mögliche Auswirkungen von Klima- und Landnutzungsänderungen auf den Bodenwasserhaushalt unter besonderer Berücksichtigung der Grundwasserneubildung. Schriftenreihe des Rheinisch Westfälischen Instituts für Wasserchemie und Wassertechnologie, Duisburg, Band 7, 119-136.
- RIEGER, C. et al. (2003): Ergebnisse des Biogasmessprogramms zur Biogasqualität landwirtschaftlicher Kofermentationsanlagen. – FNR (Hg.): Gülzower Fachgespräche 21, 24-31.
- RODE, M., (2005): Energetische Nutzung von Biomasse und der Naturschutz. – *Natur und Landschaft*, 80, H. 9/10, 403-412.
- SCHAAL, P. & KOLSHORN, J. (2005): Windenergie quo vadis? Entwicklungspotenziale der Windenergie auf Binnenlandstandorten in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt. – *Raumforschung und Raumordnung*, 63, H. 6, 432-443.
- SCHEFFER, K. (2000): Energie aus der Vielfalt der Pflanzenarten- Ein neuer Ansatz zur ökonomischen und ökologischen Optimierung der Biomassennutzung. Tagung der Union der Deutschen Akademie der Wissenschaften in Stuttgart „Energie und Umwelt- Wo liegen optimale Lösungen?“, Tagungsband, 117-127.
- SCHEFFER, K. (2005): Bereitstellungskonzepte von Biomasse für die Kraftstoffproduktion. – 7. Eurosolar – Konferenz, Bonn Februar 2005, Tagungsband 7 S.
- SCHINDLER, R. (2005): Landschaft verstehen. Industriearchitektur und Landschaftsästhetik im Schwarzwald. Freiburg i. Br.: modo Verlag.
- SCHMITT, M. et al. (2006): Flächeninanspruchnahme privilegiert zulässiger Vorhaben im Außenbereich. – http://www.bbr.bund.de/raumordnung/download/06-02-03_Bericht_Aussenbereich.pdf 54.
- SCHNEIDER & SCHRÖDER (2005): Degressive Kontaktflächen- und Reifeninnendrucke bei steigenden Radlasten als präventive Indikatoren für tolerierbare mechanische Belastungen. – *Beichte über Landwirtschaft*, Bd. 83, H. 2, 195-225.
- SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (2004): Meeresumweltschutz für Nord- und Ostsee. Sondergutachten. Baden Baden: Nomos Verlagsgesellschaft. 265 S.
- SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (2004a): Umweltgutachten 2004: umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern. Baden Baden: Nomos Verlagsgesellschaft. 669 S.
- SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (2005): Umwelt und Straßenverkehr. Hohe Mobilität – Umweltverträglicher Straßenverkehr. Sondergutachten. Baden Baden: Nomos Verlagsgesellschaft. 247 S.
- STETTER, U. & MAKESCHIN, F. (1999): Humushaushalt ehemals landwirtschaftlich genutzter Böden nach Aufforstung mit schnellwachsenden Baumarten. In: Modellvorhaben „Schnellwachsende Baumarten“ – Zusammenfassender Abschlussbericht. Schriftenreihe: Nachwachsende Rohstoffe, Münster, 341-368.
- STÜLPNAGEL, R. (1998): Förderung der Artenvielfalt und Verbesserung der Brennstoffqualität durch die thermische Nutzung von feuchtkonservierten Aufwüchsen aus Naturschutz- und Grünflächen. – *Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg*, Bd. 27, 93-116.
- TA Luft – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 27. Februar 1986 (GMBl. S. 95, ber. S. 202), aktuelle Fassung v. 24. Juli 2002, (GMBl. Nr. 25 – 29 vom 30.7. 2002 S. 511).
- TRAPP, H.; FABIAN, D.; FÖRSTER, F. & ZINKE, O. (2002): Fledermausverluste in einem Windpark in der Oberlausitz. – *Naturschutzarbeit in Sachsen*, 44, 53-56.
- UBA (2004): Hintergrundpapier: „Umweltschutz und Beschäftigung“. – Umweltbundesamt, Berlin.
- UBA (2006): Hintergrundpapier: „Die Nebenwirkungen der Behaglichkeit: Feinstaub aus Kamin und Holzofen.“. Umweltbundesamt, Berlin.
- Umweltinstitut München e. V. (2005): Fragen & Antworten – Regenerative Energien, Klimaschutz und Passivhaus. <http://www.umweltinstitut.org/frames/all/m65.htm>, Stand 17.03.2006.
- UVS & NABU (2005): Kriterien für naturverträgliche Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Vereinbarungen zwischen der Unternehmensvereinigung Solarwirtschaft (UVS) und dem Naturschutzbund Deutschland (NABU), 3 S. <http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/solarenergie/1.pdf>.
- VETTER, R. et al. (1998): Anbau von Energiepflanzen – Ganzpflanzengewinnung mit verschiedenen Beerntungsmethoden (ein- und mehrjährige Pflanzenarten), Schwachholzverwertung. – Forschungsvorhaben Ord.-Nr. 22-94.11. Abschlussbericht. Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg. Stuttgart, 104 S.
- VETTER & HERING (2001): Stand der Technik und Erfahrungen bei der Verbrennung von Stroh- und Getreide. 10. Symposium Energie aus Biomasse vom 23.11.2001. Regensburg: OTTI, 345-349.
- VOWINKEL, K. (2005): Die Bedeutung von Mittelgebirgslandschaften für Erholung und Tourismus am Beispiel der Harzer Bergwiesen. – *Göttinger Naturkundliche Schriften* 6, 179-202.
- WALLA, C. & SCHNEEBERGER, W. (2003): Analyse der Investitionskosten und des Arbeitszeitbedarfs landwirtschaftlicher Biogasanlagen in Österreich. – *Berichte über Landwirtschaft* 81, 527-535.
- WERNER, A. et al. (2005): Energiepflanzen-Erzeugung nach „Guter fachlicher Praxis der Landwirtschaft“. – *Natur und Landschaft*, 80, H. 9/10, 430-434.
- WESSOLEK, G. (1996): Klimaänderungen und Wasserhaushalt: Zukünftige Veränderung der Grundwasserneubildung. Proceedings zum Internationalen Symposium „Klimaänderung und Wasserwirtschaft“, Inst. f. Wasserwesen der Universität der Bundeswehr, München, Heft 56a, 119-134.
- WESSOLEK, G. & ASSENG, S. (2006): Trade-off between wheat yield and drainage under current and climate change conditions in northeast Germany. *European Journal Agronomy* (in Druck).
- WICHTMANN, W. & SCHÄFER, A. (2005): Energiegewinnung von ertragsschwachen Ackerstandorten und Niedermoores – Standortgerechte Bewirtschaftung zur Offenhaltung der Landschaft in Nordostdeutschland. – *Natur und Landschaft*, 80, H. 9/10, 421-425.

14 Abkürzungsverzeichnis

a	=	Jahr	Hz	=	Hertz; Anzahl der Schwingungen pro Sekunde	Mtoe	=	million tons of oil equivalent/Millionen Tonnen Öläquivalente
BtL	=	Biomass to Liquid; Begriff für Verfahren, die aus Biomasse flüssige, synthetische Kraftstoffe erzeugen	i. d. R.	=	in der Regel	MW	=	Megawatt
CO ₂	=	Kohlendioxid	K	=	Kelvin; Basiseinheit der thermodynamischen Temperatur und ihrer Skala	o. g.	=	oben genannt
ct	=	Cent	kW	=	Kilowatt; Einheit für die elektrische Leistung	PJ	=	Petajoule (Maßeinheit für große Energiemengen)
FN	=	Fußnote	kW _{el}	=	Kilowatt installierte elektrische Leistung	t	=	Tonne
FM	=	Frischmasse	kWh	=	Kilowattstunde	TM	=	Trockenmasse
Ha	=	Hektar	l	=	Liter	TW	=	Terawatt
						TWh	=	Terawattstunde, Einheit für elektrische Leistung.



Teilnehmer des Symposiums „Erneuerbare Energien“ in Berlin (Foto: Petermann).

Uwe Büsgen

Der Beitrag der Erneuerbaren Energien in der Energiepolitik des Bundes

Windenergieanlagen verändern die Landschaft, Wasserkraftanlagen haben Einfluss auf die Gewässerökologie und die Land- und Forstwirtschaft wird sich durch die vermehrte Nutzung von Biomasse zur Herstellung von Biokraftstoffen, Strom oder zur Wärmeherzeugung wandeln. Aber auch und vor allem die Nutzung der konventionellen fossilen und nuklearen Energieträger hat erhebliche Auswirkungen auf Landschaft, Natur, Umwelt und Mensch. Energie ist daher ein wichtiges Thema auch für den Deutschen Rat für Landespflege.

Ausgangslage

Energie und Umwelt

Das bisherige Energiesystem hat Atmosphäre, Böden und Gewässer mit Schadstoffen und Treibhausgasen in erheblichem Maße belastet – und tut dies noch immer. Denn noch immer spielen die vergleichsweise deutlich weniger umweltschädlichen modernen erneuerbaren Energien trotz aller bemerkenswerten Fortschritte in den vergangenen Jahren in der Energiebilanz der meisten Staaten nur eine relativ kleine Rolle. Im Jahr 2005 wurde der deutsche Primärenergieverbrauch, also der

gesamte Verbrauch von Energie insbesondere zur Strom- und Wärmeherzeugung und für Treibstoffe inklusive aller Umwandlungsverluste zu 37 % durch Mineralöl, 24 % Braunkohle, 23 % Erdgas, 12 % Atomkraft und knapp 5 % erneuerbare Energien gedeckt (Abb. 1) (BMWi & BMU 2006).

Dieser Energiemix bedeutet, dass rund 84 % unseres Energieverbrauchs direkt zur Klimaerwärmung beitragen. Mittel- und langfristig dürfte diese einen massiven Einfluss auf die Veränderung unserer Umwelt und damit die Lebensbedingungen der Menschen haben. Es ist inzwischen wissenschaftlich gesichert, dass die Klimaerwärmung bereits stattfindet und dass sie zumindest teilweise vom Menschen verursacht wurde und wird. Seit 1750 ist die CO₂-Konzentration der Atmosphäre um 31 % auf ca. 370 ppm gestiegen und hat damit vermutlich das höchste Niveau innerhalb der letzten 20 Mio. Jahre erreicht. Über ein Viertel dieser Konzentrationszunahme fällt dabei auf die letzten beiden Jahrzehnte! Das ist beispiellos zumindest für die letzten 20.000 Jahre!

Eng damit verbunden sind Veränderungen im globalen Klimasystem: Der Meeresspiegel steigt an, Gletscher schmelzen

weltweit ab, der Wasserkreislauf wird verstärkt, was zu extremen Niederschlägen führt. Der Klimawandel beeinträchtigt die natürliche und menschliche Lebenswelt ganz erheblich – irreversible Schäden an unserem Naturerbe, Verluste bei der landwirtschaftlichen Produktion und der Artenvielfalt, Wassermangel, Gesundheitsfolgen, aber auch häufigere extreme Wetterlagen sind die Folge. Der Klimawandel wird für den Menschen nur dann erträglich bleiben, wenn die durchschnittliche globale Erwärmung bis zur Mitte des Jahrhunderts 2° Celsius gegenüber vorindustriellen Zeiten nicht überschreitet. Um dies zu erreichen, müssen Industrieländer wie Deutschland ihren Ausstoß von Treibhausgasen innerhalb weniger Dekaden um bis zu 80 % verringern.

Nicht nur die meisten Treibhausgasemissionen, auch die Emissionen anderer Schadstoffe – Stick- und Schwefeloxide, flüchtige Kohlenwasserstoffe, Partikel, Schwermetalle, persistente organische Schadstoffe, radioaktive Substanzen und andere – stammen zu einem Großteil aus der Bereitstellung von Kraft, Licht und Wärme.

Nicht nur durch die Verbrennung, auch durch Abbau, Aufbereitung und Transport von Kohle, Gas, Öl und Uran wird die Umwelt ständig und dauerhaft geschädigt: beispielsweise durch abgebagerte Landschaften beim Braunkohletagebau, durch Grundwasserabsenkung beim Untertagebau, durch über 400 Ölplattformen in der Nordsee oder durch Tankerunfälle. Diese Liste ließe sich problemlos fortsetzen. Es kann also kaum ein Zweifel daran bestehen, dass das derzeitige Energiesystem den Umweltanforderungen nicht genügt.

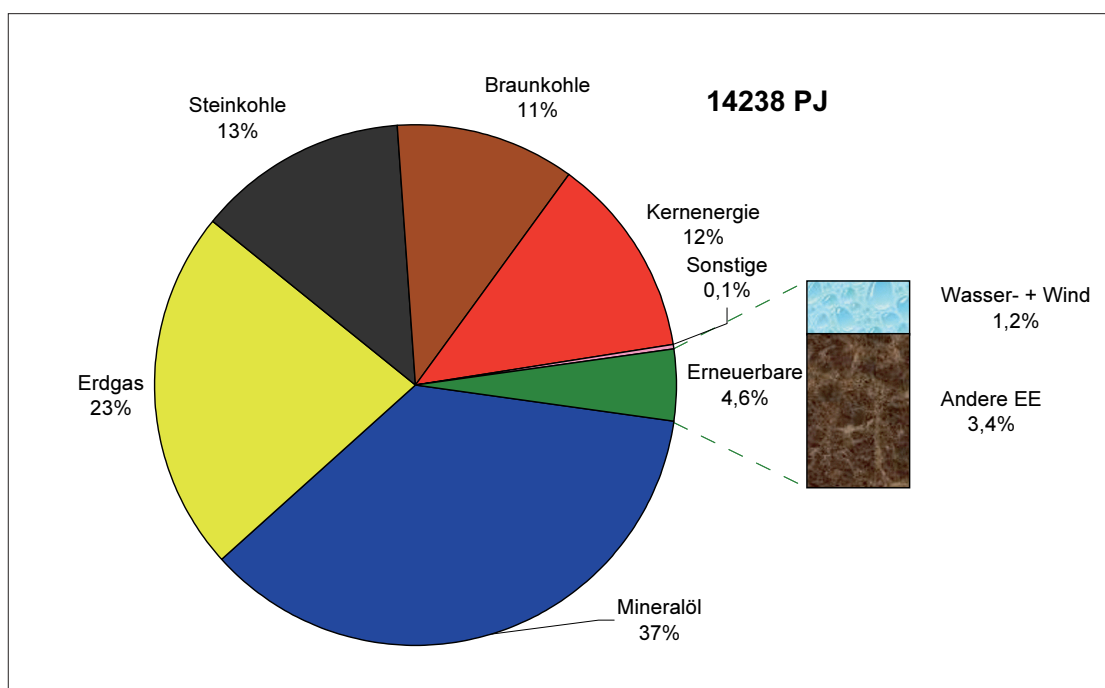


Abb. 1: Primärenergieverbrauch in Deutschland 2005 nach Energieträgern (Quelle: AG Energiebilanzen 2006).

Energie und Volkswirtschaft

Neben den negativen Umweltauswirkungen verursacht das bestehende Energiesystem aber auch steigende volkswirtschaftliche Probleme. Sowohl Öl, Gas und Kohle als auch Uran stehen weltweit nur in begrenztem Umfang zur Verfügung. Die Menschheit verbraucht derzeit in einem Jahr soviel fossile Energieträger, wie sich in 500.000 Jahren gebildet haben. Früher oder später stehen uns diese Ressourcen nicht mehr zur Verfügung; und zwar weder zur energetischen noch zur stofflichen Verwendung. Bei Erdgas reichen die Reserven für 70 Jahre und die Ressourcen für weitere 75 Jahre. Für konventionelles Erdöl reichen die Reserven für 42 Jahre und die Ressourcen für zusätzliche 21 Jahre. Hinzu kommt nicht-konventionelles Erdöl mit Reserven für 17 Jahre und Ressourcen für weitere 65 Jahre (BMWi & BMU 2006). Die Nutzung von nicht-konventionellem Öl ist allerdings mit deutlich höheren Umwelt- und Klimaschäden verbunden als die Nutzung von konventionellem Öl.

Während der Verbrauch an fossilen Energien weltweit weiter steigt, werden immer weniger neue Lagerstätten von Öl und Gas gefunden. Damit auch die Generation unserer Enkel noch auf Energievorräte zugreifen kann, müssen wir heute schon sorgsamer damit umgehen, gerade in den wirtschaftlich seit langem erfolgreichen Industrieländern. Denn diese haben aufgrund des erreichten Wohlstandes weltweiten Vorbildcharakter. Deren verantwortungsvoller Umgang mit Energie ist umso wichtiger, da andere Regionen dieser Welt ihnen nacheifern wollen und entsprechend einen enormen energetischen Nachholbedarf haben. Der Bedarf an Energierohstoffen in China, Indien und Afrika beispielsweise ist in den letzten zehn Jahren um mehr als 30 % gestiegen. Tatsächlich gehören allerdings auch die USA zu den Spitzenreitern bei der Steigerung des Energieverbrauches, nicht nur beim Energieverbrauch selbst.

Neben der grundsätzlichen Verfügbarkeit von Energieträgern ist besonders entscheidend, zu welchem Zeitpunkt die Nachfrage nach diesen Energieträgern das aktuelle Angebot überschreitet. Dann nämlich steigt unter Marktbedingungen deren Preis. Bei konventionellen Ölvorkommen wird der Scheitelpunkt der weltweit maximalen Förderung nach Schätzungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) zwischen 2015 und 2035 erwartet (BMWi & BMU 2006). Der seit 2004 stark gestiegene Ölpreis mag dies bereits andeuten.

Die Abhängigkeit von fossilen Ressourcen ist aber auch aus sicherheitspolitischen Gründen problematisch. Denn die Öl- und Gasvorräte sind regional stark auf den Nahen Osten, Osteuropa und Afrika konzentriert (BMWi & BMU 2006). Die derzeitige Abhängigkeit quasi aller Staaten der Erde vor allem von Öl und Gas und damit von wenigen, häufig geopolitisch unsicheren Regionen kann Grund oder Ursache für Konflikte und Gewalt werden. Nur wenn es gelingt, den Bedarf an fossilen Energieträgern zu senken, kann auch die Abhängigkeit von Ländern aus diesen unsicheren Regionen und das daraus folgende Sicherheitsrisiko gesenkt werden. Das derzeitige Energiesystem wird somit auch nicht den beiden anderen Säulen der Nachhaltigkeit, nämlich der wirtschaftlichen und sozialen Verträglichkeit, gerecht.

Atomkraft als Ausweg?

Vielfach wird als unvermeidbarer Ausweg aus der Krise die weitere oder auch stärkere Nutzung der Atomkraft genannt. Dieses Argument ist aber weder national noch international haltbar. Denn zum einen ist die Nutzung der Atomkraft nicht verantwortlich. Nicht zuletzt der Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahr 1986 hat dies deutlich gemacht. Das latente Risiko einer Atomkraftwerkskatastrophe kann nicht vollständig ausgeschlossen werden – auch nicht durch hohe Sicherheitsstandards, und damit auch nicht in Deutschland. Ein weiteres Problem, das nach wie vor weltweit ungelöst ist, ist die Entsorgung des

radioaktiven Abfalls. Radioaktiver Abfall von Atomkraftwerken ist noch Millionen Jahre strahlungsaktiv; ein gefährliches Erbe, das wir zukünftigen Generationen heute überlassen.

Ferner können Atomanlagen wie Atomkraftwerke, Zwischenlager, Aufbereitungsanlagen etc. und Transporte von Atommüll und -material nicht vollständig vor Terroranschlägen gesichert werden. Auch durch den atomaren „Kreislauf“ wächst die Gefahr, dass Atommaterial zur offiziellen oder inoffiziellen Herstellung von echten oder so genannten „schmutzigen“ Atombomben verwendet wird. Diese Aspekte haben seit dem 11. September 2001 deutlich an Relevanz gewonnen. Nur der Verzicht auf die Atomkraft senkt diese Gefahren.

Zum anderen würde uns eine längere oder stärkere Nutzung der Atomkraft zur Stromproduktion auch nicht wirklich weiterhelfen. Denn volkswirtschaftlich ist aktuell und sicher auf längere Zeit unser größtes Problem die Preissteigerung von Öl und Erdgas sowie die mittel- und langfristige u. U. unsichere Versorgung mit Öl und Gas. Strom wird in Deutschland aber nur zu rund 11 % mit Erdgas produziert, Öl spielt kaum eine Rolle. Die noch relativ lange und in allen Regionen der Welt verfügbare Kohle ist der wichtigste Primärenergieträger für Strom in Deutschland und vielen anderen Ländern (siehe Abb. 2), und nur hier wird Atomkraft eingesetzt.

Unser Kraftstoffbedarf im Verkehr allerdings wird fast zu 100 % von Öl und Erdgas gedeckt und deutlich über 70 % des deut-

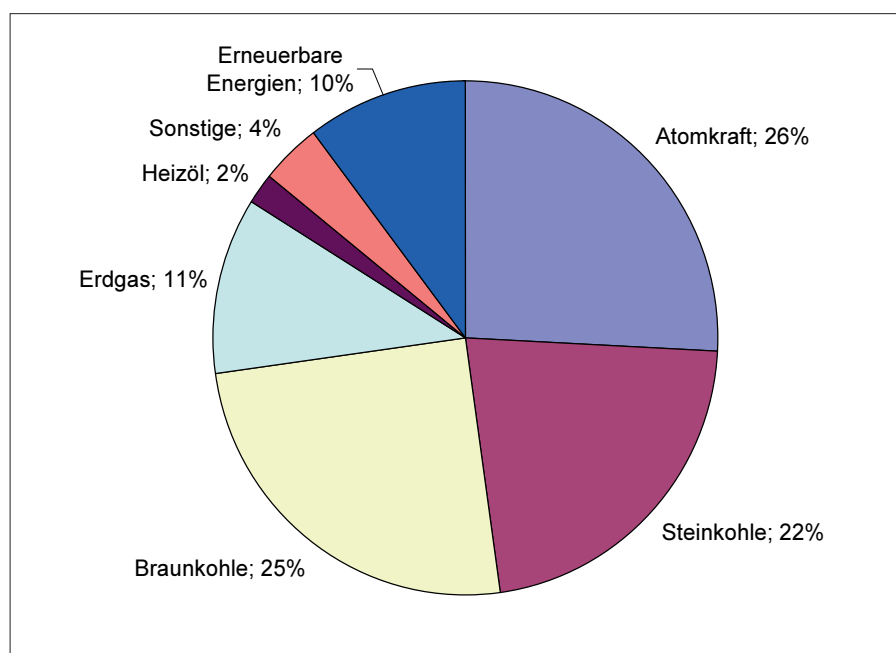


Abb. 2: Energieträgeranteil am Strommarkt in Deutschland 2005 (Quelle: AG Energiebilanzen 2006).

schen Wärmebedarfs werden durch gerade diese beiden knappen Energieträger befriedigt (siehe Abb. 3). Weder zur Kraftstoffversorgung noch zur Wärmebereitstellung leistet Atomkraft einen Beitrag (BMWI & BMU 2006) – und wird dies in absehbarer Zukunft auch nicht tun können. Somit kann eine längere oder intensivere Nutzung der Atomkraft unsere Abhängigkeit der teuren und knappen Energieträger Öl und Gas auf absehbare Zeit nicht reduzieren.

Zudem sind die Uranerzvorkommen begrenzt. Bei Fortschreibung des derzeitigen Verbrauchs werden die Uranreserven auf 67 Jahre, die Ressourcen auf weitere 150 Jahre geschätzt (BMWI & BMU 2006). Sollte Atomkraft aber nennenswert zum Klimaschutz beitragen, müsste ihr derzeitiger Anteil von weniger als 3 % am weltweiten Endenergiebedarf massiv gesteigert werden (TRAUBE 2004). Der Neubau von Hunderten oder Tausenden von Kraftwerken wäre erforderlich – heute gibt es weltweit rund 440. Auch diese haben eine begrenzte Lebensdauer, müssen zurückgebaut und entsorgt werden. Selbst bei massivem Neubau wäre der Beitrag der Atomkraft zur Sicherung der Energieversorgung und zum Klimaschutz nur gering. Käme es tatsächlich zu einem deutlichen Ausbau der Atomkraft, wäre das Uran innerhalb kurzer Zeit zu Ende, wenn nicht auf die hochproblematische Schnelle Brüter-Technologie umgestiegen wird. Eine langfristige und weltweite atomare

Klimaschutzpolitik ist also unmöglich. Damit kann Deutschland kein Beispiel und Vorbild für weltweiten Klimaschutz sein, wenn kein klarer Atomausstiegspfad beschritten wird.

Die Säulen einer nachhaltigen Energiestrategie

Die drei „E’s“ sind in der Diskussion über eine nachhaltige Energiepolitik seit langem bekannt: Steigerung der Energieeffizienz, Energieeinsparung und Ausbau der erneuerbaren Energien. Nur eine Energiestrategie, die sich auf alle drei Säulen stützt, kann den Anforderungen einer nachhaltigen Entwicklung genügen.

Steigerung der Energieeffizienz

Insgesamt muss unser Energiebedarf deutlich gesenkt werden. Denn jede Nutzung von Energie hat Auswirkungen auf die Umwelt, und in der Regel sind diese negativ. Die Steigerung der Energieeffizienz ist ein zentraler Baustein zur Senkung des Energiebedarfs. Dazu müssen alle Sektoren beitragen: Industrie und Gewerbebetriebe, Energiewirtschaft, Verkehr und Haushalte. Die Effizienzpotenziale sind riesig, bei weitem noch nicht ausgeschöpft und können in unzähligen Fällen wirtschaftlich und ohne Verlust des Lebensstandards umgesetzt werden.

Beispielsweise produzieren Heizkraftwerke auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) nicht nur Strom, sondern nutzen auch die ohnehin entstehende Abwärme zu Heizzwecken. Sie sind daher mehr als doppelt so effizient wie die in Deutschland deutlich überwiegenden Kondensationskraftwerke, die nur Strom produzieren. Während es heute noch zahlreiche Kraftwerke in Deutschland gibt, die einen Wirkungsgrad von unter 35 % haben, können KWK-Anlagen Wirkungsgrade von über 90 % erreichen. Ein modernes Kohlekraftwerk zur Stromproduktion hat heute einen Wirkungsgrad von gut 43 %, moderne Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke (GuD-Kraftwerke) zur Stromproduktion auf Basis von Erdgas erreichen Wirkungsgrade von 57 %. Die Steigerung des KWK-Anteils hätte darüber hinaus weitere Vorteile: durch die Substituierung von Öl und Gas im Wärmebereich kann der Bedarf nach diesen beiden besonders problematischen Energieträgern deutlich verringert werden. Riesige Effizienzpotenziale bestehen auch im Gebäudereich. Durch die Wärmedämmung des Altbaubestandes und innovative Konzepte für Neubauten kann der gesamte Heizenergiebedarf in Deutschland mehr als halbiert werden. Ferner gibt es im Verkehrsbereich viel Optimierungsspielraum. Während der derzeitige durchschnittliche Benzinverbrauch von PKW in Deutschland bei rund 8 Litern pro Kilometer liegt, ist es heute technisch kein Problem, PKW mit einem Verbrauch von unter 3 Litern Benzin pro Kilometer zu bauen – bei vernünftigen Leistungen und höchstem Sicherheitsstandard.

Energieeinsparung

Während durch eine Steigerung der Energieeffizienz durch moderne Technik erhebliche Einsparungen beim Energieverbrauch und damit geringere Umweltbelastungen erreicht werden können, wird Technik *alleine* nicht ausreichen. Die Menschen müssen mitmachen! Beispielsweise müssen wir in Deutschland zwei Großkraftwerke betreiben, um den Strom für elektrische Geräte zu produzieren, die im Stand-by-Modus sind, obwohl sie auch ganz ausgeschaltet werden könnten. Wenn Gebäude beheizt werden, während die Fenster langfristig geöffnet sind, oder beim Autofahren die Möglichkeiten eines energiesparenden Fahrstils nicht genutzt werden, verschwenden wir viel Energie, Geld und belasten unnötig Umwelt und Klima.

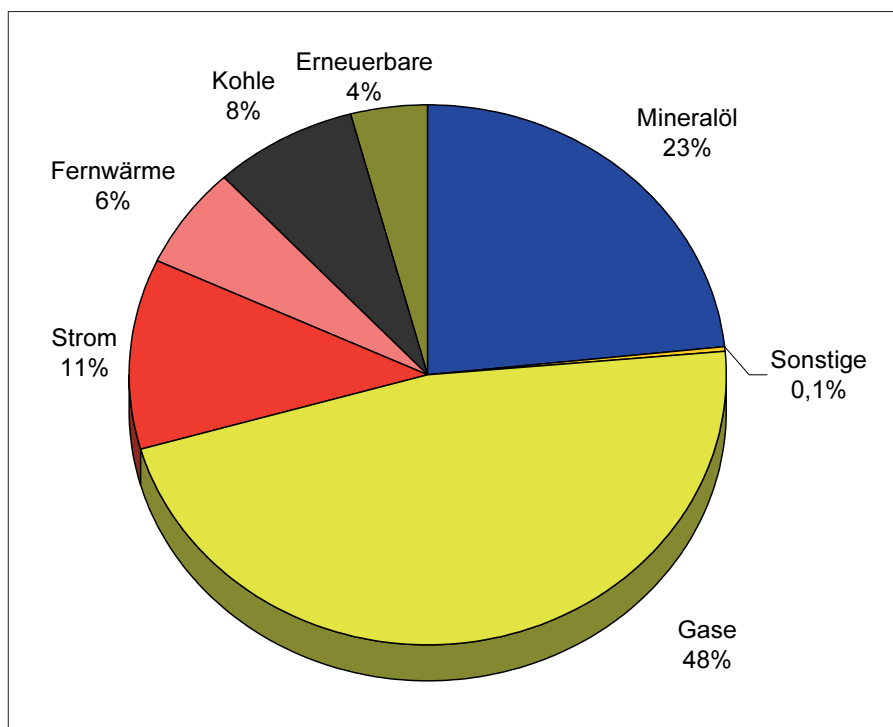


Abb. 3: Energieträgeranteil am Wärmemarkt (Endenergie für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme aller Sektoren) in Deutschland 2003 (Quelle: BMWI & BMU 2006).

Erneuerbare Energien

Unabhängig davon, wie erfolgreich wir sind bei unseren Bemühungen, den Energieverbrauch zu senken – wir werden auch in ferner Zukunft noch Energie benötigen. Die Energiequellen der Zukunft aber sind die natürlichen Energieströme der Solarstrahlung, die Kraft der Gezeiten und die Wärme aus dem Inneren unseres Erdballs. In diesen „Brennstoffen“ steckt kein fossiles Kohlenstoffatom. Zwar verbraucht auch die Herstellung der Anlagen zur Nutzung dieser erneuerbaren Energien selber Energie, beispielsweise zur Produktion von Stahl für Windräder oder für die Bereitstellung von Biomasse. Aber die Energie- und Ökobilanz aller erneuerbaren Energieträger ist im Vergleich zu anderen Techniken deutlich besser. So liegt die energetische Amortisation von Windenergieanlagen, also die Zeit, in der die Energie wieder eingespielt wird, die ihre Herstellung gekostet hat, zwischen 3 und 7 Monaten. Fossile Kraftwerke oder Ölkessel hingegen rechnen sich energetisch nie, weil man immer mehr Energie in Form von fossilen oder nuklearen Brennstoffen hineinstecken muss, als hinterher genutzt werden kann (BMU 2006).

Trotz ihrer guten Ökobilanz spielen die erneuerbaren Energien in den meisten Industrieländern bislang noch keine ent-

scheidende Rolle. Dies allerdings ändert sich langsam. Denn die Potenziale für die erneuerbaren Energien sind riesig – und werden in immer mehr Ländern erkannt. Sie stehen dauerhaft zur Verfügung und können in Einklang mit den Anforderungen von Natur- und Landschaftsschutz genutzt werden. Sie machen uns unabhängiger von fossilen und nuklearen Energiequellen, deren Preisentwicklung von uns kaum beeinflussbar ist und von denen wir wissen, dass sie irgendwann aufgebraucht sein werden.

Die Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland

Ziele der Bundesregierung

Der Anteil der umweltverträglichen und ressourcenschonenden modernen erneuerbaren Energien am gesamten Energieverbrauch ist auch in Deutschland mit rund 4,6 % im Jahr 2005 noch immer klein. Aber er steigt, und die Potenziale sind auch in Deutschland groß. Im Strombereich hat sich der Anteil der erneuerbaren Energien seit 1998 von knapp 5 % auf inzwischen über 10 % mehr als verdoppelt. Das Ziel der Bundesregierung ist es, den Beitrag erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bis 2010 auf mindestens 12,5 %,

bis 2020 auf mindestens 20 % zu steigern. Auch ein Anstieg auf 25 % ist technisch, wirtschaftlich und politisch realistisch – und ist daher das erklärte Ziel des Bundesumweltministers Sigmar Gabriel (NITSCH et al. 2005). Beim Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Energieverbrauch will die Bundesregierung bis 2020 mindestens 10 % und bis zur Mitte des Jahrhunderts rd. 50 % erreichen.

Der Erfolg bei Ausbau der Erneuerbaren Energien

In denjenigen Ländern, in denen die Vorteile der erneuerbaren Energien erkannt wurden und politischer Wille und Durchsetzungskraft vorhanden waren, haben sie in den vergangenen Jahren einen ungeahnten Aufschwung erlebt. So wird in Dänemark knapp 20 % des Stroms allein durch Windenergie erzeugt. In Deutschland hat sich die installierte Leistung von Windenergieanlagen seit Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 um das dreifache, die installierte Leistung von Biomasseanlagen zur Stromproduktion um das vierfache und die installierte Fotovoltaikleistung um das fünfzehnfache gesteigert (siehe Abb. 4). Bezüglich der jährlich neu installierten Windenergieleistung hat Spanien inzwischen mit Deutschland aufge-

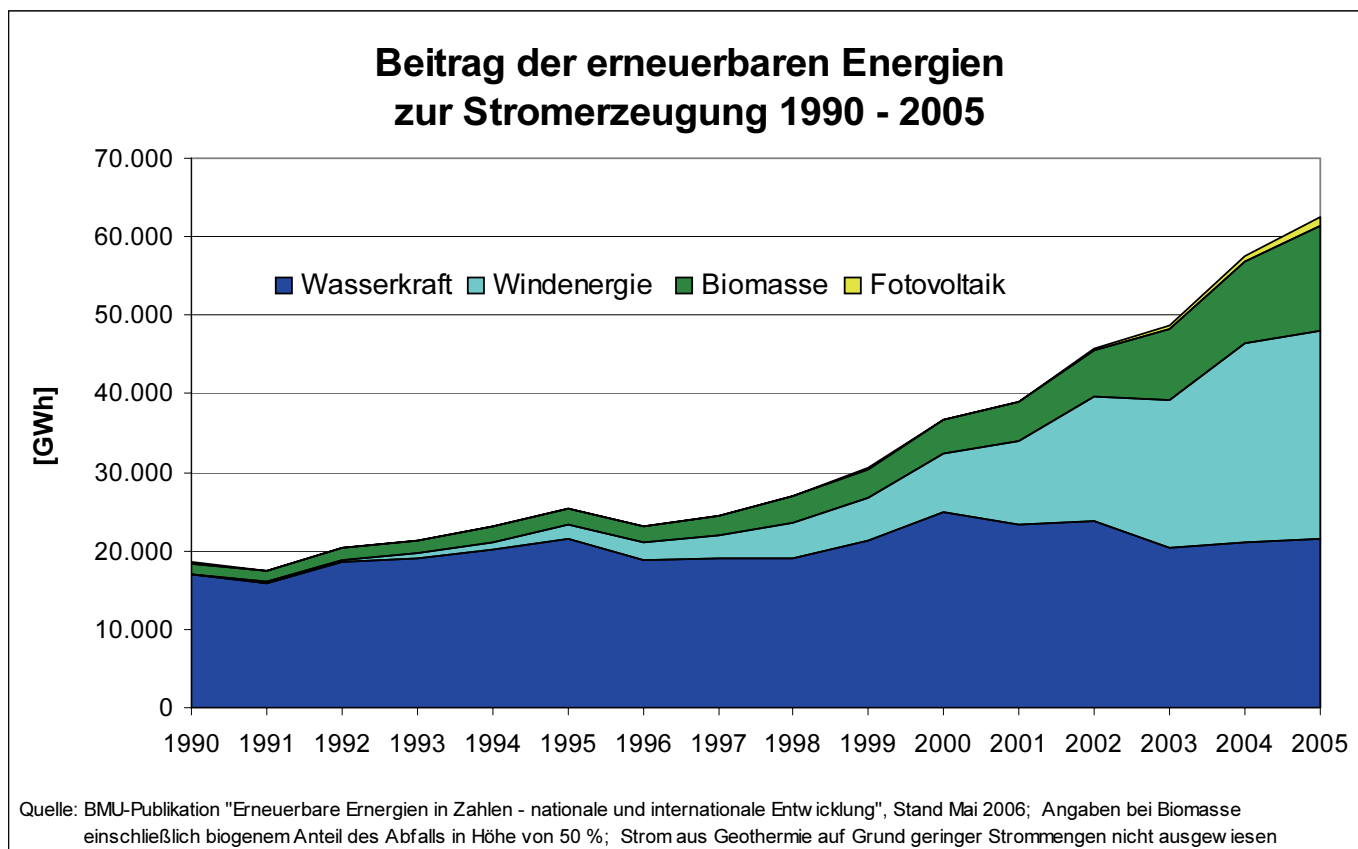


Abb. 4: Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 1990 bis 2005 (Quelle: AG EESat 2006).

schlossen. Auch Spanien verwendet ein Einspeisesystem für Strom aus erneuerbaren Energien, das mit dem deutschen EEG vergleichbar ist. Seit in Italien ein Einspeisesystem für Strom aus Sonnenenergie besteht, sind auch hier die Installationsraten von Fotovoltaikanlagen deutlich gestiegen. In jedem Fall gilt: den Beitrag, den erneuerbare Energien heute zur Energieversorgung leisten, hatte früher kaum jemand erwartet oder gar vorher gesagt. Bislang wurden die Möglichkeiten der „Erneuerbaren“ in der Regel deutlich unterschätzt. Um ihren Beitrag zur Energieversorgung tatsächlich deutlich zu steigern, ist ein klarer politischer Wille notwendig, müssen politische Ziele vorgegeben werden und muss ein stabiler und förderlicher politischer Rahmen existieren. Länder, bei denen dies der Fall ist, haben beim Ausbau der „Erneuerbaren“ Erfolg.

Positive Folgen des Ausbaus der Erneuerbaren Energien

Die Steigerung der Anteile der erneuerbaren Energien in den vergangenen Jahren, vor allem im Strombereich, hat maßgeblich zur Senkung der Treibhausgasemissionen beigetragen. Im Jahr 2005 haben sie insgesamt rund 83 Mio. t CO₂ eingespart, alleine durch das EEG 38 Mio. t. Das sind 7 bzw. knapp 4 Mio. t mehr als im Vorjahr. Bis 2020 kann sich die Reduktion auf knapp 160 Mio. t CO₂ pro Jahr erhöhen, wovon knapp 90 Mio. t alleine auf das EEG entfallen (die CO₂-Emissionen Deutschlands lagen im Jahr 2004 bei rund 1.000 Mio. t) (BMW & BMU 2006).

Auch im Wärmemarkt und mittelfristig im Verkehrssektor müssen erneuerbare Energien verstärkt zum Einsatz kommen. Wäh-

rend die Kraftstoffe in den vergangenen zwei Jahren enorme Wachstumsraten verzeichnen konnten, konnten die Potenziale der erneuerbaren Energien im Wärmebereich nicht in vergleichbarer Weise ausgeschöpft werden. Hier sind weitere Maßnahmen notwendig. Studien belegen, dass, wenn in den drei wichtigsten Bereichen Stromproduktion, Wärmeversorgung und Kraftstoffe die vorhandenen Potenziale schrittweise ausgeschöpft und die Steigerung der Energieeffizienz und der Energieeinsparung erfolgreich umgesetzt werden, bis zur Mitte des Jahrhunderts rd. die Hälfte des gesamten Energieverbrauchs in Deutschland mit erneuerbaren Energien abgedeckt werden kann. Dies würde zu einer Reduzierung der CO₂-Emissionen um 80 % im Jahr 2050 führen (siehe Abb. 5) (DLR, ifeu, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie 2004). Entsprechend ist das Ziel 50 % erneuerbare Energien bis 2050 in der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung festgelegt. Darauf verweist auch der Koalitionsvertrag vom November 2005.

Diese Szenarien werden umso realistischer, je kostengünstiger die Nutzung der erneuerbaren Energien wird. Gerade auch aufgrund des starken Wachstums – und anders als bei den fossilen Energien – sind die Kosten für Windstromanlagen ohne Inflationsbereinigung in den vergangenen 12 bis 15 Jahren um über ein Drittel, die Kosten für Fotovoltaik-Anlagen um über 60 % und die Kosten für die Solarthermie-Anlagen um rund 50 % gesunken. Hintergrund für diese Entwicklung ist die Kostenstruktur der erneuerbaren Energien: der wichtigste Kostenfaktor liegt bei der Produktion der Anlagen, nicht im Betrieb (mit Ausnahme der Nutzung von Teilen der

Biomasse). Diese Anlagenkosten sinken wie bei anderen Produkten der Anlagentechnik seit jeher aufgrund von technischer Entwicklung und Innovation sowie des Einstiegs in die Serien- und Massenproduktion (Lernkurven) (BMW & BMU 2006). Daher rückt der Zeitpunkt immer näher, an dem weitere Techniken der erneuerbaren Energien auch ohne besondere Förderung wettbewerbsfähig sein werden.

Zusammenfassung

Eine Weiterführung der erfolgreichen Politik zum Ausbau der erneuerbaren Energien muss ergänzt werden um eine offensive Politik zur schrittweisen Verringerung des gesamten Energieverbrauchs. Denn nur mit allen drei Elementen einer zukunftsfähigen und nachhaltigen Energiestrategie, d. h. der deutlichen Verringerung des Energieverbrauchs durch mehr Energieeffizienz und Energieeinsparung sowie dem weiteren engagierten Ausbau der erneuerbaren Energien, ist es möglich, zwei große umweltpolitische Ziele zu erreichen: bis Anfang der 2020er Jahre vollständig auf die Nutzung der Atomkraft zu verzichten und gleichzeitig erfolgreichen Klimaschutz umzusetzen.

Erfolgreicher Klimaschutz muss an den Anforderungen gemessen werden. Das bedeutet, dass Deutschland sein anspruchsvolles Kyoto-Ziel, die Emission von Treibhausgasen bis zur Periode 2008-2012 gegenüber 1990 um 21 % zu reduzieren, erreichen muss. Deutschland ist hier zwar auf einem sehr guten Zielerreichungspfad. Damit aber der Klimawandel für den Menschen „erträglich“ bleibt, ist bis zur

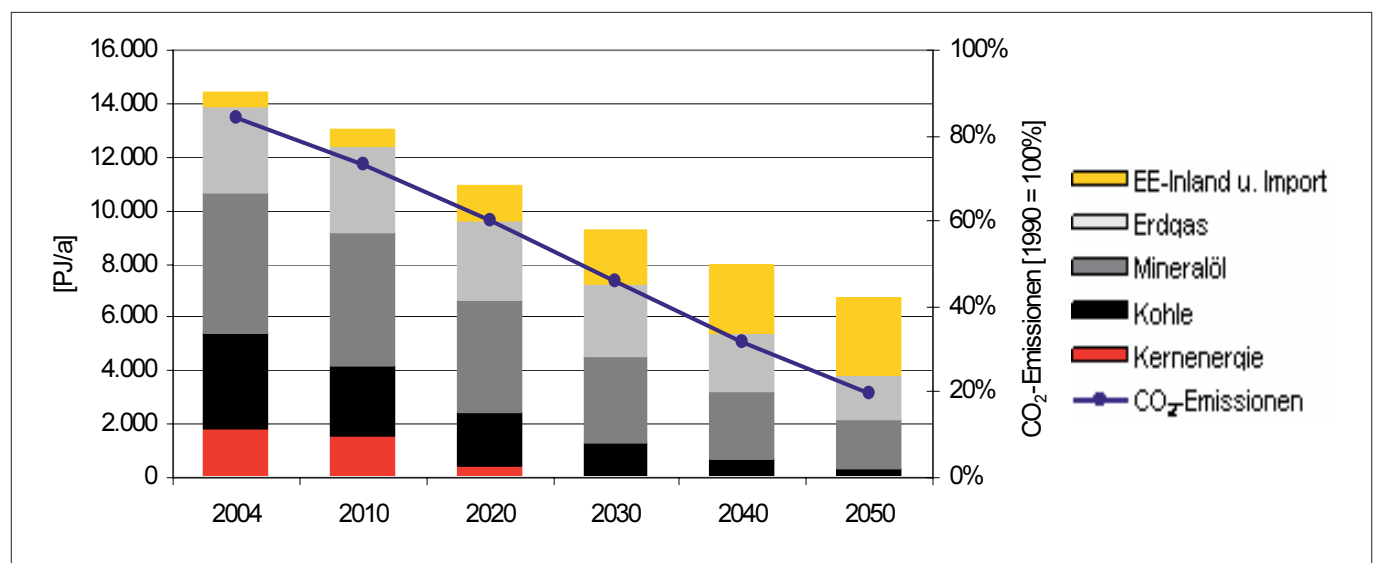


Abb. 5: Szenario zur Entwicklung der Energienutzung in Deutschland bis 2050 (Quelle: DLR, ifeu, WI 2004).

Mitte dieses Jahrhunderts eine Reduzierung um insgesamt 80 % notwendig. Dies macht weitere Anstrengungen beim Klimaschutz und im Energiebereich dringend nötig. Wie die dafür notwendige Energiestrategie konkret aussehen kann, wurde in Studien nachgewiesen und wurde im Statusbericht zur Vorbereitung des Energiegipfels dargestellt. Im Statusbericht wird weiter festgestellt, dass bei Umsetzung einer solchen Strategie, einschließlich des verabredeten und gesetzlich festgeschriebenen Ausstiegs aus der Nutzung der Atomkraft, sowohl die absolute Menge als auch der Anteil der fossilen Energieträger Erdöl, Erdgas und Steinkohle sinkt und sich somit die Importabhängigkeit der deutschen Energieversorgung verringert. Nur bei den überwiegend heimischen erneuerbaren Energien ergibt sich ein steigender Beitrag.

Um eine nachhaltige Energiestrategie mit ihren positiven Auswirkungen umsetzen zu können, müssen die Weichen rechtzeitig richtig gestellt werden. Da der Umbau eines Energiesystems viel Zeit bean-

sprucht, muss in den Bereichen, in denen dies noch nicht geschehen ist, jetzt gehandelt werden. Dies betrifft vor allem die Senkung des gesamten Energieverbrauchs, aber auch das Wachstum der erneuerbaren Energien im Wärmemarkt. Auch wenn die Bundesregierung in den vergangenen Jahren wichtige Schritte eingeleitet hat, gibt der Koalitionsvertrag der Bundesregierung zahlreiche weitere Aufgaben auf. Das Bundesumweltministerium nimmt sich dieser Aufgaben und der Herausforderungen der Energiepolitik, die aus dem notwendigen Schutz des Weltklimas resultieren, an.

Literatur

BMWi & BMU (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2006): Energieversorgung für Deutschland. Statusbericht für den Energiegipfel am 3. April 2006.

TRAUBE, K. (2004): Renaissance der Atomenergie. - Solarzeitalter 4/2004.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Natur und Reaktorschutz) (2006): Erneuerbare Energien. Innovationen für die Zukunft. - Berlin.

NITSCH, J.; STAISS, F.; WENZEL, B. & FISCHEDICK, M. (2005): Ausbau Erneuerbarer Energien im Stromsektor bis zum Jahr 2020. Vergütungszahlungen und Differenzkosten durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz. - Stuttgart und Wuppertal.

DLR, ifeu, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. - Berlin.

Anschrift des Verfassers:

Uwe Büsgen
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Referat KI I 1
Allgemeine und grundsätzliche Angelegenheiten der Erneuerbaren Energien
Alexanderplatz 6

11055 Berlin

E-Mail: Uwe.Buesgen@bmu.bund.de

Kurt Häge & Oliver Weinmann

Strategische Bedeutung erneuerbarer Energien aus Sicht eines internationalen Energieunternehmens

Als eines der führenden Energieversorgungsunternehmen sieht sich Vattenfall zu einem nachhaltigen Umgang mit Energie verpflichtet.

Das Nachhaltigkeitsdreieck der Energieversorgung (Abb. 1) besteht aus den drei Eckpunkten Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit, die jeweils angemessen berücksichtigt werden müssen.

Wirtschaftlichkeit bedeutet, dass die Energie für die Kunden bezahlbar bleiben

muss und damit nur Energieträger eingesetzt werden können, die ökonomisch tragbar sind oder eine wirtschaftliche Perspektive bieten. Geld ist auch nur eine begrenzte Ressource.

Umweltverträglichkeit bedeutet, dass bei jeder Form der Energienutzung darauf zu achten ist, die negativen Einflüsse auf unsere Umwelt – die mit jeder Art der Energienutzung verknüpft sind – möglichst gering zu halten.

Versorgungssicherheit bedeutet, dass Energie jederzeit sicher für die Verbrau-

cher verfügbar ist. Hierzu zählt auch ein breit aufgestellter Energiemix, da durch die Diversifikation der Ressourcen einseitige Abhängigkeiten vermieden werden können.

Der Energiemix der elektrischen Energieversorgung in Deutschland besteht aus den Säulen fossile Energien wie Kohle oder Erdgas, Kernenergie und erneuerbare Energien (Abb. 2).

Der überwiegende Anteil wird über Kohle bereitgestellt, Kernenergie trägt zu etwa 27 % bei und die erneuerbaren Energien zu knapp 10 %.

Die einheimische Braunkohle wird auch weiterhin ein Rückgrat unserer Energieversorgung darstellen, hier betreiben wir hocheffiziente Kraftwerke mit Wirkungsgraden von über 40 % in der Lausitz.

Auch Steinkohle und Kernenergie sind elementare Bestandteile unserer heutigen Energieversorgung und tragen wesentlich zu einer preiswerten und sicheren Stromversorgung bei.

Die größten Steigerungsraten hatten in den letzten Jahren die erneuerbaren Energien, die in Abb. 3 detaillierter dargestellt werden.

Die Erzeugung aus erneuerbaren Energien betrug in 2004 53,9 TWh, damit fast 10 % der Gesamterzeugung. Aktuell – Mitte 2005 – beträgt der Anteil etwa 10,5 %

Dominierend ist inzwischen die Windkraft, deren Beitrag im letzten Jahr die Wasserkraft überholt hat (Abb. 3).

Hier noch eine Anmerkung zur Energiegewinnung aus Müll: Auch wenn diese in der Statistik aufgeführt wird, gilt sie in Deutschland – im Gegensatz zu Europa – nicht als „echte“ erneuerbare Energie. Der Vollständigkeit halber ist sie dennoch aufgenommen.

1 Die erneuerbaren Energieträger im Detail

1.1 Windenergie

Windkraft hat heute mit etwa 6 % den höchsten Anteil an der regenerativen Stromerzeugung in Deutschland. Ende Juni 2005 waren bundesweit 16.826 Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von 17.132 MW in Betrieb. Die Anlagen

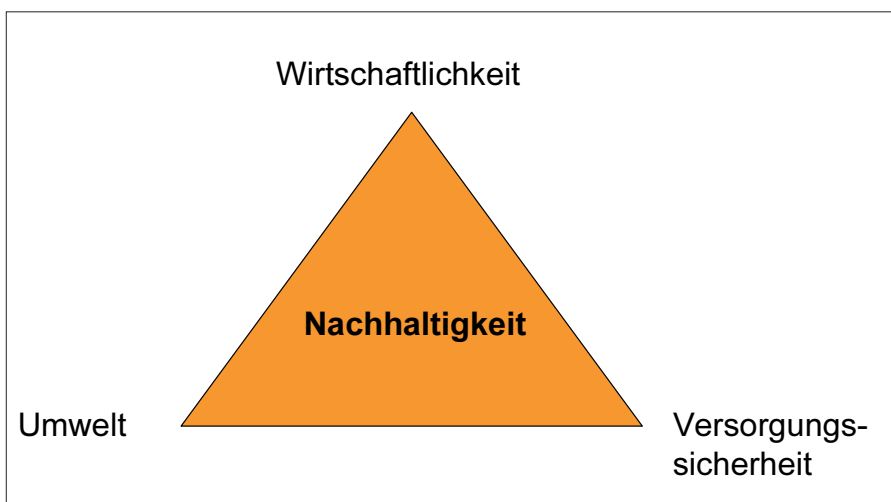


Abb. 1: Nachhaltigkeitsdreieck der Energieversorgung.

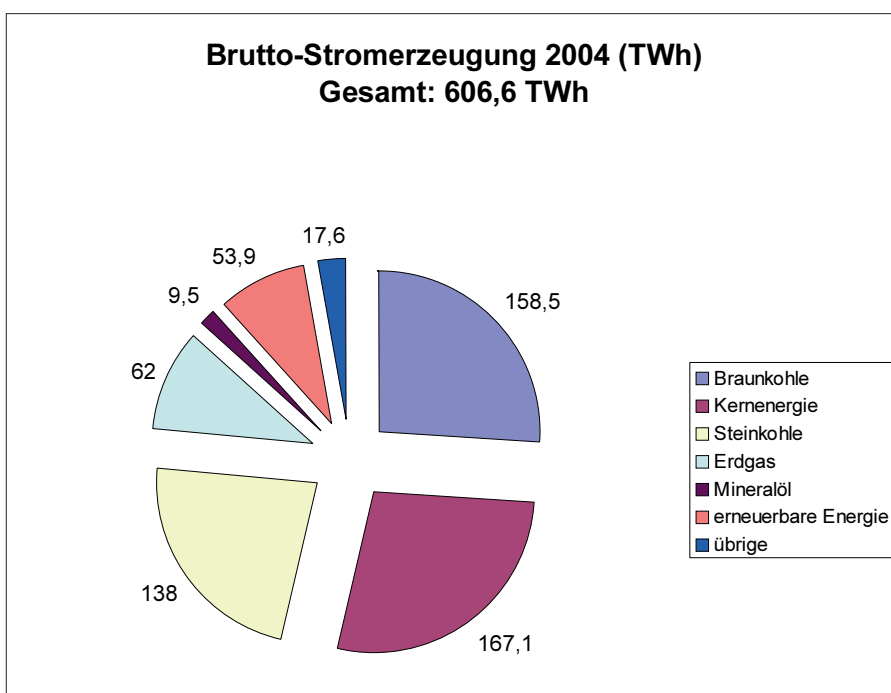


Abb. 2: Zusammensetzung der Brutto-Stromerzeugung 2004 in Deutschland.

**Stromerzeugung 2004 aus erneuerbaren Energien
(TWh)
Gesamt: 53,9 TWh**

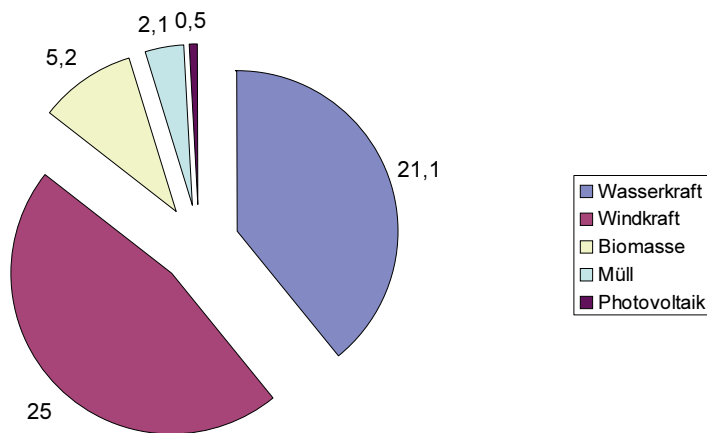


Abb. 3: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 2004.

sind im Wesentlichen in Nord- und Ostdeutschland installiert.

Allerdings ist das Potenzial für neue Binnenlandprojekte stark rückläufig. Einerseits sind die guten, küstennahen Standorte schon weitgehend genutzt, andererseits nehmen die Widerstände gegen eine weitere „Verspargelung“ der Landschaft zu.

Erhebliche Kapazitäten sehen wir aber noch bei Offshore-Anlagen, da diese sowohl ökologisch unbedenklicher als auch durch größere einsetzbare Windturbinen der 5 MW-Klasse sowie höhere und gleichmäßigere Windgeschwindigkeiten wirtschaftlicher zu betreiben sein werden. Andererseits sind mit der Offshore-Installation auch erheblich größere Risiken verknüpft.

Generell treten zunehmende Netzprobleme durch die fluktuierende Windeinspeisung auf (s. Kap. 2.3, 4).

1.2 Wasserkraft

Wasserkraft ist weltweit der erneuerbare Energieträger mit dem höchsten Anteil und trägt etwa 20 % zur weltweiten Stromerzeugung bei. In Deutschland ist die Leistungsfähigkeit mit 21 TWh, d. h. etwa 4 % der Gesamterzeugung, weitgehend ausgeschöpft.

Dies liegt zum einen an seiner geographischen Lage mit insgesamt relativ geringen Möglichkeiten, zum anderen ist der Bau weiterer Wasserkraftwerke aus ökologischen Gesichtspunkten durch die Eingriffe in Natur und Landschaft kaum möglich. An dieser Stelle noch ein Wort zu Pumpspeicherkraftwerken: Diese sind zwar kei-

ne erneuerbare Energie, allerdings ein idealer Stromspeicher. Stromspeicher spielen eine zunehmend wichtige Rolle im Stromversorgungssystem. Durch den massiv gestiegenen Anteil der fluktuierenden Windenergie müssen heute große Schwankungen auf der Erzeugungsseite ausgeglichen werden, dafür sind Anlagen wie Pumpspeicherkraftwerke hervorragend geeignet. Vattenfall Europe ist der größte Betreiber von Pumpspeicherkraftwerken in Deutschland.

1.3 Biomasse

Die Biomasse besitzt neben der Windkraft sicher das größte Potenzial. Genutzt werden können sowohl biogene Abfallstoffe als auch eigens zur Energiegewinnung angebaute Pflanzen, z. B. Raps, Mais oder Kurzumtriebshölzer.

Allerdings betrachten wir die in manchen Untersuchungen angegebenen Chancen der Biomasse mit einer gewissen Skepsis. Um die nutzbaren Flächen konkurrieren verschiedene Interessengruppen – Nahrungsmittelproduktion, Bio-Kraftstoffproduzenten, chemische Industrie, Energieversorger mit dem Anbau von Energiepflanzen und letztlich auch der Naturschutz. Daraus ergeben sich Einschränkungen für die einzelnen Bereiche.

Aus eigenen Erfahrungen wissen wir, dass das größte Risiko für einen wirtschaftlichen Betrieb in der sicheren Brennstoffbeschaffung liegt. Es ist bereits heute – bei einem relativ geringen Anteil der Biomasse an der Stromerzeugung von etwa 1 % – nicht einfach, den Brennstoff preiswert und langfristig sicher zu beziehen.

1.4 Sonnenenergie

Die Nutzung der Sonnenenergie über Photovoltaik weist gegenwärtig noch größere Steigerungsraten als die der Windenergie auf, ist aber dennoch wirtschaftlich nicht relevant. Dies wird sich auch in den nächsten Jahrzehnten kaum ändern.

Die Stromgestehungskosten liegen noch bei 0,50 €/kWh, im Vergleich dazu sind die Börsenpreise für Strom heute um mehr als den Faktor 10 geringer. Der Weg zur Wirtschaftlichkeit wird für die Photovoltaik also noch sehr lang sein.

Allerdings macht der Einsatz in Nischenanwendungen durchaus heute schon Sinn, z. B. wenn die Netzanbindung an entlegenen Standorten zu aufwendig ist.

Um die Wirtschaftlichkeit zu verbessern, beteiligen wir uns an der Dünnschicht-Solarmodulfirma SULFURCELL, die mit einem neuen Verfahren wesentlich preiswertere Module herstellen wird.

1.5 Geothermie

Die Geothermie spielt in der Stromerzeugung noch keine Rolle, auch wenn sie zumindest theoretisch das größte Potenzial aller regenerativen Energien bietet. Geothermie hat zudem den Vorteil, dass sie Energie kontinuierlich liefert, im Gegensatz zur fluktuierenden Einspeisung der Windenergie.

Allerdings stellt die Bohrung den größten Kostenfaktor und das größte Risiko dar. Daher ist die Minimierung des Bohrrisikos für den Erfolg der Geothermie wesentlich. Hier ist auf dem Weg zur Wirtschaftlichkeit noch viel Forschung und Entwicklung notwendig.

Das bisher einzige deutsche Geothermiekraftwerk mit einer Leistung von 250kW wird von Vattenfall Europe in Neustadt-Glewe betrieben.

Wir begleiten die Entwicklung mit einem weiteren Projekt in Groß-Schönebeck (s. Kap. 6.3).

2 Kriterien zum Einsatz erneuerbarer Energien

Auch die erneuerbaren Energien müssen sich – wie alle anderen Energien – an den Nachhaltigkeitskriterien messen lassen:

2.1 Wirtschaftlichkeit

Als Instrument zur Unterstützung der Markteinführung kann eine begrenzte und angemessene Subventionierung sinnvoll sein. In Deutschland wurde zur Anschubfinanzierung das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) eingeführt. Allerdings muss

eine Dauersubventionierung vermieden werden, d. h. Subventionen müssen sukzessive abgebaut werden.

2.2 Umwelt

Sicherlich sind die wesentlichen Vorteile der erneuerbaren Energien die CO₂-Einsparung und die Ressourcenschonung. Aber auch erneuerbare Energien haben negative Auswirkungen auf die Umwelt, z. B. durch Landschaftsverbrauch.

2.3 Versorgungssicherheit

Ziel eines Energiemixes ist die Nutzung eines breiten Spektrums von Ressourcen, um einseitige Abhängigkeiten zu vermeiden; erneuerbare Energien tragen hier zur Diversifikation der Energieressourcen bei. Bei dem zweiten Aspekt der Versorgungssicherheit, die Verfügbarkeit der Energie zu jeder Zeit, erleben wir aber gegenwärtig zunehmende Netzprobleme durch fluktuierende Energien wie Wind. Zum Ausgleich der Fluktuation und zur Anpassung der Erzeugung auf das Verbraucherverhalten müssen hier Regel- und Reservekraftwerke vorgehalten werden. Beispielsweise produziert eine Windmühle bedingt durch das schwankende Windangebot nur wenige Stunden im Jahr die installierte Nennleistung oder böige Winde machen erheblichen Regelaufwand notwendig und können zu Problemen bei der Netzstabilität führen.

3 Markt für erneuerbare Energien

Mit dem EEG ist der Markt für erneuerbare Energien in den letzten Jahren rapide gewachsen. Der Erzeugungsanteil Wind ist in den letzten beiden Dekaden von praktisch nicht vorhanden auf ca. 6 % gestiegen. Der nächste Entwicklungsschritt für Windenergie sind große Offshore Parks mit mehreren 100 MW Leistung. Biomasse steigt ebenfalls stark, stößt aber wegen der teilweise unsicheren Brennstoffbeschaffung an Grenzen. Photovoltaik hat die größten Wachstumsraten, wird aber auch in Zukunft keinen relevanten Beitrag zur Energieversorgung leisten. Geothermie steht in den Startlöchern, benötigt aber zum Durchbruch eine erhebliche Reduzierung des Bohrrisikos.

4 Vor- und Nachteile der erneuerbaren Energien

Zu den Stärken der Erneuerbaren gehören vor allem:

- Vermeidung von CO₂-Emissionen

- Schonung der fossilen Ressourcen
- Im Wesentlichen hohe Akzeptanz (aber nachlassend bei Wind)
- Keine Schadstoffemissionen bei Wind, Wasser und Solarenergie, nur geringe bei Biomasse
- Wirtschaftsfaktor in Deutschland mit hohem Exportanteil (Wind ca. 60 %).

Wo Licht ist, ist auch Schatten – die Schwächen der erneuerbaren Energien in Kürze:

- Noch mangelnde Wirtschaftlichkeit – außer bei der Wasserkraft.
- Teilweise hohe Subventionierung, die Kosten werden auf die Verbraucher umgelegt.
- Bei fluktuierender Einspeisung wie bei Windenergie hoher Regelbedarf, Schattenkraftwerke und Auswirkungen auf die Netzstabilität.
- Negative Umwelteinflüsse wie:
 - Landschaftsverbrauch
 - Veränderung des Landschaftsbildes
 - Schallemissionen.
- Nachlassende Akzeptanz bei Windenergie.
- CO₂-Vermeidungskosten teilweise relativ hoch (z. B. Solarenergie).

5 Resümee zu erneuerbaren Energien

Die Nutzung erneuerbarer Energien ist sinnvoll zur Ergänzung unseres Energiemixes und zur CO₂-Reduzierung, allerdings muss die Wirtschaftlichkeit noch deutlich verbessert werden, um in Zukunft die Subventionen reduzieren zu können.

Auch Vattenfall befürwortet die Einbeziehung der erneuerbaren Energien in einen breiten Energiemix. Neben dem Aspekt der Versorgungssicherheit sind bei einem Einsatz erneuerbarer Energien aber auch die Kriterien Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit zu beachten. Insbesondere muss diese Energienutzung wirtschaftlicher werden, um mittel- bis langfristig die Subventionierung zurückfahren zu können.

Um die erneuerbaren Energien effizient in unserem Unternehmen zu integrieren, haben wir die Gesellschaft *Vattenfall Europe Renewables* gegründet. Als Tochter unserer Erzeugungssparte Vattenfall Europe Generation sind die Anlagen von Renewables Bestandteil unseres Erzeugungsportfolios – wenn auch bis heute nur mit einem geringen Beitrag. Dies ist auch dadurch bedingt, dass die Gesellschaft noch recht jung ist und Anfang des Jahres ihre operative Tätigkeit aufgenommen hat.

Mit unserer noch jungen Vattenfall Europe Renewables verfolgen wir eine Reihe von Zielen:

- Die Bündelung der Aktivitäten von Vattenfall Europe im Bereich erneuerbare Energien in einer Gesellschaft, dadurch können wir Projekte effizient und zielgerichtet umsetzen.
- Die Wirtschaftlichkeit der erneuerbaren Energien muss verbessert werden, dies wollen wir durch einen optimierten und profitorientierten Einsatz von Erneuerbaren Energien im Wettbewerbsumfeld erreichen.
- Eines der wesentlichen Probleme des Windenergieausbaus ist die mangelnde Anpassung an die Erfordernisse des Stromnetzes hinsichtlich Regelung und Stabilität. Hier müssen die erneuerbaren Energien besser in das Stromversorgungssystem integriert werden. Mit Vattenfall Europe Renewables wollen wir Vorreiter bei der Integration von erneuerbaren Energien in das bestehende Versorgungssystem sein.

Aus der Analyse der Chancen, Möglichkeiten und Potenzialen der verschiedenen erneuerbaren Energien haben sich für Vattenfall Europe Renewables folgende Schwerpunktbereiche herauskristallisiert:

- Bei Wind wird ein substantielles Ausbaupotenzial im Wesentlichen im Offshore-Bereich gesehen.
- Biomasseanlagen mit sicheren ökonomischen Randbedingungen.

Neben diesen beiden Schwerpunkten führen wir auch noch kleinere Aktivitäten in den Bereichen Kleinwasserkraftanlagen, Geothermie und Solarenergie durch.

6 Projektbeispiele

6.1 Offshore Wind Testfeld Borkum West

Hierbei handelt es sich um ein Projekt des BMU, der führenden deutschen Windkraftanlagen-Herstellern (Enercon, Repower, Multibrid) und Energieversorgungsunternehmen (Vattenfall Europe, E.ON, EWE) zur Erprobung der 5 MW-Klasse. Das Vorhaben wird durch das BMU über die Offshore-Stiftung gefördert. Die 5 MW Anlagen sind noch nicht Offshore-reif, zur Risikominimierung ist die Erprobung dieser Anlagen in einem Testfeld unter realen Bedingungen vor dem

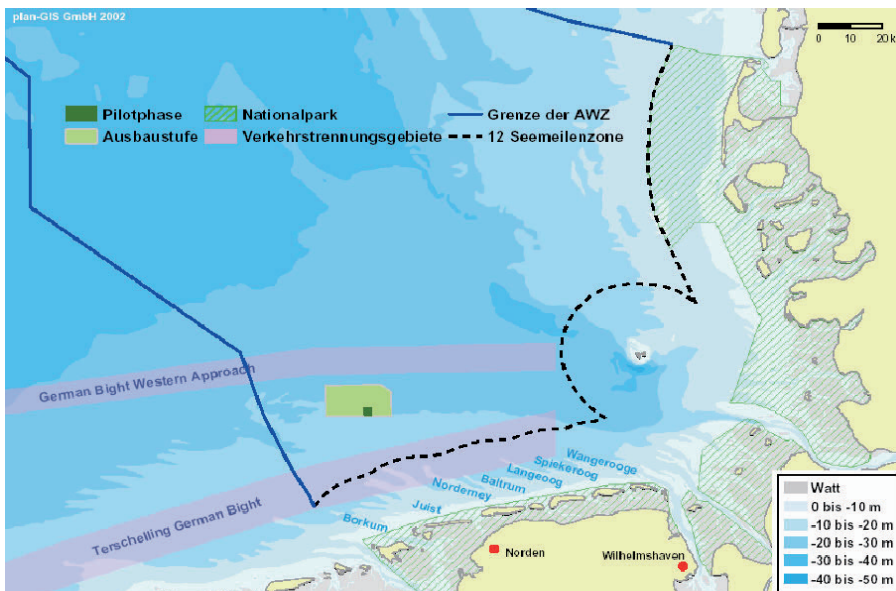


Abb. 4: Lage des Testfelds Borkum West im Wattenmeer (dunkelgrüner Punkt im hellgrünen Feld).

Einsatz in einem kommerziellen Projektsinnvoll.

Das Testfeld Borkum West (Abb. 4) weist insgesamt 12 Standorte für 5 MW Anlagen aus. Die Inbetriebnahme ist für 2007 vorgesehen.

Der gesamte Investitionsbedarf wird ca. 160 Mio. • betragen, davon 40 Mio. • für die Kabelanbindung. Vattenfall Europe beabsichtigt, sich an der Kabelverbindung zu beteiligen.

6.2 Biomasse-Heizkraftwerk Sellessen

In Sellessen errichten wir zur Versorgung der Neubau-Siedlung Haidemühl, einer Umsiedlungsmaßnahme aus dem Tagebau Welzow-Süd, ein Biomassekraftwerk mit Holzhackschnitzelfeuerung (Abb. 5). Die Leistung beträgt 2,5 MW elektrische Energie (MWel) und 3,6 MW thermische Energie (MWth), die Wärme wird im Wesentlichen zur Versorgung der Wohngebäude genutzt. Der Holzbedarf beträgt 26.000 Tonnen Holz jährlich, die Holzversorgung wird zu 85 % aus dem Tagebaufortschritt gedeckt. Die Restmenge wird vorerst zugekauft, in Zukunft planen wir hier den Einsatz von Kurzumtriebspflanzen, die auf Tagebaurekultivierungsflächen angebaut werden.

Die Inbetriebnahme ist noch für Ende 2005 vorgesehen.

6.3 Geothermie Groß-Schönebeck

In Groß-Schönebeck nördlich von Berlin wird das zweite Geothermie Kraftwerk von Vattenfall Europe errichtet, in Zusammen-

arbeit mit dem Geoforschungszentrum Potsdam und mit Unterstützung des BMU. Am Standort ist bereits eine Bohrung vorhanden, im Rahmen des Projekts wird eine zweite Bohrung niedergebracht, um den Thermalwasserkreislauf zu schließen. Oberirdisch wird eine Turbine mit einer Leistung 1 MWel installiert, eine Wärmeauskopplung ist wegen fehlender Abnehmer nicht vorgesehen. Die Investitionen betragen ca. 3,8 Mio. •, die Inbetriebnahme ist für Ende 2007 vorgesehen.



Abb. 5: Das Biomasse-Heizkraftwerk Sellessen (Foto: Vattenfall Europe).

7 Schlussfolgerungen

Welche Schlüsse können aus der beschriebenen Situation gezogen werden?

- Erneuerbare Energien sind und bleiben Bestandteil des Energiemixes in Deutschland.
- Der Anteil der erneuerbaren Energien wird weiter steigen, Offshore-Wind und Biomasse werden dabei die dominierende Rolle spielen.
- Die Wirtschaftlichkeit muss verbessert werden mit dem Ziel der Konkurrenzfähigkeit zu den etablierten Energieträgern.

Vattenfall Europe engagiert sich im Bereich erneuerbare Energien durch

- Investitionen in wirtschaftlich sinnvolle Projekte sowie
- Forschung und Entwicklung zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Risikominimierung.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Kurt Häge &
Dr. Oliver Weinmann
Vattenfall Europe AG
Chausseestr. 23

10115 Berlin

E-Mail: Oliver.Weinmann@vattenfall.de

Michael Rode & Silke Schlegelmilch

Räumliche Dimensionen und Auswirkungen des Biomasseanbaus aus landschaftspflegerischer Sicht

Angesichts der weltweiten Klimaveränderung durch den Treibhauseffekt verpflichteten sich die Industriestaaten im Kyoto-Protokoll von 1997, ihre Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2012 gegenüber 1990 um durchschnittlich 5,2 % zu senken. Eine Strategie des Klimaschutzes ist die Umstellung der Energieproduktion von fossilen auf erneuerbare Energieträger. In der EU wurde dazu im Jahr 2001 die Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt erlassen. Diese sieht für Deutschland eine Steigerung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf mindestens 12,5 % im Jahr 2010 vor. Dieses Ziel wurde in Deutschland bereits mit der Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) vom 29. März 2000 gesetzlich verankert und ist Teil des Klimaschutzprogramms der Bundesregierung.

Aufgrund der nationalen geographischen und klimatischen Bedingungen in Deutschland lassen sich die solare Strahlung, Windenergie, Wasserkraft, Erdwärme und Biomasse zur Energieerzeugung nutzen (BREITSCHUH et al. 1999). Bis zum Jahr 2030 könnten ehrgeizigen Szenarien zufolge 22 % des Primärenergiebedarfs aus diesen erneuerbaren Energien gedeckt werden (FRITSCHKE et al. 2004), wovon Biomasse mit 14 % dabei den größten Anteil ausmachen wird. Angesichts der sich verbessernden technischen Möglichkeiten und der Veränderung der rechtlichen Rahmenbedingungen – deutliche Anhebung und Differenzierung der Vergütungssätze je nach Anlagentyp und Anpassung der Obergrenzen von Anlagengrößen im novellierten EEG (2004) – ist derzeit ein stark expandierender Ausbau der Energieproduktion aus erneuerbaren Energien zu beobachten. Zusätzlich forciert wird der Ausbau der Biomassenutzung zur Energiegewinnung durch strukturelle Veränderungen in der Land- und Forstwirtschaft, wobei ergänzende Einnahmequellen wachsende Defizite in Bereichen der Holz-, Lebens- und Futtermittelproduktion ausgleichen könnten.

1 Räumliche Dimension

Im Gegensatz zu den fossilen Energieträgern, die punktuell mit hoher Energiedichte

vorhanden sind und gewonnen werden können, ist die räumliche Energiedichte der erneuerbaren Energien gering. Um sie in nennenswertem Umfang nutzen zu können, sind die Raumansprüche hoch. Insbesondere die Energiegewinnung aus Biomasse erfordert in erheblichem Umfang Flächen, auf denen die zu nutzende Biomasse heranwächst bzw. angebaut wird. Konzentrierten sich Entwicklungen zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Vergangenheit noch vornehmlich auf die Holzverwertung und den von der Biomasse traditionell dominierten Wärmemarkt, so expandiert derzeit v. a. die Verwertung von Fermentationsbiomasse, die als Grüngut über den Anbau von Energiepflanzen und allmählich auch über die Verwertung von Grünschnitt gewonnen wird (RODE et al. 2005). Dabei gewinnt die energetische Nutzung von Biomasse neben dem Wärmemarkt auch im Strom- und Kraftstoffmarkt zunehmend an Bedeutung (vgl. z. B. REICHE 2004, S. 57).

Mit einer Richtlinie hat die Europäische Union (EU) 2003 festgesetzt, den Anteil an Biokraftstoffen am Gesamtkraftstoffverbrauch innerhalb der EU bis zum Jahr 2010 auf 5,75 % zu erhöhen (EU Richtlinie 2003). Um diese Entwicklung zu fördern, beabsichtigt die EU-Kommission 2006 einen *Biomass Action Plan* zu starten (EU 2005). Damit will sie der Herstellung von Energie und Kraftstoffen aus biologischem Material in den kommenden Jahren Schub verleihen. 2006 will die Kommission einen Bericht zur Überarbeitung der sog. Biofuels-Richtlinie vorlegen, der verbindliche Ziele für den Marktanteil von Biokraftstoffen festlegt. Der neue Aktionsplan sieht zudem eine Überarbeitung der Normen vor, um die Nutzung von Biomasse für die Strom- und Wärmeerzeugung zu erleichtern. Insgesamt könnte nach diesen Zielen die aus Biomasse produzierte Energiemenge zur Stromerzeugung von 20 Mtoe (million tons of oil equivalent/ Millionen Tonnen Öläquivalente) im Jahr 2003 auf 55 Mtoe im Jahr 2010, bei der Wärmeproduktion von 45 auf 75 Mtoe und bei der Kraftstoffherstellung von 1 auf 19 Mtoe ansteigen. Damit würde sich EU-weit das genutzte Potenzial von Energie aus landwirtschaftlich produzierter Biomasse ausgehend von der tatsächlichen Produktion von 2 Mtoe in 2003 über ge-

schätzte 43 bis 46 Mtoe in 2010 und 76 bis 94 Mtoe in 2020 auf 102 bis 140 Mtoe im Jahr 2030 erhöhen (EU 2005, S. 22). Das energetisch nutzbare Potenzial von Waldholz (2010: 43 Mtoe; 2020: 39 bis 45 Mtoe; 2030: 39 bis 72 Mtoe) weist dagegen deutlich geringere Potenzialsteigerungen auf, und das Potenzial der energetischen Verwertung von industriellen Abfallstoffen ist ab 2010 kaum noch zu steigern (2010 und 2020: 100 Mtoe, 2030: 102 Mtoe) (EU 2005, S. 20).

2 Flächenbedarf

Um die politisch vorgegebenen Ziele zur Nutzung nachwachsender Energieträger zu erreichen, werden in den kommenden Jahren erhebliche Mengen landwirtschaftlicher Fläche von der Lebens- und Futtermittelproduktion auf die Energieproduktion umgestellt werden müssen. Je nach Entwicklungsszenario wird für den Anbau von Energiepflanzen bis 2030 die Nutzung von ca. 2,5 bis 4 Mio. ha prognostiziert (FRITSCHKE et al. 2004). Dies entspricht bis zu einem Drittel der heutigen ackerbaulichen Nutzfläche von 12 Mio. ha (Statistisches Bundesamt Deutschland 2005).

Diese Entwicklung wird zu einem verstärkten Flächendruck führen, der sich bereits heute abzeichnen beginnt. Dabei spielen Flächenkonkurrenzen eine entscheidende Rolle. Allein um die für 2010 vorgegebenen 5,75 % Mindestanteil biogener Kraftstoffe am Kraftstoffverbrauch durch Energiepflanzenproduktion im Inland zu produzieren, müssten neben der Nutzung von Waldrestholz nach Berechnungen von REINHARDT et al. (2004) und REINHARDT & GÄRTNER (2005) unter dem Primat der 100%-igen Selbstversorgung Deutschlands mit Lebens- und Futtermitteln im Jahr 2010 nahezu alle nicht für die Selbstversorgung benötigten Agrarflächen für die Erzeugung von Biokraftstoff herangezogen werden. Die Erzeugung von pflanzlichen Rohstoffen zur Biokraftstoffherstellung konkurriert damit mit der zunehmenden Rohstoffbereitstellung der Landwirtschaft für die industrielle stoffliche Verwertung, mit dem rasant steigenden Anbau von Pflanzen zur Wärme- und Stromproduktion und mit anderen Nach-

haltigkeitszielen wie dem Biotopverbund (gemäß den Vorgaben in § 3 BNatSchG), dem Boden- und Gewässerschutz und dem Bedarf an Kompensationsflächen um die zur Verfügung stehenden Flächen. Letztendlich ergibt sich daraus auch eine angespannte Konkurrenzsituation zur Lebens- und Futtermittelproduktion. REINHARDT & GÄRTNER (2005, S. 401) fassen diese Erkenntnis so zusammen: „Damit wird deutlich, dass Fläche in Deutschland mittlerweile ein äußerst knappes Gut darstellt und die diversen Nachhaltigkeitsziele um die verbleibenden Flächen zum Teil massiv konkurrieren.“

Schon diese sich in den kommenden Jahren verschärfende Flächenkonkurrenz verdeutlicht, dass die enorme Ausweitung der energetischen Nutzung von Biomasse durch nachhaltige Effekte auf die Landnutzungssysteme und damit auf den Naturhaushalt und die Landschaftsfunktionen begleitet wird. Hinzu kommt, dass sich die Zielvorgaben beim Anbau von Energiepflanzen im Vergleich zum Nahrungs- und Futtermittelanbau erheblich unterscheiden (vgl. u. a. GRASS & SCHEFFER 2005, HARTMANN & KALTSCHMITT 2002). Die Energiepflanzenproduktion zielt auf möglichst hohe Biomasseerträge. Zudem unterliegt die zur energetischen Nutzung produzierte Biomasse nicht den hohen Qualitätsanforderungen der Nahrungs- und Futtermittelprodukte. Im Energiepflanzenbau können darüber hinaus andere und neue Kulturpflanzenarten und -arten in Rein- und Mischkultur genutzt werden wie etwa „Energieweizen“, Sonnenblumen, Topinambur und Zuckerhirse. Damit ergibt sich durch den Anbau von Pflanzen zur energetischen Nutzung eine grundsätzlich neue Ausrichtung der Landwirtschaft gegenüber dem Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln. Die Konsequenzen aus landschaftspflegerischer Sicht sind sehr komplex. Im Folgenden sollen daher nur die wesentlichen bislang absehbaren Auswirkungen einer teilweisen Umstrukturierung der landwirtschaftlichen Produktion auf den Energiepflanzenanbau betrachtet werden. Da auf die Auswirkungen des Anbaus von Energiehölzern in Schnellwuchsplantagen bereits in anderen Artikeln eingegangen wird (s. BENS et al. in diesem Heft, BURGER in diesem Heft), konzentrieren sich die Aussagen auf die Auswirkungen des Anbaus von Grünbiomasse zur energetischen Nutzung über den Fermentationsweg (Fermentationsbiomasse; RODE et al. 2005).

Über den Fermentationsweg lassen sich viele biogene Reststoffe, wie Gülle und Ernterückstände, aber auch ein breites

Spektrum an speziell angebauten Energiepflanzen energetisch nutzen. Diese Stoffe können sowohl einzeln (Monofermentation) als auch gemeinsam (Kofermentation) eingesetzt werden. Darüber hinaus können außerlandwirtschaftliche Abfallstoffe eingesetzt werden (WEILAND 2000). Lediglich Pflanzen mit hohen Lignin- und Celluloseanteilen sind für die anaerobe Vergärung weniger geeignet.

Kofermentation, bei der meist silierte Grünbiomasse gemeinsam mit Gülle in einer rührfähigen Suspension fermentiert wird, findet sich v. a. in Kombination mit Viehwirtschaft. Sie konzentriert sich daher auf Regionen mit hohem Viehbesatz. In Regionen mit geringem Anteil an Vieh halten den Betrieben dominiert die Monofermentation. Dabei wird die meist silierte und damit lagerfähig gemachte Grünbiomasse mit Wasser versetzt, bis eine gut pump- und rührfähige Suspension entsteht. Gülle wird, falls überhaupt, lediglich zur Impfung der so gebildeten Maische mit den benötigten Bakterien verwandt (SCHULZ & EDER 2001).

Die geringen technischen Vorgaben an das zu vergärende Substrat und die verminderten Qualitätsansprüche an die Kulturen lassen Raum für Überlegungen, ob durch veränderte Anbauverfahren von Energiepflanzen Synergieeffekte für den Naturschutz zu erzielen sind. Denkbar sind z. B. eine Erweiterung der landwirtschaftlichen Fruchtfolgen und die Verbesserung der Kulturartenvielfalt im Anbau. Weitere positive Effekte könnten sich durch einen reduzierten Mineraldünger- oder Pflanzenschutzmitteleinsatz ergeben (s. u. a. SCHEFFER 1995, 1998; KARPENSTEIN-MACHAN 1997; LEWANDOWSKI & KALTSCHMITT 1998).

Generell sind die Entwicklung des Energiepflanzenanbaus auf landwirtschaftlichen Flächen und damit die Auswirkungen auf Natur und Landschaft von einer Vielzahl unterschiedlichster Faktoren abhängig: agrar- und energiepolitische Vorgaben, betriebstechnische und -wirtschaftliche Situation landwirtschaftlicher Betriebe, standörtliche Gegebenheiten, Züchtung und Vermarktung neuer Energiepflanzenarten und -sorten sowie Entwicklung neuer Kulturverfahren. Diese Faktoren stehen in enger Beziehung zueinander und bilden ein dynamisches System. Eine exakte, langfristige Prognose für Art und Umfang des Energiepflanzenanbaus ist demnach nur schwer zu treffen. Darüber hinaus bilden sich in Abhängigkeit von Betriebsstrukturen und standörtlichen Gegebenheiten regional- und standortspezifische Unterschiede in der Energiepflanzenerzeugung heraus, die ihrerseits wiederum unter-

schiedliche flächen- und landschaftsbezogene Wechselwirkungen des Anbaus von Energiepflanzen mit den verschiedenen Naturgütern (Boden, Wasser, Klima, Luft, Arten und Biotope, Landschaftsbild etc.) bzw. deren gesellschaftlich relevanten Funktionen für Natur und Landschaft nach sich ziehen (Landschaftsfunktionen: Biotopfunktion, natürliche Ertragsfunktion des Bodens, Wasserdargebotsfunktion, bioklimatische Ausgleichsfunktion, Landschaftserlebensfunktion etc.)¹.

3 Aktuelle Anbauvarianten für Energiepflanzen zur Fermentation

Bei den Kulturverfahren zur energetischen Nutzung von Pflanzen über den Fermentationsweg sind im Grundsatz zwei übergeordnete Ausrichtungen denkbar: Einerseits die Maximierung von Biomasseerträgen pro Flächeneinheit auf produktiven Standorten, andererseits die Minimierung von Arbeits- und Stoffeinsatz bei der Bestellung von Kulturen auf Standorten mit geringerem Ertragspotenzial. Während der Intensivanbau auf maximale Trockenmasseerträge pro Hektar abzielt, nimmt man auf weniger ertragreichen Böden bewusst geringere Erträge in Kauf und versucht durch reduzierte Aufwendungen positive Deckungsbeiträge zu erwirtschaften (HAMPICKE et al. 2005). Neben den Ertragszielen sind bei den extensiven Anbauvarianten zusätzliche Synergieeffekte im Bereich des Umwelt- und Naturschutzes erwünscht (WICHTMANN & SCHÄFFER 2005).

Bei den Energiepflanzenkulturen auf produktiven Standorten dominiert derzeit der Anbau von Energieweizen (RODE et al. 2005). Hinzu kommen bislang insbesondere der Anbau von Ackergräsern und Roggen sowie die energetische Verwertung von Zwischenfrüchten wie Winterraps oder *Phacelia* und landwirtschaftlichen Nebenprodukten wie Maisspindeln oder Rübenblätter. Die energetische Ganzpflanzenutzung weiterer Arten, insbesondere von Sonnenblume, Topinambur und Zuckerhirse (*Sorghum bicolor*), wird in den kommenden Jahren hinzukommen, sobald effektiv Biomasse produzierende Sorten

1 Während Naturgüter einzelne Bestandteile des Naturhaushaltes darstellen, erfolgt die Operationalisierung der im § 1 BNatSchG verankerten „Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts“ üblicherweise mit Hilfe von Landschaftsfunktionen, die das natürliche Leistungsvermögen von Natur und Landschaft charakterisieren, um unterschiedliche gesellschaftliche Ansprüche langfristig zu befriedigen (vgl. HAAREN 2004, S. 79 ff.).

gezüchtet und entsprechende Kulturverfahren entwickelt worden sind.

Der Anbau von Pflanzen zur Energiegewinnung kann zum einen in eine enge Fruchtfolge bei konventionellen Bewirtschaftungsweisen integriert werden. In diesem Fall ist mit einer Ausweitung der Fruchtfolgen zu rechnen. Zum anderen bildet sich derzeit ein reiner Energiepflanzenanbau mit spezialisierten Fruchtfolgen heraus (Energy Farming). Sowohl bei der Integration des Energiepflanzenanbaus in konventionelle Fruchtfolgen als auch beim Energy Farming können „Energie-Kulturverfahren“ mit einer Hauptfrucht und energetisch zu verwertenden Zwischenfrüchten sowie mit mehreren (in der Regel zwei) Hauptkulturen im Jahr eingesetzt werden. Dies ist möglich, weil im Falle der energetischen Biomassennutzung die Erstkulturen in noch unreifem Zustand geerntet werden und somit Vegetationszeit für den Anbau der Zweitkultur gewonnen wird. Die zweite Hauptfrucht wird dann direkt in die Stopeln der ersten Frucht eingesät (SCHEFFER 1998). Als Erstfrucht eignen sich alle winterharten Kulturen. Neben Getreidearten wie Weizen, Roggen, Gerste oder Winterhafer, können Raps, Rüben oder Winterleguminosen als Erstkulturen angebaut werden. Geeignete Zweitkulturen sind insbesondere Mais, Hirse und Sonnenblumen, aber auch Hanf, Ölrettich oder Gräser (GRASS & SCHEFFER 2005).

Jedes der genannten Anbau-Verfahren ist grundsätzlich als Monokultur oder als Mischkultur durchführbar (RODE et al. 2005). Insbesondere Mischkulturen versprechen eine höhere Produktivität, da sowohl Standortunterschiede innerhalb der Schläge als auch unterschiedliche klimatische Entwicklungen zwischen oder innerhalb der Anbauperioden durch das unterschiedliche Wuchsverhalten der einzelnen, gemeinsam angebauten Arten abgedeckt werden können. Derzeit diskutiert werden z. B. Mischkulturen aus Mais und Sonnenblume oder Futterhirse, aus verschiedenen Getreidearten (s. Abb. 1) oder Mischungen mit Leguminosen. Damit ergibt sich eine Vielzahl möglicher Anbauvarianten, die die landwirtschaftliche Anbaupraxis mit unterschiedlichen Auswirkungen auf Natur und Landschaft in zunehmendem Maße beeinflussen und verändern werden (RODE 2005a).

4 Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf produktiven Standorten

Über mögliche Auswirkungen der Energiepflanzenproduktion in der Landwirtschaft auf den Naturhaushalt und die Land-



Abb.1: Mischanbau Triticale und Winterhafer (Foto: M. Rode).

schaftsfunktionen liegen bislang nur wenige Ergebnisse gezielter Feld-Untersuchungen vor. Es besteht eine Kenntnislücke, die erst durch die Ergebnisse zurzeit laufender Forschungsvorhaben gemildert werden wird. Derzeitige Einschätzungen gehen daher im Wesentlichen von den aktuellen Konfliktfeldern zwischen Naturschutz und Landwirtschaft aus (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001, BEMMANN et al. 2004, RODE et al. 2005). Diese sind im Zusammenhang mit den neuen bzw. veränderten Anbauvarianten der Biomasseproduktion zur Energiegewinnung zu diskutieren und zu bewerten. Da entsprechend den aktuellen Prognosen von einem enormen Flächenbedarf ausgegangen werden muss, bietet sich v. a. bei einer intensiven Landnutzung durch den Energiepflanzenanbau auf produktiven Standorten als vergleichender Maßstab die derzeitige konventionelle landwirtschaftliche Nutzung mit engen Fruchtfolgen und intensiven Bewirtschaftungsmethoden an (RODE et al. 2005). Dabei ist die Einhaltung ökologischer Mindestanforderungen im Rahmen der Guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft auch für die Energiepflanzenproduktion explizit vorauszusetzen (RODE 2005a).

Zu den wichtigsten zu erwartenden Auswirkungen auf Natur und Landschaft zählen, analog zu den Konsequenzen der landwirtschaftlichen Lebens- und Futtermittelproduktion, sowohl On site- als auch Off site-Wirkungen. On site-Wirkungen ergeben sich im Wesentlichen durch Veränderungen beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, Eutrophierung, Bodenverdichtung

und Bodenerosion. Hiervon ausgehend können Off site-Wirkungen durch Veränderungen der Grundwasserneubildungsrate sowie der Grund- und Oberflächenwasserqualitäten folgen. Hinzu kommen sich daraus ergebende Konsequenzen für Arten und Biotope und für das Landschaftsbild (vgl. hierzu u. a. KNICKEL et al. 2001; SRU 1998; HAAREN 2004, S. 148; BEMMANN et al. 2004, S. 23 f.).

4.1 Pflanzenschutzmittel

Pflanzenschutzmittel (PSM) wirken negativ auf die Bodenfunktionen, die Artenvielfalt und belasten Grundwasser und Oberflächengewässer. Entscheidend für die Intensität der Wirkung ist die Art des Wirkstoffes und seine Adsorptionseigenschaften, d. h. seine Mobilität im Boden sowie sein Abbauverhalten. Des Weiteren sind die Applikationsmenge, -dauer und -häufigkeit (z. B. in Abhängigkeit der Fruchtfolge) von Bedeutung (SANDER 2004, S. 181). Überdies spielen die Art und der Entwicklungsstand des Pflanzenbestandes und damit die Aufnahme von PSM durch die Pflanzen sowie die Art einer Bodenbearbeitung eine Rolle. So kann z. B. häufiges und tiefes Pflügen Pflanzenschutzmittel im Boden verlagern (PESTEMER & NORDMEYER 1993).

Im Vergleich zur Lebens- und Futtermittelproduktion ist beim Energiepflanzenanbau von einem verringerten Einsatz an Pflanzenschutzmitteln auszugehen. Da Energiepflanzen nicht so hohen qualitativen Anforderungen unterliegen wie Nahrungs- und Futtermittelpflanzen, kann ein

höherer Krankheitsbefall und Unkrautbesatz toleriert werden, solange dieser nicht zur erheblichen Ertragsreduktion führt (HARTMANN & KALTSCHMITT 2002, S. 368). Hinzu kommt, dass Wildkräuter in der thermischen Verwertung mitgenutzt werden können. Dadurch wird der Ertrag nutzbarer Biomasse durch Wildkrautbesatz weniger beeinträchtigt, so dass die ökonomische Schadschwelle des Unkrautbesatzes niedriger liegt als bei der Lebens- und Futtermittelproduktion (BUTTLAR 1997, KARPENSTEIN-MACHAN 1997). Verstärkt wird dieser Effekt dadurch, dass im Energiepflanzenanbau auf eine größere Arten- und Sortenvielfalt zurückgegriffen werden kann. Damit ist die genetische Variabilität erhöht und z. B. die Ausbreitung windbürtiger Krankheitserreger wie etwa Rost oder Mehltau erniedrigt (HARTMANN & KALTSCHMITT 2002, S. 369). Wie sehr der Einsatz von PSM verringert werden kann, hängt von den eingesetzten Kulturarten und Anbauverfahren ab. So kann z. B. beim Energiepflanzenanbau mit Mais als Hauptfrucht aufgrund der langsamen Jugendentwicklung und dem damit verbundenen geringen Konkurrenzdruck auf eine Bekämpfung von Wildkraut aufwuchs in diesem Stadium kaum verzichtet werden (Abb. 2). Wird Mais wegen seiner Selbstverträglichkeit über mehrere Jahre auf dem gleichen Schlag angebaut (STOCK & DIEPENBROCK 1999) erhöht sich die Gefahr von Ertragsverlusten durch Schadorganismen wie dem aktuell nach Deutschland einwandernden Westlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera*). In diesem Fall hilft außer einem Umsteuern auf eine weite Fruchtfolge oder gar mehrjährigem Anbauverzicht (SCHMIDT 2003) nur eine massive Bekämpfung mit Pestiziden (Land und Forst 2003). Ein geringerer Pestizideinsatz im Vergleich zum Maisanbau zur Futtermittelproduktion ist dann nicht gegeben.

Im Zweikulturnutzungssystem kann demgegenüber der Einsatz von Insektiziden und Fungiziden verringert werden, da Schaderreger durch eine auf Mitte bis Ende Juni vorgezogene Ernte der Erstfrucht und eine geringere verbleibende Kulturdauer der Zweitfrucht nur geringe Ernteverluste an Grünbiomasse hervorrufen können (KARPENSTEIN-MACHAN 1997). Damit sinkt die Gefahr einer Grund- und Oberflächenwasserbelastung bei diesem Anbausystem ebenso wie negative Auswirkungen des Pflanzenschutzmitteleinsatzes auf Flora und Fauna.

4.2 Eutrophierung

Die Ursache der Eutrophierung von Grund- und Oberflächenwasser sowie terrestri-

scher Biotope, die der intensiven Landbewirtschaftung benachbart sind, ist nicht zwangsläufig Folge steigender Düngemengen, sondern liegt v. a. in einer unsachgemäßen Anwendung der Dünger begründet (HEGE 1998, S. 112, vgl. DüngeV). Hierbei sind wirtschaftseigene Dünger (Gülle, Jauche) kritischer zu bewerten als Mineraldünger, da sie meist nicht so gezielt eingesetzt werden können und damit der Stickstoffausnutzungsgrad schlechter ist.

Stickstoffverlagerungen mit dem Wasser finden besonders im Zeitraum ohne Pflanzenbewuchs statt, indem nach der Ernte im Spätsommer und Frühherbst durch die Mineralisation und Nitrifikation Nitrat gebildet wird, ohne von Pflanzen aufgenommen werden zu können (HEGE 1998, S. 119 f.). Eine möglichst ganzjährige Pflanzendecke z. B. durch den Anbau von Zwischenfrüchten, vermindert den Stickstoffaustrag erheblich. Der Stickstoffaustrag ist auch umso geringer, je besser es gelingt, Menge und Zeitpunkt der Düngung dem Bedarf der Pflanzen anzupassen. Hierbei kann ein Splitten der N-Menge in mehrere Einzelgaben den Austrag begrenzen (HEGE 1998). Als Risikofruchtarten für eine hohe Stickstoffbelastung gelten demnach Fruchtarten (SANDER 2004, S. 173, 178),

- bei denen nährstoffreiche Ernterückstände auf der Fläche verbleiben,
- die einen hohen Stickstoffbedarf haben,
- die selbst Stickstoff binden und
- deren Ernteverfahren verstärkt Mineralisation im Boden auslösen.

Des Weiteren kann eine starke Durchlüftung des Bodens durch intensives Pflügen den Humusabbau fördern und damit Nährstoffe, insbesondere Stickstoff freisetzen. Geschieht diese Maßnahme im Herbst, werden diese Nährstoffe nicht mehr verwertet und können ausgewaschen werden (SCHEFFER 2002, SCHOLZ et al. 1999). Hinweise auf das Risiko einer Stickstoffauswaschung können also die Art und Dauer des Pflanzenbestandes, die Fruchtfolge, Art, Menge und Zeitpunkt des organischen bzw. mineralischen Düngemitelesatzes und die Art und der Zeitpunkt der Bodenbearbeitung geben. Geht man von diesen allgemeinen Überlegungen aus, so sind in Bezug auf die Eutrophierungsgefährdung bei der energetischen Nutzung landwirtschaftlich erzeugter Biomasse je nach Anbauverfahren entweder keine Unterschiede oder weniger negative Auswirkungen auf den Naturhaushalt im Vergleich zum Anbau von Lebens- und Futtermitteln zu erwarten. Dies soll im Folgenden am Beispiel des Anbaus von Energiemais und des Zweikulturnutzungssystems betrachtet werden.

Bei Energiemaisbeständen werden in den ersten Wuchsstadien Stickstoff und andere Pflanzennährstoffe in gleichem Maße wie zur Futtermittelproduktion zugeführt, zur Einsaat und später in einer zweiten Gabe bei einer Bestandshöhe von ca. 40 cm (STOCK & DIEPENBROCK 1999). Ähnliches gilt für andere Energiepflanzenarten z. B. Zuckerhirse und Sonnenblume. Die Jungpflanzen können jedoch nur wenig



Abb. 2: Herbizideinsatz beim Maisanbau (Foto: M. Rode).

Stickstoff aufnehmen. Es ist deshalb in diesem Zeitraum mit Stickstoffverlusten zu rechnen (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001). Hinzu kommt, dass – bedingt durch eine erheblich höhere Biomasseproduktion – Energiepflanzen in diesen Stadien deutlich größere Nährstoffmengen benötigen. Eine bedarfsgerechte Düngung bedeutet in diesem Fall also höhere Düngergaben als bisher im konventionellen Anbau üblich, bei gleichzeitig höherem Nährstoffentzug durch die Pflanzen. Damit steigt einerseits in diesen Wuchsstadien generell das Risiko der Eutrophierung durch die Austragung größerer Stickstoff-Mengen, z. B. bei falsch bemessenen Düngegaben oder -zeitpunkten (RODE et al. 2005).

Andererseits kommt es im Energiepflanzenanbau nicht auf das Qualitätskriterium eines hohen Eiweißgehaltes an. Dadurch kann auf die Qualitätsspätdüngung im Getreideanbau verzichtet werden. Unter anderem durch einen Verzicht auf diese Düngung ist nach Angaben von HARTMANN & KALTSCHMITT (2002, S. 370) die Gesamt-Stickstoffdüngung beim Energiepflanzenanbau im Durchschnitt um 30 % niedriger. Da zudem eine späte Düngung ein besonders hohes Risiko der Nitrat- auswaschung ins Grundwasser birgt, wenn Anteile des Düngers bei der Ernte noch nicht ausgenutzt sind oder bei organischer Düngung der Stickstoff noch nicht vollständig mineralisiert worden ist, wird dieses Risiko im Energiepflanzenanbau geringer ausfallen als in der bisherigen intensiven ackerbaulichen Nutzung (SCHEFFER 2002). Hinzu kommt, dass bei Getreide inklusive Energiemais und Zuckerhirse der optimale Erntezeitpunkt mit den höchsten Methanerträgen bei der Fermentation am Ende der Teigreife liegt (AMON et al. 2003, 2004; OECHSNER et al. 2003). Die Ganzpflanzenernte zu diesem frühen Reifezeitpunkt verbunden mit einer hohen Trockenmasseproduktion bedingt einen hohen Nährstoffexport von den Anbauflächen. Dadurch wird das Risiko der Stickstofffreisetzung weiter vermindert.

Im Anbausystem der Zweikulturnutzung werden Rest-Stickstoffmengen nach der Ernte der Erstkultur durch den Anbau der zweiten Kultur genutzt. Die zweite Kultur hinterlässt deutlich geringere Stickstoff-Mengen im Boden (SCHEFFER 2002). Da diese zweite Kultur, z. B. im Fall von Mais nicht die gewünschte Futterqualität erreicht, kann sie nur als Energiepflanze verwertet werden. Allerdings ist bei einem sehr späten Erntetermin einer Zweitkultur eine Begrünung vor dem Winter, z. B. durch eine Folgefrucht, nicht mehr möglich, wodurch sowohl das Erosionsrisiko als auch

der Nährstoffaustrag von diesen Flächen im Winterhalbjahr steigt (HARTMANN & KALTSCHMITT 2002, S. 371).

Um Stickstoffaustrag zu vermeiden, ist daher bei allen Energiepflanzen-Kulturverfahren auf eine ganzjährige Bedeckung mit Vegetation zu achten. Sie vermindert zum einen die Bodenerosion und damit den Nährstoffexport in Oberflächen-gewässer. Neben Stickstoff ist hierbei auch der Austrag von Phosphaten von besonderer Bedeutung. Zum anderen wird dem Boden dadurch kontinuierlich Stickstoff entzogen und damit das Risiko der Nitrat- auswaschung ins Grundwasser verringert. Darüber hinaus stabilisieren die Erträge aus dem Zwischenfruchtanbau in reinen Energiepflanzenfruchtfolgen die jährlichen Gesamtbiomasseerträge (BÖHMEL et al. 2005, SCHEFFER 2002, SCHOLZ et al. 1999). Da bei der Vergärung kaum Stickstoff aus dem Fermentationsgemisch entweicht, ist es im Energiepflanzenbau unabhängig vom Kulturverfahren sinnvoll, durch eine Rückführung der Fermentationsrückstände (Biogasgülle) den Nährstoffkreislauf möglichst geschlossen zu halten. Durch eine Ausbringung der Biogasgülle und der damit verbundenen Nährstoff-Rückführung auf die Flächen ist insgesamt eine Reduzierung des Mineraldüngereinsatzes zu erwarten. Inwieweit es durch diesen Kreislauf in Verbindung mit zusätzlicher Düngung in der landwirtschaftlichen Praxis zu Belastungen durch Eutrophierungen kommt, ist aufgrund fehlender Untersuchungen derzeit kaum zu beurteilen (AIGELTINGER & ELLMER 2005, RODE et al. 2005). Zwar verhalten sich Biogasrückstände ähnlich wie Gülle, da sie im flüssigen Zustand auf die Felder gebracht werden (deshalb gelten für die Ausbringung der Biogasrückstände die gleichen Anforderungen, z. B. der Witterungs- und Bodenbedingungen), der Nährstoffgehalt der Biogasrückstände hängt aber von den Ausgangssubstanzen ab (z. B. ob Gülle als Kosubstrat mit verwertet wurde), so dass sich keine verallgemeinerbaren Aussagen treffen lassen (HEGE et al. 2003).

4.3 Bodenerosion

Sowohl bei der Erosionsgefährdung durch Wasser als auch durch Wind ist neben der Topografie der Grad der Bodenbedeckung durch Pflanzen entscheidend, wobei das Risiko mit abnehmendem Bodenbedeckungsgrad zunimmt. Dabei sind besonders wassergesättigte Böden durch Wassererosion und trockene Böden durch Winderosion gefährdet. Die Landbewirtschaftung wirkt sich über die Intensität der Bodenbearbeitung, die Fruchtfolge und

die kulturspezifischen Eigenschaften der angebauten Kulturen auf die Bodenerosion aus. Risikofruchtarten für Bodenerosionen sind demnach v. a. Fruchtarten, die den Boden erst spät bedecken und einen weiten Reihenabstand haben wie Mais und Hackfrüchte. Bei Fruchtarten wie Getreide, die den Boden schnell und gut decken, ist das Risiko gering. Zudem ist das Risiko durch fehlende oder unzureichende Bodenbedeckung jahreszeitenabhängig. Für Wassererosion bedeutet das, dass insbesondere bei intensiven und damit sehr erosiven Sommerniederschlägen eine dichte Bodenbedeckung besonders relevant ist. Auch Winterniederschläge können erosiv wirken, da der Boden zu dieser Jahreszeit häufig wassergesättigt ist, so dass Wasser oberflächlich abfließt und das Bodengefüge durch die hohe Bodenfeuchte instabil ist (FRIELINGHAUS et al. 2001, S. 47).

Die Gefahr der Bodenerosion ist bei Mais als Reihenpflanzung mit weiten Abständen, später Aussaat und später Bodenbedeckung als hoch einzuschätzen (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001). Das gilt grundsätzlich auch für den Anbau von Energiemais, Zuckerhirse und Sonnenblume. Insbesondere Hanglagen und schluffige Böden verstärken dieses Risiko (STOCK & DIEPENBROCK 1999).

Erosionsmindernd wirkt sich hingegen der Anbau von Zwischenfrüchten zur energetischen Verwertung und die zeitlich enge Abfolge der Kulturen im Zweikulturnutzungssystem aus. Um eine möglichst hohe Biomasseproduktion zu erreichen, ist es bei beiden Anbauverfahren sinnvoll, den Boden ganzjährig von Pflanzen bedeckt zu halten. Ein Beispiel dafür in der Zweikulturnutzung ist der Anbau von Wintergetreide gefolgt von spät angebautem und sich daher aufgrund der höheren Temperaturen schnell entwickelndem Mais. Das Getreide wird bereits im Herbst gesät und im Stadium der Milchreife geerntet. Der Wechsel der Kulturen sollte etwa in der zweiten Junihälfte stattfinden. Der Mais wird dabei direkt in die Stoppeln des Getreides eingebracht. Durch diese Art der Bewirtschaftung wird das Erosionsrisiko bei jungen Maispflanzungen deutlich vermindert. Da vor der Einsaat der Boden nicht weiter bearbeitet wird, werden darüber hinaus durch diese Bodenruhe der Humusabbau verlangsamt und Verdichtungen und Störungen des Bodenlebens vermieden. (SCHEFFER 1995).

4.4 Bodenschadverdichtung

Eine durch den Anbau von Kulturpflanzen hervorgerufene Bodenverdichtung ist

abhängig von der Bodenart und der Art und Intensität der Bewirtschaftung. Wirkt sie sich negativ auf die Bodenfunktionen und das Bodenleben aus, dann beeinträchtigt sie die natürliche Ertragsfunktion des Bodens sowie die Grundwasserdargebotsfunktion, wenn die Infiltration von Regenwasser eingeschränkt ist (SOMMER et al. 2001).

Neben standörtlichen Faktoren gelten als Risikofaktoren für derartige Bodenschadverdichtungen die Masse und die Häufigkeit des Überfahrens mit schweren Maschinen, wobei die Traktormasse einen erheblicheren Einfluss auf die Bodenverdichtung haben kann als die Zahl der Überfahrten (CANARACHE et al. 1984). Verstärkt wird dieser negative Effekt, wenn der Boden beim Befahren feucht ist (SOMMER et al. 2001). Dementsprechend sind Zuckerrüben, Kartoffeln und Mais Risikofruchtarten für Bodenverdichtung, da mehr als 40 % der Anbaufläche durch hohe Radpassagezahlen beeinflusst werden (HAAREN 2004, S. 159). Die Überrollhäufigkeit kann jedoch durch eine Zusammenlegung von Arbeitsgängen begrenzt werden (SOMMER et al. 2001).

Da sich Bodenbearbeitung, Saatbettvorbereitung, Aussaat und Düngungshäufigkeiten beim Energiepflanzenanbau nur wenig vom Lebens- und Futtermittelanbau unterscheiden, sind nur geringe Unterschiede in der Bodenschadverdichtung zwischen den unterschiedlichen Produktionsrichtungen zu erwarten. Zwar ist das Verdichtungsrisiko durch verringerte Überfahrten je Fruchtart beim Energiepflanzenanbau dadurch vermindert, dass die letzte Düngung zum Teil entfallen und ein höherer Krankheits- und Unkrautbesatz toleriert werden kann (HARTMANN & KALTSCHMITT 2002, S. 364; SCHEFFER 2002), doch wird diese positive Wirkung durch den Anbau und die Ernte einer Zweitfrucht oder von Zwischenfrüchten zur Biomasseproduktion mit damit verbundenen zusätzlichen Arbeitsgängen in aller Regel ausgeglichen.

Durch den Energiepflanzenanbau in Monokultur können sich negative kulturspezifische Auswirkungen auf Natur und Landschaft sogar verstärken. Bei Mais betrifft dies u. a. die Erosion und Bodenverdichtungen (STOCK & DIEPENBROCK 1999). So ist z. B. beim Anbau von Zuckerhirse und Mais der im Vergleich zum Lebens- und Futtermittelanbau noch spätere Erntezeitpunkt im Herbst in Hinsicht des Bodenverdichtungsrisikos aufgrund der höheren Bodenfeuchte problematisch (HARTMANN & KALTSCHMITT 2002, S. 364). Letztendlich bleibt jedoch aufgrund fehlender konkreter Angaben zu klären,

inwieweit sich tatsächlich die Anzahl der für einen Energiepflanzenanbau benötigten Arbeitsgänge im Vergleich zum konventionellen Anbau verringert und ob dadurch die Verdichtungsgefahr geringer wird.

4.5 Arten und Lebensgemeinschaften

Der in den letzten Jahrzehnten zu beobachtende generelle Trend, dass sich das Artenspektrum der Ackerbegleitflora auf einige wenige widerstandsfähige Arten (v. a. nitrophile, resistente und konkurrenzstarke Arten) verringert, wird insbesondere durch die zwei Bewirtschaftungsfaktoren *Düngung* und *Herbizideinsatz* verursacht. Neben weiteren Faktoren wie verbesserte Saatgutreinigung, Schlagvergrößerung, Ausräumung schlagbegrenzender Vegetationsstrukturen und Brachlegung zuvor extensiv genutzter Ackerflächen nennt MAHN (2002, S. 71) die Veränderung der Anbauzeiten (Saat und Ernte) und die Einengung der Fruchtfolgen als Faktoren für die Diversitätsabnahme der Ackerbegleitflora. In vielen Landwirtschaftsbetrieben werden heute aufgrund ökonomischer Zwänge nur noch wenige Kulturarten angebaut (HOFMEISTER & GARVE 1998, S. 171).

Da im Energiepflanzenanbau alle ertragreichen Pflanzenarten interessante potenzielle Energiepflanzen sind, ist im Vergleich zu den bisherigen intensiven Anbauverfahren prinzipiell eine höhere Arten- und Sortenvielfalt möglich. Hierzu zählt z. B. die Nutzung von Sonnenblumen, Wicken, Wintererbsen, Zuckerhirse und Topinambur – also auch völlig neue Arten, die im herkömmlichen Nahrungs- und Futtermittelanbau nicht verwendet werden (KARPENSTEIN-MACHAN 1997, S. 163, GRASS & SCHEFFER 2005). Darüber hinaus können auch alte Kultursorten wieder verwendet werden. Häufig haben alte Sorten sogar einen höheren Ertrag bei der Betrachtung der Gesamtpflanze im Vergleich zu modernen Sorten (GRASS & SCHEFFER 2005). Die Erweiterung des Fruchtarten- und Fruchtfolgenspektrums, die Veränderung der Erntetermine (z. B. im Zweikulturnutzungssystem) und der Mischanbau (und mit ihm die Erweiterung der kulturspezifischen Entwicklungsbedingungen) schaffen eine Optionsmehrung, die sich auf die Artenzusammensetzung der Flora und Fauna insbesondere in Mischanbaugebieten mit Lebensmittel-, Futtermittel- und Energiepflanzenproduktion positiv auswirken dürfte.

Hinzu kommt, dass v. a. bei der Mehrkulturnutzung der Aufwuchs von Wild-

pflanzen in begrenztem Umfang toleriert werden kann (SCHEFFER 1995). Die Ertragseinbußen bei den Kulturpflanzen werden durch die Biomasseproduktion der Wildpflanzen zum Teil wieder ausgeglichen, da Wildpflanzen ebenfalls problemlos als Biomasse in einer Biogasanlage genutzt werden können. Erst wenn der Schaden durch Wildpflanzen größer ist als der Nutzen, sinken die Gesamterträge (KARPENSTEIN-MACHAN 1997). Problematisch sind allerdings Schädwirkungen, die durch eine starke Samenvermehrung oder den Wiederaustrieb von Wildgräsern entstehen. Insbesondere eine frühe Ernte der Erstkultur begünstigt den Wiederaustrieb von Wildgräsern in der nachfolgenden Kultur. Dort ist dann ggf. eine Regulierung von Wildpflanzen notwendig, die sich nicht allein durch Fruchtfolgen und abgestimmte Erntetermine erreichen lässt. Doch bietet sich im Energiepflanzenanbau alternativ zur Anwendung von Herbiziden die mechanische Bekämpfung der Wildpflanzen an. Im Vergleich zum Lebens- und Futtermittelanbau ist es weniger erforderlich Wildpflanzenaufwuchs vollständig zu vernichten. Eine Reduzierung der Bestände auf eine geringere Dichte ist im Energiepflanzenanbau ausreichend (KARPENSTEIN-MACHAN 1997).

Zu konkreten Verschiebungen des Artenspektrums der Flora und Fauna und der Veränderung von Dominanzverhältnissen bei Ackerwildkräutern und Wildgräsern durch veränderte Bewirtschaftungsbedingungen liegen bislang keine detaillierten Informationen vor. Die höhere Toleranz beim Energiepflanzenanbau gegenüber Ackerwildkräutern und Wildgräsern verbessert einerseits grundsätzlich die Rahmenbedingungen für die an diese Bewirtschaftungsbedingungen angepassten Pflanzenarten. Andererseits ist anzunehmen, dass aufgrund der sehr frühen Ernte insbesondere krautige Arten, die eine relativ lange Zeit bis zur Samenreife benötigen, allmählich von den Äckern verdrängt werden. Ein dichter Aufwuchs von Hauptfrüchten im Zweifruktanbau könnte zudem lichtliebende Ackerwildkräuter und wärmeliebende Tierarten unterdrücken und damit insgesamt das beim Verzicht von Herbiziden zu erwartende potenzielle Artenspektrum wieder einschränken.

Insgesamt bleibt als dringende Aufgabe für die Forschung zu klären, welche Arten begünstigt werden, ob sich die Artenzahl erhöht und ob der Energiepflanzenanbau ggf. gefährdeten Arten Lebensraum bieten kann. Da die Verringerung des Artenspektrums auch durch die Einengung der

Fruchtfolge und die Beschränkung auf wenige Kultursorten bedingt ist (s. o.), kann hier der Energiepflanzenanbau – wenn er nicht auf reinen Maisanbau in konventioneller Anbauweise beschränkt bleibt – vielleicht sogar eine Chance bieten, das Artenspektrum zu erweitern. Dazu beitragen kann auch, dass zwei der wichtigsten Faktoren, die einen Verlust an Arten und Lebensgemeinschaften der Ackerbegleitflora bewirken – nämlich die Düngung und der Einsatz von Herbiziden – je nach Kulturart und Anbauverfahren im Energiepflanzenanbau reduziert werden könnten.

5 Energiepflanzenanbau auf ertragsarmen Standorten

Die intensive Bewirtschaftung auf ertragsarmen Standorten rechnet sich bisher für Landwirte zumeist nur aufgrund hoher flächenbezogener Prämienzahlungen der EU. Langfristig müssen vermutlich neue Wege gefunden werden, wie diese Flächen weiterhin durch eine landwirtschaftliche Nutzung offen gehalten werden können.

Daher gewinnt insbesondere aus landschaftspflegerischer Sicht die Frage nach der zukünftigen Bewirtschaftung von ertragsarmen Standorten zunehmend an Bedeutung. Die Produktion von Biomasse zur Energiegewinnung könnte hier einen Lösungsweg darstellen. Bisherige Überlegungen zu dieser Thematik gehen davon aus, dass sich ein Energiepflanzenanbau auf ertragsarmen Standorten aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nur nach dem Low-Input-Low-Output-Prinzip umsetzen lässt (s. o., HAMPICKE et al. 2005, WICHTMANN & SCHÄFER 2005). Ein derartiger extensiver Energiepflanzenanbau könnte in zwei Varianten umgesetzt werden:

1. Anbau annueller Kulturen in speziellen Energiepflanzenfruchtfolgen und Mischkulturen und
2. Anbau perennierender Kulturen (RODE et al. 2005).

Die Basis für einen extensiven Anbau von ein- oder mehrjährigen Energiepflanzen bildet ein Stoffeinsatz, der z. B. durch die Einsparung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln für die angebauten Kulturen auf ein Minimum reduziert wird (Low-Input) (Abb. 3). Insbesondere durch den Einsatz von mehrjährigen Kulturen, z. B. perennierendem Roggen, sind zusätzliche Einsparungen durch einen verringerten Arbeitsaufwand für Bodenbearbeitung und Saatgutausbringung denkbar. Bei der Ernte geht man, im Vergleich zu intensiven Anbauverfahren, von deutlich niedrigeren Erträgen aus (Low-Output). Insgesamt

sollen so dennoch wirtschaftlich tragbare, d. h. deutlich positive Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden (HAMPICKE et al. 2005).

Der Ansatz eines verminderten Betriebsmitteleinsatzes auf ertragsarmen Standorten befindet sich erst in der Entwicklungsphase. Zunächst gilt es für einen derartigen extensiven Anbau effektive, standortangepasste Energiepflanzenfruchtfolgen und Anbauverfahren zu entwickeln. Dabei ist ein synergetischer Ansatz anzustreben, der neben der Kostendeckung auch eine hohe ökologische Wertigkeit als Ziel für die bewirtschafteten Flächen beinhaltet. Energiepflanzen könnten dann z. B. speziell angepasst auf Gebiete mit Nutzungseinschränkungen (z. B. Naturschutz- und Wasserschutzgebiete) angebaut werden (RODE et al. 2005, WICHTMANN & SCHÄFER 2005).

Darüber hinaus lässt sich die Erzeugung von Biogas auch in ökologisch wirtschaftenden Betrieben umsetzen. Nutzbare Biomasseanteile ergeben sich aus dem Anbau von Zwischenfrüchten, dem Aufwuchs von Brachen, pflanzlichen Reststoffen und dem betriebseigenen Anfall von Wirtschaftsdünger. Der betriebliche Nährstoffkreislauf würde dabei erhalten bleiben, da die Biogasanlage lediglich ein zusätzliches Glied in der Nährstoffkette bildet. Die Nährstoffe können in Form der Biogasgülle wieder gezielt auf die landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden (RODE et al. 2005).

6 Grünlandpflege durch energetische Nutzung des Schnittgutes

Bei der energetischen Verwertung von Biomasse steht die Wirtschaftlichkeit der

Anlagen im Vordergrund. Da die alleinige Vergärung von reiner Gülle selten wirtschaftlich zu betreiben ist, nutzen viele Betreiber die Kofermentation von nachwachsenden Rohstoffen wie Silomais, aber auch die Vergärung von Gras (RIEGER et al. 2003). Gras fällt z. B. bei der Bewirtschaftung von landwirtschaftlich genutztem Grünland, der Pflege von Extensivgrünland auf Naturschutzflächen oder der Pflege kommunaler Grünflächen (Sportplätze, Parkanlagen) an. Wegen fehlender Nutzungsalternativen stellt das Schnittgut oft ein kostenträchtiges Entsorgungsproblem dar. Einerseits sind der Möglichkeit, Grünlandflächen nach naturschutzfachlichen Zielsetzungen zu pflegen, daher oft finanziell enge Grenzen gesetzt. Andererseits ist die Erhaltung vorhandener extensiv bewirtschafteter Grünlandflächen aus Sicht des Naturschutzes von großer Bedeutung, da diese als wichtige Rückzugsräume eine hohe Bedeutung für eine Vielzahl gefährdeter Arten haben (KORNECK et al. 1998). Neben besonders feuchten und trockenen Grünlandtypen gelten auch die artenreichen Varianten mesophilen Grünlandes als stark gefährdete Biotope (vgl. RIECKEN et al. 1994). Als Alternative zur gänzlichen Nutzungsaufgabe dieser Flächen scheint sich daher die energetische Verwertung des Aufwuchses besonders anzubieten. Auch auf Stilllegungsflächen angebautes Feldgras könnte energetisch genutzt werden. Die Vergärung von Gras in konventionellen Nassvergärungsanlagen ist jedoch aus technischen Gründen nur in begrenztem Rahmen möglich. So darf der Trockensubstanz-Gehalt der Gülle-Gras-Mischung bei Biogasanlagen, die allein für die Vergärung von Flüssigmist ausgelegt sind, 10 % nicht übersteigen. Anlagen, die speziell



Abb. 3: Extensiver Anbau von Roggen (Foto: M. Rode).

für die Grasvergärung geeignet sind, können einen Trockensubstanz-Anteil von bis zu 12 % verarbeiten. Bei höheren Zugaben kann die Homogenisierung des Substrates und der Austrieb des Gases nicht mehr sichergestellt werden. Bei der Zugabe von hohen Grasanteilen ist der Vergärungsprozess in der Anlage sehr genau zu überwachen, da sich beim Ausfall des Rührwerkes das Substratgemisch innerhalb weniger Stunden stark ausdehnen und die Anlage beschädigen kann (RODE et al. 2005).

Welche Substrate zur Kofermentation in einer Biogasanlage genutzt werden, hängt neben der Verfügbarkeit der Rohstoffe v. a. von deren Qualität in Bezug auf die Gaserträge ab. Eine Übersicht zu den unterschiedlichen Qualitäten verschiedener Grünlandtypen im Vergleich zu Silomais geben die Ergebnisse von Fermentierungsversuchen von LEMMER & OECHSNER (2001):

1. Rasenschnitt eines Golfplatzes (Greens; täglicher Schnitt),
2. Grassilage von intensivem Grünland (vier Schnitte pro Jahr),
3. Grassilage von extensivem Grünland (zwei Schnitte pro Jahr) und
4. Mähgut von ungedüngten und im September gemähten Naturschutzgebieten (vgl. auch OECHSNER 2005).

Nach diesen Untersuchungen sind die Methanerträge pro Kilogramm eingesetzter organischer Trockensubstanz (oTS) der genannten Substratalternativen sehr unterschiedlich. Der Methanertrag von Naturschutz-Mähgut fällt vergleichsweise niedrig aus, während die höchsten Methanerträge die Grassilage von intensiv genutztem Grünland liefert. Der Grund für die Unterschiede ist eine nachlassende Energieausbeute mit zunehmendem Alter der zu erntenden Biomasse aufgrund eines ansteigenden Rohfasergehaltes in den vegetativen Pflanzenbestandteilen (LEMMER & OECHSNER 2001, OECHSNER 2005). Im Laufe der Vegetationsperiode steigen Rohfaser- und Energiegehalt in den Gräsern an und erreichen etwa Ende Juli ihren Höchstwert. Der Hauptzuwachs ist jedoch bereits zwischen Ende Mai bis Ende Juni erreicht. Im Gegensatz dazu sinkt der Anteil der in einer Biogasanlage verwertbaren Energie in dieser Zeit kontinuierlich. Von der vorhandenen Energie in den Gräsern kann also immer weniger umgesetzt werden, je später der Schnitt erfolgt.

Je geringer die Energieausbeute von Grasschnitt ist, desto weniger ist die Wirtschaftlichkeit der energetischen Nutzung gegeben. Nach Kalkulationen von LEMMER & OECHSNER (2003) kann da-

her die Grasvergärung in dafür gut geeigneten Anlagen nur bei der Verwendung von intensiv genutztem Grünland wirtschaftlich betrieben werden. Bei der Verwendung von extensiv erzeugtem Grünland sowie bei Aufwüchsen von Naturschutzflächen sind Ausgleichszahlungen von etwa 300,00 bis 350,00 • als Voraussetzung für eine wirtschaftliche Grünlandnutzung genannt (LEMMER & OECHSNER 2003). Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen KEYMER & SCHILCHER (2000), die die Wirtschaftlichkeit der Verstromung von Grassilage als Zusatz in einer bestehenden Anlage mit freien Fermenter-Kapazitäten berechnet haben. Unter den derzeitigen technischen Bedingungen ist die Fermentation von Grasschnitt von Naturschutzgrünland zur Energiegewinnung in vielen Fällen unrentabel. Am ehesten eignet sich noch eine Verwertung von Grünlandaufwuchs auf von Natur aus eutrophen Standorten, wie Feuchtwiesen und Überschwemmungsbereichen in Auen (RODE 2005a, RODE 2005b). Vielversprechender für eine energetische Verwertung von Naturschutzgrünland-Aufwuchs mit späten oder gar sehr späten Mahdzeitpunkten ist die Verbrennung von Landschaftspflegeheu (OECHSNER 2005). Doch auch hier ist die Verbrennungstechnik noch nicht ausgereift, so dass derzeit lediglich eine Koverbrennung mit Kohle oder Holz umgesetzt wird (RODE 2005a, RODE et al. 2005). Allerdings erhöhen sich die Chancen für beide energetischen Verwertungswege, Fermentation und Verbrennung, wenn Fördermaßnahmen aus den Bereichen Naturschutz, Landwirtschaft und erneuerbare Energien sinnvoll aufeinander abgestimmt werden können (SCHWEPPE-KRAFT 2003, RODE 2005b).

Literatur

AIGELTINGER, R. & ELLMER, F. (2005): Pflanzenbauliche Verwertung von Gärrückständen aus der Biogaserzeugung mit Monosubstrat Kartoffeln. - Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss., **17**, 205-206.

AMON, T.; KRYVORUCHKO, V.; AMON, B.; BUGA, S.; AMID, A.; ZOLLITSCH, W.; MAYER, K. & PÖTSCH, E. (2004): Biogaserträge aus landwirtschaftlichen Gärgütern. In: Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft: 10. Alpenländisches Expertenforum zum Thema Biogasproduktion – Alternative Biomassenutzung und Energiegewinnung in der Landwirtschaft, Irdning, 21-26.

AMON, T.; KRYVORUCHKO, V.; AMON, B.; BUGA, S.; ZOLLITSCH, W. & MOITZI, G. (2003): Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais, Klee und Sudan-gras. - In: Versuchswirtschaft (Hg.): 100 Jahre Forschung und Lehre an der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf. - Selbstverlag. Groß-Enzersdorf, 22 S.

BEMMANN, A.; REINHARDT, G.; RODE, M.; SCHEURL, K.; SCHMIDT, C.; THIELE, M.; WERNER, A. & WETTSTEIN, C. (2004): Wirkfaktoren der energetischen Nutzung von Biomasse. In: REINHARDT, G., SCHEURL, K.: Endbericht zum F+E-Vorhaben Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien, im Auftrag des BfN – Bundesamt für Naturschutz, 11-54 (Unveröff.).

BÖHMEL, C.; SCHUMACHER, B.; KAUTER, D. & CLAUPEIN, W. (2005): Ertragspotenzial von Energiemais. - Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss., **17**, 160-161.

BREITSCHUH, G.; ECKERT, H.; REINHOLD, G. & VETTER, A. (1999): Bioenergie zwischen Weißbuch und Agenda 2000. In: Technische Universität Freiberg (Hg.): 5. Internationale Fachtagung 1999. Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe. - Freiberg.

BUTTLAR, H.-B. von (1997): Wildpflanzenregulierung im Energiepflanzenanbau unter Verzicht auf synthetische Herbizide: Untersuchung von Sommerungen im Direktsaatverfahren. - Cuvillier, Göttingen, 125 S.

CANARACHE, A.; COLIBAS, I.; COLIBAS, M.; HOROBEANU, I.; PATRU, V.; SIMOTA, H. & TRADAFIRESCU, T. (1984): Effect of induced compaction by wheeled traffic on soil physical properties and yield of maize in Romania. - Soil Tillage Res., **4**, 199-213.

EEG (2004): Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich. Vom 21.7.2004, BGBl I 2004 Nr. 40 vom 31.7.2004.

EU/Europäische Kommission (2005): Biomass Action Plan. - Mitteilungen der Kommission Com(2005) 628 final (Sec(2005) 1573), Brüssel, 7.12.2005, 47 S.

EU Richtlinie (2003): Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor. 08. Mai 2003.

FRIELINGHAUS, M.; BRANDHUBER, R.; GULLICH, P. & SCHMIDT, W.-A. (2001): Vorsorge gegen Bodenerosion. In: BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft) (Hg.): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadver-dichtungen und Bodenerosion, 43-92.

FRITSCH, U.; DEHOUST, G.; JENSEIT, W.; HÜNECKE, K.; RAUSCH, L.; SCHÜLER, D.; WIEGMANN, K.; HEINZ, A.; HIEBEL, M.; ISING, M.; KABASCI, S.; UNGER, C.; THRÄN, D.; FRÖHLICH, N.; SCHOLWIN, F.; REINHARDT, G.; GÄRTNER, S.; PATYK, A.; BAUR, F.; BEMMAN, U.; GROß, B.; HEIB, M.; ZIEGLER, C.; FLAKE, M.; SCHMEHL, M. & SIMON, S. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse. Endbericht zu einem F+E-Vorhaben des Bundesministeriums für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit – Projektträger FZ Jülich. 263 S.

GRASS, R. & SCHEFFER, K. (2005): Alternative Anbaumethoden: Das Zweikulturnutzungssystem. - Natur und Landschaft, **80**, H. 9/10, 435-439.

HAAREN, C. von. (Hg.) 2004: Landschaftsplanung. - Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 527 S.

HAMPICKE, U. (2005): Nutzungsalternativen der Landschaft und ihre Bewertung. In: HAMPICKE, U.; LITERSKI, B. & WICHTMANN, W. (Hg.): Ackerlandschaften. Nachhaltigkeit und Naturschutz auf ertragsschwachen Standorten. - Springer Verlag, Berlin, 55-76.

HARTMANN, H. & KALTSCHMITT, M. (Hg.) (2002): Biomasse als erneuerbarer Energieträger - Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse im Kontext der übrigen erneuerbaren Energien. - Schriftenreihe „Nachwachsende Roh-

stoffe“ Band 3, 2. Aufl. Landwirtschaftsverlag, Münster, 692 S.

HEGE, U. (1998): Pflanzenernährung und Düngung. In: MUNZERT, M. & HÜFFMEIER, H. (Hg.): Pflanzliche Erzeugung: Grundlagen des Acker- und Pflanzenbaus – Grundlagen des Integrierten Landbaus – Produktionstechnik der Kulturpflanzen – Dauergrünland – Nachwachsende Rohstoffe – Ökologischer Landbau – Naturschutz, Landschaftspflege. Die Landwirtschaft 1. BLV, München, 107-186.

HOFMEISTER, H. & GARVE, E. (1998): Lebensraum Acker. - Paul Parey, Berlin, 322 S.

KALTSCHMITT, M. & HARTMANN, H. (Hg.) (2001): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken, Verfahren. - Springer, Berlin, 770 S.

KARPENSTEIN-MACHAN, M. (1997): Konzepte für den Energiepflanzenbau. Perspektiven eines pestizidfreien Anbaus von Energiepflanzen zur thermischen Verwertung im System der Zweikulturnutzung. - DLG, Frankfurt a. M., 183 S.

KEYMER, U. & SCHILCHER, A. (2000): Gas aus Silomais und Grassilage rentabel? - In: MEDENBACH, M. C. (Hg.): 3. Tarmstetter Forum. Erneuerbare Energie in der Landwirtschaft. - Zeven, 27-29

KNICKEL, K.; JANSSEN, K.; SCHRAMEK, J. & KÖPPL, K. (2001): Naturschutz und Landwirtschaft: Kriterienkatalog zur „Guten fachlichen Praxis“. Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 898 88 032 des Bundesamtes für Naturschutz. - Schriftenreihe Angewandte Landschaftsökologie, H. 41, 152 S.

KORNECK, D.; SCHNITTLER, M.; KLINGENSTEIN, F.; LUDWIG, G.; TAKLAM, B.; BOHN, U. & MAY, R. (1998): Warum verarmt unsere Flora? Auswertung der Roten Liste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. - Schriftenreihe für Vegetationskunde, H. 29, 299-444.

Land und Forst (2003): Neuer schädlicher Käfer im Mais. - Wochenblatt für Landwirtschaft, Familie und Landleben/Die Grüne, Mitteilungsblatt der Landwirtschaftskammer Hannover 42, 156. Jg.

LEMMER, A. & OECHSNER, H. (2001): Einsatz von Mähgut landwirtschaftlich nicht genutzter Flächen als Kosubstrat in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Tagungsband zur 5. Internationalen Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“. - Stuttgart, 398-401.

LEMMER, A. & OECHSNER, H. (2003): Technische und wirtschaftliche Voraussetzungen zum erfolgreichen Energiefarming. Vortrag im Rahmen der Fachtagung „Energiefarming und Biogas“ des Biogasforum Niedersachsen am 10.11.2003 in Hannover.

LEWANDOWSKI, I. & KALTSCHMITT, M. (1998): Voraussetzungen und Aspekte einer nachhaltigen Biomasseproduktion. - Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg Band 27, 19-38.

MAHN, E.-G. (2002): Biologie und Ökologie der Unkräuter. In: ZWERTGER, P. & AMMON, H.U. (Hg.): Unkraut: Ökologie und Bekämpfung. - Eugen Ulmer, Stuttgart, 21-78.

OECHSNER, H. (2005): Möglichkeiten zur energetischen Verwertung von Landschaftspflege-

heu. - Natur und Landschaft, 80, H. 9/10, 426-429.

OECHSNER, H.; LEMMER, A. & NEUBERG, C. (2003): Feldfrüchte als Gärsubstrat in Biogasanlagen. - Landtechnik 3/2003, 146-147.

PESTEMER, H. & NORDMEYER, H. (1993): Abschätzung potentieller Grundwassergefährdung durch Pflanzenschutzmittel. - Wasser und Boden, 45, H. 2, 70-76.

REICHE, D. (2004): Rahmenbedingungen für erneuerbare Energien in Deutschland. Möglichkeiten und Grenzen einer Vorreiterpolitik. - Verlag Peter Lang, Frankfurt am Main, 240 S.

REINHARDT, G. A. & GÄRTNER, S. O. (2005): Biokraftstoffe made in Germany: Wo liegen die Grenzen? - Natur und Landschaft, 80, H. 9/10, 400-402.

REINHARDT, G. A.; GÄRTNER, S. O. & SCHEURLIN, K. (2004): Teilbericht „Energie aus Biomasse und Naturschutz“. In: BMU (Hg.): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. - Berlin, 285 S.

RIECKEN, U.; RIES, U. & SSYMAN, A. (1994): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen in der Bundesrepublik Deutschland. - Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, H. 41, 184 S.

RIEGER, C.; EHRMANN, T. & WEILAND, P. (2003): Ergebnisse des Biogassessingprogramms zur Biogasqualität landwirtschaftlicher Kofermentationsanlagen. In: FNR (Hg.): Gülzower Fachgespräche 21, 24-31.

RODE, M. (2005a): Energetische Nutzung von Biomasse und der Naturschutz. - Natur und Landschaft, 80, H. 9/10, 403-412.

RODE, M. (2005b): Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial – Neue Perspektiven für den Naturschutz? In: Bundesverband Beruflicher Naturschutz (Hg.): Jahrbuch für Naturschutz und Landschaftspflege 55, 235-247.

RODE, M.; SCHNEIDER, C.; KETELHAK, G. & REISSHAUER, D. (2005): Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung. - BfN-Skripten 136, 183 S.

SANDER, A. (2004): Erfassen und Bewerten der Grundwasserdarstellungsfunktion. In: HAAREN, C. von (Hg.): Landschaftsplanung. - Eugen Ulmer, Stuttgart, 168-181.

SCHEFFER, K. (1995): Brennstoff aus feuchtkonservierter Biomasse – eine ökologische und ökonomische Alternative. - Mitteilungen der Norddeutschen Naturschutz Akademie (NNA) 1, 128-129.

SCHEFFER, K. (1998): Ein produktives, umweltschonendes Ackernutzungskonzept zur Bereitstellung von Energie und Wertstoffen aus der Vielfalt der Kulturpflanzen – Ansätze und neue Wege. - Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg, 27, 65-79.

SCHEFFER, K. (2002): Grundwasser- und Bodenschutz durch den Anbau von Energiepflanzen. In: Energieagentur NRW & Eurosolare V. (Hg.): Der Landwirt als Energie- und Rohstoffwirt. Produktion, Ausbildung, Arbeitsplätze. - Konferenzband 2002, Bonn, 23-27.

SCHMIDT, U. (2003): Wie die Saat, so die Erde. - Mais, Die Fachzeitschrift für den Maisanbauer 2/2003, 42.

SCHOLZ, V.; BEIER, W.; ELLERBROCK, R.; HELLEBRAND, H. J.; HÖHN, A.; KAULFUSS, P.; KRÜGER, K.; KÜHLING, M. & PAGEL, R. (1999): Umwelt- und technologiegerechter Anbau von Energiepflanzen. Forschungsbericht des Institut für Agrartechnik Bornim e. V. (ATB) sowie der Landesanstalt für Landwirtschaft Brandenburg, Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung Müncheberg e. V. - Potsdam-Bornim, 137 S.

SCHULZ, H. & EDER, B. (2001): Biogas Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele. - 2., überarbeitete Auflage. Staufen, 165 S.

SCHWEPPE-KRAFT, B. (2003): Biogasverwertung von Grünlandaufwuchs - Chance für Landwirtschaft, Klima und Naturschutz. Dokumentationsreihe Graskraft-Seminare - 7. Graskraft-Seminar, 14. November 2003: Verwertung von Gras aus Naturschutz und Landschaftspflege. - Plauen/Vogtland. 46 S.

SOMMER, C.; BRANDHUBER, R.; BRUNOTTE, J. & BUCHNER, W. (2001): Vorsorge gegen Bodenschadverdichtung. In: BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft) (Hg.): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion, 13-41.

SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (1998): Umweltgutachten 1998. - Stuttgart.

Statistisches Bundesamt Deutschland (2005): Spezielle Bodennutzung und Ernte. Ackerland nach Hauptfruchtgruppen und Fruchtarten. - <http://www.destatis.de/basis/d/forst/forsttab5.php>, Stand: 13. September 2005.

STOCK, H.-G. & DIEPENBROCK, W. (1999): Agronomische Artenpässe landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. Bedeutung und Anbauverfahren wichtiger landwirtschaftlicher Fruchtarten in Kurzfassung. - Aachen, 162 S.

WEILAND, P. (2000): Stand und Perspektiven der Biogasnutzung in Deutschland. In: FNR (Hg.): Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial. - Gülzower Fachgespräche Band 15. - Weimar, 8-28.

WICHTMANN, W. & SCHÄFER, A. (2005): Energiegewinnung von ertragsschwachen Ackerstandorten und Niedermooren - Standortgerechte Bewirtschaftung zur Offenhaltung der Landschaft in Nordostdeutschland. Natur und Landschaft, 80, H. 9/10, 421-425.

Anschrift der Verfasser:

PD Dr. Michael Rode &
Dipl.-Ing. Silke Schlegelmilch
Universität Hannover
Institut für Umweltplanung
Herrenhäuser Straße 2

30419 Hannover

E-Mail: rode@umwelt.uni-hannover.de

Oliver Bens, Tobias Plieninger & Reinhard F. Hüttl

Wiederherstellung gestörter Kulturlandschaften und Inwertsetzung durch nachwachsende Rohstoffe zur energetischen Nutzung

1 Störung in Kulturlandschaften

Der Begriff der *Störung* kennzeichnet auf der Ebene von Landschaften einen Vorgang, bei dem es zu vielfältigen und starken Veränderungen des Naturhaushalts sowie der sozioökonomischen Strukturen einer Region kommt. Dabei kann Störung als ein zeitlich und räumlich diskretes Ereignis verstanden werden, das die Struktur von Lebensgemeinschaften und Ökosystemen verändert. Diese Veränderungen haben über den rein ökologischen Effekt hinaus Auswirkungen auf die Lebens- und Wirtschaftsbedingungen der betroffenen Menschen (WALKER & WILIG 1999). Der sowohl in den Natur- als auch in den Sozialwissenschaften seit längerem etablierte Begriff umfasst neben natürlichen Ereignissen auch durch menschliche Eingriffe verursachte Störungen. Als natürliche Störungen greifen beispielsweise Vulkanausbrüche, Orkane oder Überflutungen in den Naturhaushalt ein. Seit der Industrialisierung treten zunehmend anthropogene Störungen in beachtlicher Dimension auf. Beispielsweise

werden ökologische Systeme als Folge großflächiger industrieller Nutzungen, intensiver Abholzungsmaßnahmen oder durch die Einwirkung pflanzenwirksamer Immissionen erheblich verändert oder vollständig zerstört.

Besonders gravierende Störungen des Naturhaushalts verursacht – neben der nahezu flächendeckend betriebenen Land- und Forstwirtschaft – der Bergbau, insbesondere der Abbau von Bodenschätzen im Tagebaubetrieb. Charakteristisch für die dabei gewonnenen fossilen Energieträger ist, dass sowohl der größte Ressourcenverbrauch als auch die größten Umweltbelastungen der Gesellschaft an die mit ihnen verbundenen stoffwandelnden Prozesse gekoppelt sind (FRATZSCHER & STEPHAN 2001). Deutschland ist weltweit der mit Abstand bedeutendste Braunkohle fördernde Staat. Neben dem Rheinischen und dem Mitteldeutschen Revier ist das Lausitzer Revier das flächenmäßig größte deutsche Braunkohlegebiet. Vor der politisch-wirtschaftlichen Wende 1989/1990 wurde im

Niederlausitzer Revier in 17 Tagebaubetrieben Braunkohle gefördert – fünf davon werden noch heute betrieben.

2 Rekultivierung gestörter Bergbaufolgelandschaften und deren Entwicklungspotenziale im Niederlausitzer Bergbaurevier

Die Niederlausitz hat sich von einer vorindustriellen Agrarlandschaft zum bedeutendsten Energiebezirk der damaligen DDR entwickelt. Im Zuge der Braunkohleförderung wurden hier rund 80.000 ha Fläche in Anspruch genommen und z. T. großflächig devastiert. Seit Anfang der 1990er Jahre steht das Niederlausitzer Bergbaurevier in einer Art postindustrieller Übergangsphase (Abb. 1), die zunächst durch einen erheblichen Rekultivierungsrückstand gekennzeichnet war.

Besonders im westlichen Bereich des Reviers blieben infolge des raschen Wandels große nicht rekultivierte Flächen zurück, die mit Hilfe des so genannten Sanierungs-

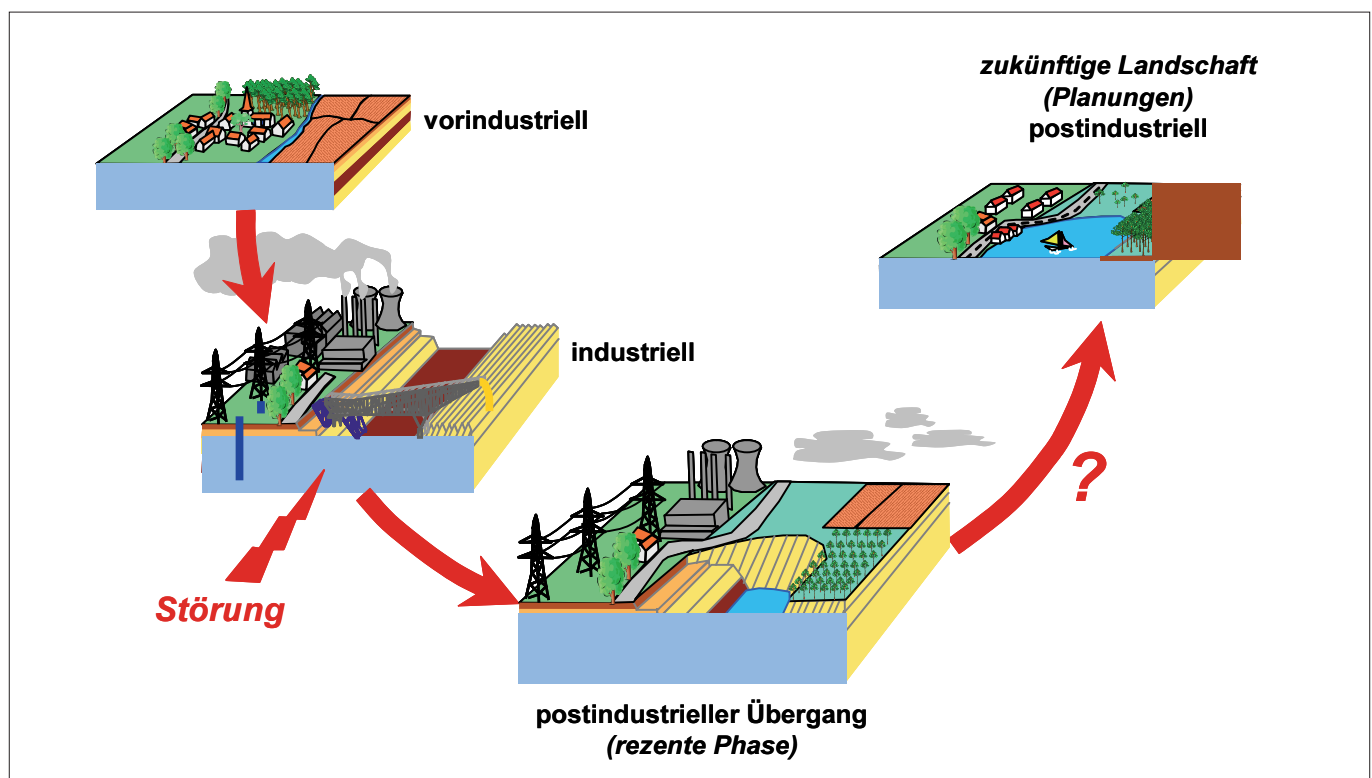


Abb. 1: Störung und Entwicklung einer Kulturlandschaft – Fallbeispiel Niederlausitzer Braunkohlerevier.

bergbaus bis heute für Nachnutzungen rekultiviert werden. Entsprechend dem Auftrag des Bundesberggesetzes und auf der Basis jahrhundertelanger Erfahrung verfolgt der Bergbau aktuell das Ziel, bereits bei der Planung des Abbaus die Wiederherstellung nutzbarer Flächen zu berücksichtigen. Die Niederlausitz ist aufgrund der vorherrschenden Standortfaktoren eine waldreiche Region. So zielt auch die Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft darauf ab, überwiegend Waldstandorte zu begründen. Für diese Form der Nachnutzung werden die Kippenflächen mit Kalk und Düngemitteln melioriert und vor der eigentlichen Aufforstung zum Schutz vor Winderosionsverlusten und zur Anreicherung von Bodenhumus mit Ansaaten begrünt.

Zur Untersuchung des ökologischen Entwicklungspotenzials sowie zur Bewertung relevanter ökologischer Entwicklungen wurden im Forschungsvorhaben *Innovationskolleg Bergbaufolgelandschaften* bzw. im Sonderforschungsbereich 565 *Gestörte Kulturlandschaften* sowie in zahlreichen weiteren anwendungs- und grundlagenorientierten Forschungsvorhaben sowohl die terrestrischen als auch die aquatischen Bereiche der Bergbaufolgelandschaft am Fallbeispiel des Niederlausitzer Braunkohlereviers untersucht (HÜTTL et al. 1999, 2000; BENS & HÜTTL 2002). Im terrestrischen Bereich interessiert vor allem, wie die Bodenbildung unter den ungewöhnlichen Bedingungen der Kippensubstratbeschaffenheit verläuft, wie sich Mikroorganismen, Pflanzen und Tiere ansiedeln und ob sich daraus stabile Ökosysteme entwickeln. Daher werden alle wichtigen bodenbildenden Teilprozesse untersucht und neue Methoden erarbeitet, die vor allem den besonderen chemischen Eigenschaften der Kippensubstrate Rechnung tragen. Die Frage, ob es Sukzessionsstadien der Vegetationsentwicklung gibt, wird ebenso untersucht wie die Wechselwirkungen zwischen Pflanzenbewuchs und Bodeneigenschaften.

Die verschiedenen interdisziplinären Untersuchungen zum Entwicklungspotenzial, zu den bereits belegbaren Entwicklungen sowie zu den Möglichkeiten ihrer Bewertung werden an repräsentativen Standorten durchgeführt. Die inhaltliche Vernetzung ergibt sich aus der Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Pedo-, Hydro- und Biosphäre. Der zeitlichen Entwicklung wird mit Hilfe von Prozess- und Chronosequenzstudien nachgegangen. Chronosequenzstudien stellen eine Möglichkeit dar, in relativ kurzer Zeit Informa-

tionen über den Verlauf der Entwicklung von Ökosystemen mit einer langen Lebensdauer zu erhalten und daraus Hypothesen über Gesetzmäßigkeiten der Systementwicklung abzuleiten. Sie basieren auf dem Ansatz, dass die zeitliche Entwicklung eines Ökosystems aus der Betrachtung von verschiedenen alten, im Übrigen aber vergleichbaren Standorten herausgefunden werden kann.

Die extremen bodenchemischen Bedingungen der Kippensubstrate spiegeln sich häufig in einer vergleichsweise geringen Tiefendurchwurzelung wider. Unterhalb des Meliorationshorizontes nimmt die Wurzeldichte deutlich ab (SCHNEIDER et al. 2001, BENS et al. 2002). Bisher ist jedoch unklar, ob Kiefern und Eichen in ihrer weiteren Bestandsentwicklung das für die Standsicherheit erforderliche, tiefreichende Wurzelsystem im sauren Unterboden ausbilden können, das für die trockenen Sandstandorte typisch wäre (SCHNEIDER et al. 2001). Bei der Besiedlung der nährstoff- und humusarmen Kippenstandorte spielt die Mykorrhizasymbiose offenbar eine bedeutende Rolle. Annähernd alle untersuchten dominanten Pflanzenarten der Krautschicht der Kiefern-Chronosequenz sind offensichtlich mykorrhiziert (WEBER et al. 1995). Die Besiedlung mit diesen pilzlichen Symbionten erfolgt zudem sehr rasch. Auf den kohlehaltigen Substraten wurden in Kiefern-Jungbeständen bislang noch nicht beschriebene Mykorrhizen entdeckt (ULLRICH et al. 1998, MÜNZENBERGER et al. 2000, SCHELTER et al. 2000). Im Weiteren ist zu klären, ob es sich hierbei um Pilzarten handelt, die besonders an die Kippensubstrate angepasst sind und welche ökologischen Funktionen bzw. physiologischen Leistungen diese Arten erbringen.

Die Umsatzleistung der Bodenorganismen nimmt genauso wie die oberirdische Biomasseproduktion der Baumschicht im Laufe der Zeit zu. Nach ca. 40 Jahren Standortentwicklung wurden für die oberirdische Biomasseproduktion der Baum- und Krautschicht und für die Umsatzleistungen der Bodenorganismen Kennwerte ermittelt, die den bekannten Werten vergleichbarer gewachsener Standorte ähneln (FROUZ et al. 2001, KEPLIN & HÜTTL 2001).

Die Biomasseproduktion von Pflanzen und Tieren ist für natürliche Böden ein wichtiger Lieferant für rezente organische Substanz und damit für Kohlenstoff. Für kohlehaltige Kippensubstrate ist die rezente organische Substanz jedoch neben Braunkohle, luftbürtigen Einträgen und Meliorationsasche nur eine von vier möglichen Kohlenstoffquellen (HÜTTL &

BENS 2003). Obwohl die organische Bodensubstanz in den Neulandböden von den Braunkohlebeimengungen dominiert wird, lässt sich im Oberboden mit spezifischen Methoden eine Beteiligung der rezenten organischen Substanz im frühen Stadium der Humifizierung zeigen (FETTWEIS et al. 2005, MORGENROTH et al. 2004). Hierbei nimmt der Anteil der rezenten organischen Substanz am gesamten Kohlenstoffpool innerhalb von 30 Jahren deutlich zu; er steigt auf 40 % an. Neben der chemischen Beschaffenheit organischer Bodensubstanz wird u. a. auch die morphologische Entwicklung eingehend untersucht, da die morphologische Entwicklung Rückschlüsse z. B. auf die tierische Besiedlung und biologische Aktivität sowie den Nährstoffstatus und den Zersetzungsgrad der organischen Bodensubstanz ermöglicht (BENS et al. 2004, HÜTTL et al. 2004). Die bislang erzielten Ergebnisse belegen, dass einerseits der Braunkohletagebau auch 40 bis 50 Jahre nach Stilllegung bzw. der Rekultivierung noch erheblich in den terrestrischen Ökosystemen der Bergbaufolgelandschaft nachwirkt und die Prozessdynamik im Zuge der Bodenentwicklung von der Störung langanhaltend geprägt wird. So sind z. B. die kohlehaltigen Kippenböden nach wie vor durch den Prozess der Pyritoxidation und die Bildung von Sekundärmineralphasen charakterisiert. Andererseits scheint sich insbesondere die Biozönose innerhalb von wenigen Jahrzehnten an die Folgen des Tagebaus angepasst zu haben. So zeigen die Entwicklung der Biomasseproduktion der Baum- und Krautschicht und die Umsatzleistungen der Bodenorganismen, dass sich an den Bergbaufolgestandorten in diesem Zeitraum eine Situation einstellt, die der an vergleichbaren gewachsenen Standorten ähnlich ist.

3 Inwertsetzung rekultivierter Bergbaufolgelandschaften

Eine vorrangige landwirtschaftliche Inwertsetzung von rekultivierten Bergbaufolgestandorten im Niederlausitzer Bergbaurevier ist aufgrund der schwierigen Bodenverhältnisse und vor dem Hintergrund der überregionalen bzw. internationalen Rahmenbedingungen im Agrarsektor problematisch. Daher gilt es Konzepte zu entwickeln, die einerseits eine dauerhaft-umweltgerechte sowie andererseits eine sozioökonomisch tragfähige Nutzung ermöglichen (BUNGART et al. 2000, HÜTTL 1997). Der Wiederherstellungsprozess im Zuge der Rekultivierung bietet die Möglichkeit, neue und

zukunftsorientierte Landnutzungssysteme zu etablieren, dabei gesellschaftliche Ziele zu realisieren und bestehende Interessenkonflikte zu minimieren. In diesem Zusammenhang führt die Brandenburgische Technische Universität Cottbus (BTU) in enger Kooperation mit den Bergbauunternehmen der Region und unter anderem auch mit der Internationalen Bauausstellung Fürst-Pückler-Land zahlreiche Projekte zur Erprobung und Verwirklichung alternativer Landnutzungskonzepte auf unterschiedlich rekultivierten Bergbaufolgestandorten durch. Die wissenschaftliche Begleitung alternativer Landschaftsgestaltungs- und Landnutzungsformen zielt vor allem darauf, die Nachhaltigkeit der durchgeführten Maßnahmen zu überprüfen. Dabei nehmen Landnutzungssysteme, die auf die Produktion von Bioenergieträgern ausgerichtet sind, eine bedeutende Stellung ein.

Für Naturschutz und Landschaftspflege ist zudem relevant, dass die in großer Anzahl vorhandenen rekultivierten Bergbauflächen es erlauben, große Landschaftsausschnitte als ökologisch besonders interessante Sonderstandorte einer Eigenentwicklung zu überlassen. So hat beispielsweise die Heinz-Sielmann-Stiftung im Niederlausitzer Revier große Flächen erworben, die als Naturreservate künftig keiner Nutzung unterliegen sollen. Letztendlich bedeutet Rohstoffgewinnung im Tagebauverfahren ohne Zweifel Störung im Landschaftsmaßstab, kann jedoch auch als Chance für eine zukunftsorientierte Gestaltung und Nutzung ländlicher Räume gesehen werden.

4 Bioenergieproduktion als neue Landnutzungsform

4.1 Politische Ziele

In ihrem Grünbuch „Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger“ (KOM (96)576) formuliert die Europäische Kommission das Ziel, den Anteil regenerativer Energieträger am gesamten Bruttoinlandsverbrauch der EU von knapp 6 % im Jahr 1995 auf 12 % im Jahr 2010 zu verdoppeln. Ein noch ehrgeizigeres Ziel strebt das Europäische Parlament mit der Forderung nach einem Anteil erneuerbarer Energieträger von 15 % an. Für die Bundesrepublik Deutschland konkretisierte das BMU (1998) dieses umweltpolitische Ziel; so soll der Anteil auf 4 % des Primärenergieverbrauchs und danach sukzessive auf 50 % des Primärenergieverbrauchs bis zum Jahr 2050 erhöht werden. Diese Zielsetzungen stehen im Einklang mit jüngeren

Prognosen zur Bedeutung der Biomasse bei der zukünftigen Energieversorgung. Bei den bestehenden politischen Zielsetzungen werden als prioritäre Ziele die verstärkte Nutzung von Biomasse als Energieträger zur Bereitstellung der Nutzenergien Strom und Wärme sowie auch als Rohstoff für Treibstoffe angestrebt, wobei folgende konkrete Qualitäts- und Handlungsziele im Vordergrund stehen, denen die thermische Nutzung von Biomasse dienen soll (BMU 1998, UBA 1997):

- Minimierung des Ausstoßes von CO₂-Äquivalenten bei der Energiewandlung durch den forcierten Einsatz von Biomasse und dem reduzierten Einsatz fossiler Energieträger,
- Förderung des Biomasseanbaus zur energetischen Verwertung als alternative Landnutzungsform zur Sicherung zukünftiger Lebensgrundlagen im ländlichen Raum,
- Förderung ausschließlich solcher Biomasse, deren Nutzung ökologisch und energetisch sinnvoll ist und
- Ausweitung des aktuellen Flächenanteils, auf dem nachwachsende Energieträger angebaut werden, unter Einbeziehung der rund 1,6 Mio. ha stillgelegter Agrarstandorte.

Auf Länderebene wird dieses Ziel entsprechend umgesetzt; so soll in Brandenburg z. B. bis zum Jahr 2010 der Anteil der biogenen Festbrennstoffe bei der Energieversorgung auf 3 % gesteigert werden. Dabei soll vorrangig auf Holz als biochemischem Energiespeicher gesetzt werden (MELF 1997). Diesen anspruchsvollen Umweltzielen steht ein bescheidener Anteil des derzeit energetisch genutzten Holzes in Deutschland von lediglich knapp 2 % gegenüber. Dadurch besteht in Abhängigkeit regional differenzierter Rahmenbedingungen ein erhebliches Steigerungspotenzial. Wesentliche Voraussetzung zur energetischen Biomassenutzung ist allerdings, dass die benötigten Bioenergieträger (z. B. Hackschnitzel, Späne, Pellets) in der nachgefragten Menge zum richtigen Zeitpunkt und richtigen Ort in gleich bleibender Qualität und zu tragfähigen Preisen zur Verfügung gestellt werden können.

4.2 Nutzungspfade

Biogene Energierohstoffe können entsprechend dem heutigen Stand der Verbrennungs-, Vergasungs- und Pyrolysetechnik auf der Basis fester, flüssiger und gasförmiger Brennstoffe energetisch verwertet werden. Allgemein ist die Nutzung biogener Rohstoffe jedoch nur sinnvoll, sofern

die Aufbereitung, die Veredlung und die Logistik dieser Grundstoffe nicht energieintensiv sind. Für die energetische Verwertung eignen sich primär Festbrennstoffe als effiziente Energieträger, weil:

- hohe spezifische Erträge an Energie je Hektar erzeugt werden können,
- der Energieeinsatz (Input) bei Anbau/Produktion, Veredlung und Bereitstellung vergleichsweise gering ist und
- die Energiebilanz häufig günstiger ist als bei der Teilpflanzennutzung, der Verflüssigung oder der Vergasung von Pflanzenteilen.

Mit Blick auf die Effizienz und die Umweltverträglichkeit pflanzlicher Energieträger gilt grundsätzlich, dass feste Brennstoffe (Stroh, Heu, Holzhackschnitzel) günstiger als flüssige oder gasförmige Brennstoffe einzustufen sind, da hinsichtlich des Netto-Energieertrags pro Hektar ein geringerer Energie-Input für Anbau und Veredlung einzusetzen ist. Betrachtet man ausschließlich die Festbrennstoffe, so gilt auch hier: Je geringer der Energie-Input bei der Bereitstellung und der Veredlung (zum Beispiel Pressen, Pelletieren) ist, desto höher ist der Energie-Ertrag. Folglich weisen z. B. Holzhackschnitzel eine günstige Energiebilanz auf.

Als Beispiel für ein erfolgreiches Biomasse-Nutzungskonzept kann das *Alley-Cropping-System* genannt werden, das die landwirtschaftliche Nutzung und die Erzeugung von Biomasse zur energetischen Verwendung miteinander kombiniert. Eine weitere Form des Biomasseanbaus wurde in Versuchen mit schnellwachsenden Baumarten in Energiewäldern auf Kippenstandorten untersucht (BUNGART et al. 2000, BENS & HÜTTL 2001). Zusammen mit einem geschlossenen Verwertungskonzept, das u. a. die Errichtung eines Biomassekraftwerks mit einschließt, bieten diese Landnutzungskonzepte die Möglichkeit einer ökonomisch und ökologisch sinnvollen Flächennutzung. Auch kann der bisher häufig festzustellende Gegensatz zwischen Nutz- und Naturschutzflächen damit bis zu einem gewissen Grad überwunden werden. Es ist vorgesehen, derartige Nutzungskonzepte im Rahmen von so genannten *Energiegärten* auch auf größerer Fläche zur Anwendung zu bringen.

4.3 Biomasseanbau in Agroforst-Systemen

In Agroforst-Systemen werden neben dem Anbau von schnellwachsenden Baumarten als Lieferanten von energetisch nutz-

barem Holz parallel landwirtschaftliche Kulturen angebaut. Diese Biomasse kann in den klassischen Bereichen der Nahrungs- und Futtermittelproduktion zum Einsatz kommen. Ebenso kann die Biomasse der annuellen Pflanzen jedoch auch zu energetischen Zwecken genutzt und zu Wärme, Strom, Kälte und Treibstoffen gewandelt werden. Hierzu eignen sich besonders die Alley-Cropping-Systeme, bei denen Feld- und Baumstreifen abwechseln (GRÜNEWALD 2005, HÜTTL 1997, YOUNG 1997). Die Biomasse aus den landwirtschaftlichen Kulturen wird dabei häufig im Gegensatz zur holzartigen Biomasse nicht durch Verbrennung, sondern nach Vergärung im Zuge der gasmotorischen Nutzung zu Nutzenergie transformiert. Alley Cropping wird im Lausitzer Braunkohlerevier erstmalig auf Neulandstandorten erprobt und soll helfen, wirtschaftliche Ziele sowie Interessen der Regionalentwicklung und des Naturschutzes möglichst eng miteinander zu verbinden (GRÜNEWALD et al. 2005, PÖNITZ et al. 1998).

Die Bereitstellung energetisch nutzbarer Biomasse zur Vergärung stellt mit Blick auf die traditionelle landwirtschaftliche Praxis, die zum Teil niedrige standörtliche Bodenbonität und die sich abzeichnende zukünftig erhöhte Nachfrage eine ökonomische, soziokulturelle und landschaftsgestalterische Option der Landnutzung dar. Agroforst-Systeme weisen mehrere Vorteilswirkungen auf, die grundsätzlich gut geeignet sind, die folgenden Ziele im Rahmen der Landschaftsnutzung zu verfolgen:

- eine monostrukturierte, von großen landwirtschaftlichen Schlägen geprägte Landschaft zu diversifizieren und kleinräumig zu strukturieren,
- die Produktivität von landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsfläche bzw. von Brachen zu erhöhen bzw. wiederherzustellen und damit die Bereitstellung nachwachsender Energieträger nach Qualität und Menge sicherzustellen sowie
- landschaftsästhetische und biologisch diverse und nachhaltig umweltgerechte Nutzungsstrukturen bzw. Landnutzungssysteme zu etablieren.

Auf den überwiegend sandigen und verbreitet humusarmen Agrarstandorten der Modellregion und vor dem Hintergrund der zunehmend häufigeren und regional extrem ausgeprägten Sommertrockenheit sind besondere Anforderungen an die Strukturierung einer Energielandschaft zu stellen. Vor diesem Hintergrund stellt der Anbau energetisch nutzbarer Biomasse in

agroforstlichen Mischsystemen eine gute Möglichkeit dar. Diese Systeme integrieren die Produktion von annuellen Feldfrüchten und stellen gleichzeitig in drei- oder mehrjährigen Zyklen das in der energetischen Gesamtbilanz günstige Energieholz bereit. Die ökonomischen und ökologischen Vorteilswirkungen eines Alley-Cropping-Systems sind in Zusammenarbeit der BTU Cottbus, Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung, mit der Agrargenossenschaft Heinersbrück und der Vattenfall Europe Mining AG im Rahmen eines seit 1996 laufenden F+E-Vorhabens detailliert untersucht und dokumentiert worden. Sie lassen sich wie folgt beschreiben:

Umweltgerecht

- optimierte Nutzung der Wasser- und Nährstoffvorräte des Bodens durch unterschiedlich tiefe Wurzelsysteme von Bäumen (Düngung durch Blattstreu) und Kulturpflanzen und damit verbundene minimale Grundwasserbelastung,
- Stabilisierung von Böden gegen Wind- und Wassererosion,
- günstige mikroklimatische Bedingungen: geringere Verdunstung, höhere Luftfeuchte und damit effizientere Nutzung des Niederschlagsdargebots,
- neutrale bzw. positive CO₂-Bilanz im Hinblick auf Produktion und Nutzung energetisch verwertbarer Biomasse,
- extensive Bewirtschaftungsform mit reduziertem Dünger- und Pflanzenschutzmittel-Einsatz.

Ökologisch vorteilhaft

- Schaffung einer kleinräumig strukturreichen Landschaft,
- Erhöhung der Biodiversität durch ein engmaschiges Netz von Übergängen zwischen Baum- und Feldstreifen und pflanzliche Vielfalt mit Schutz- und Nutzfunktion,
- Erhöhung des landschaftsästhetischen Werts,
- Erhöhung der biologischen Diversität auf Landschaftsebene durch die Vernetzung von Biotopen durch Baumstreifen.

Sozioökonomisch sinnvoll

- Beibehaltung tradierter Bewirtschaftungsweisen,
- Erhaltung von landwirtschaftlich geprägten Kulturlandschaften,
- Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Einkommensfunktion bei Grenzertragsstandorten bzw. Brachen,
- Nutzung der Baum-Feldreihen für unterschiedliche Nutzungszwecke (Flexibilisierung durch modularen Aufbau der

Flächen) zwecks Erweiterung der Produktdiversität (z. B. Imkerei, Fruchtbaum, Medizinalpflanzenanbau),

- potenzielle Vielfachnutzung von Flächen: Biomasse zur Vergärung, Holz zur Verbrennung und Aufstellung von Windkraftträgern auf Baumstreifen,
- hohe Versorgungssicherheit bei Ausfall eines Energieträgers,
- reduziertes Produktionsrisiko,
- hohe jagdliche Eignung der Landschaft.

Vor dem Hintergrund dieser im Vergleich zur herkömmlichen landwirtschaftlichen Nutzung oder Stilllegung von Flächen zahlreichen Vorteilswirkungen kann die Strukturierung der Landschaft durch Agroforst-Systeme empfohlen werden. Die Bergbaufolgestandorte erfüllen damit nachhaltig die Funktion einer zukunftsorientierten Energielandschaft.

4.4 Energiewälder mit schnellwachsenden Baumarten

Der gezielte Anbau von Hölzern für die energetische Verwertung steht noch am Anfang, obwohl seit einigen Jahren kleinflächig Energiewälder mit schnellwachsenden Baumarten auf gewachsenen Böden und rekultivierten Kippenstandorten betrieben werden (u. a. BUNGART 1999, BUNGART et al. 2000, JUG 1997). Als schnellwachsend werden in der Forstwirtschaft jene Baumarten bezeichnet, die an geeigneten Standorten einen maximalen durchschnittlichen Gesamtwuchs von 10 bis 12 Festmetern (fm) (entspricht 5,4 t atro [Tonnen absolut trocken]) Holz je Hektar und Jahr erbringen, wobei 75 % dieses Wertes bereits in einem frühen Erntealter erreicht werden sollen (RÖHRIG 1979). Zudem sollten schnellwachsende Sorten an fruchtbaren Standorten während einer Umtriebszeit von fünf Jahren eine durchschnittliche Trockenmasseproduktion von mindestens 10 t ha⁻¹ a⁻¹ leisten. Dieses entspricht etwa einer Produktion von 22 fm Holz ha⁻¹ a⁻¹.

Der Anbau schnellwachsender Baumarten mit kurzen Umtriebszeiten stellt eine Übergangsform zwischen den beiden konventionellen Nutzungsformen, der Landwirtschaft und der Forstwirtschaft dar (WELTE et al. 1994). Für erstere bedeutet der Anbau eine Extensivierung, für letztere eine Intensivierung der Bewirtschaftung. Entsprechend der Rotationsdauer unterscheidet man zwischen Mini-Rotationen (2 bis 3 Jahre), Midi-Rotationen (5 bis 6 Jahre) und so genannten Schnellwuchsplantagen mit Rotationszeiten von 10 bis 20 Jahren. Hohe Biomasseerträge können vor allem mit Sorten verschiedener Balsampappeln und

deren Hybriden sowie mit Weiden erreicht werden. Auf rekultivierten Kippen-substraten der Niederlausitz wurden von BUNGART (1999) durchschnittliche Biomasseerträge von 2,5 (*Salix viminalis* L.) bis 5,0 (Klon Rap; *Populus trichocarpa* Torr. et Gray X *Populus deltoides* Bartr.) t atro ha⁻¹ a⁻¹ beschrieben. Auf ehemaligen Ackerstandorten wurden mit denselben Pflanzensorten Erträge von 5,6 bis 25,0 t atro ha⁻¹ a⁻¹ erzielt (BUSCH & KREYSA 1985, DIMITRI 1988), was maßgeblich auf die infolge langjähriger Acker-nutzung günstigen Nährstoff- und Wasser-verhältnisse zurückgeführt wird.

In Abb. 2 sind die akkumulierten Biomasse-erträge für Robinie, Pappel und Weide auf sandigen und extrem nährstoffarmen Kippenstandorten dargestellt. Es handelt sich um humusarme Rohböden im initialen Stadium der Bodenbildung. Zudem treten an diesen Standorten, bedingt durch die eingesetzte Bergbau- und Rekultivierungs-technik, z. T. deutliche Schadverdichtungen im Boden auf. Unter diesen extremen Bedingungen konnte in der ersten dreijährigen Rotation für Robinie ein Biomassezuwachs von durchschnittlich 2 t atro ha⁻¹ a⁻¹ ermittelt werden. In der zwei-

ten Rotation ist bereits ein Zuwachs in Höhe von 4,5 t belegbar. Die vorliegenden Untersuchungsbefunde zeigen gleichzeitig, dass der Anbau von Pappel und Weide auf sandigen Standorten bei gegebenen niedrigen Niederschlagsmengen während der Vegetationsperiode und einer geringen Wasserspeicherkapazität der Substrate nicht empfohlen werden kann. Für diese Standorte verzeichnet die Robinie die stärksten Biomassezuwächse. Die Erträge der Robinie erreichten oder überschritten sogar die Erträge, die für natürlich gewachsene Standorte dokumentiert sind (GRASSI & BRIDGEWATER 1991, BONGARTEN et al. 1992). Die Robinie ist damit unter den getesteten Baumarten die einzige, die gut an nährstoff- und humus-arme sandige Substrate mit geringer Wasserverfügbarkeit angepasst ist. Auf bindigen Substraten erscheint der Anbau von Pappeln hingegen Erfolg versprechender. Entsprechende Untersuchungen weisen einen Ertrag von durchschnittlich 6 t atro ha⁻¹ a⁻¹ auf und belegen, dass dieser nach Applikation von Komposten deutlich gesteigert werden konnte (BUNGART & HÜTTL 2004, GRÜNEWALD et al. 2004). Für den zukünftigen großflächigen Anbau von Energiewäldern mit schnellwachsen-

den Baumarten an rekultivierten Bergbau-folgestandorten erscheint daher eine Ertragsprognose von 5 bis 6 t atro ha⁻¹ a⁻¹ hinreichend konservativ. An bindigen Bergbaufolgestandorten deutet die Boden-entwicklungsdynamik hin, die sich schon nach der ersten Rotation deutlich positiv auf die Ertragsentwicklung auswirkt. Für bindigere Substrate erscheint daher eine durchschnittliche Ertragsleistung in Höhe von 8 t atro ha⁻¹ a⁻¹ realistisch.

5 Hemmnisse überwinden und neue Wege gehen

Ogleich zahlreiche positive Argumente für Landnutzungssysteme sprechen, bei der die Produktion von biogenen Rohstoffen für eine energetische Folgenutzung bzw. Verwertung stärker als bisher in den Vordergrund rückt, ist gegenwärtig für die aktuelle Landnutzung noch eine gewisse Zurückhaltung gegenüber diesen neuen Formen der Inwertsetzung ländlicher Räume zu konstatieren. Dabei wird häufig das Argument angeführt, dass es noch zu wenige Praxisbeispiele, z. B. für Agroforst-Systeme und Energiewälder im Kurzum-

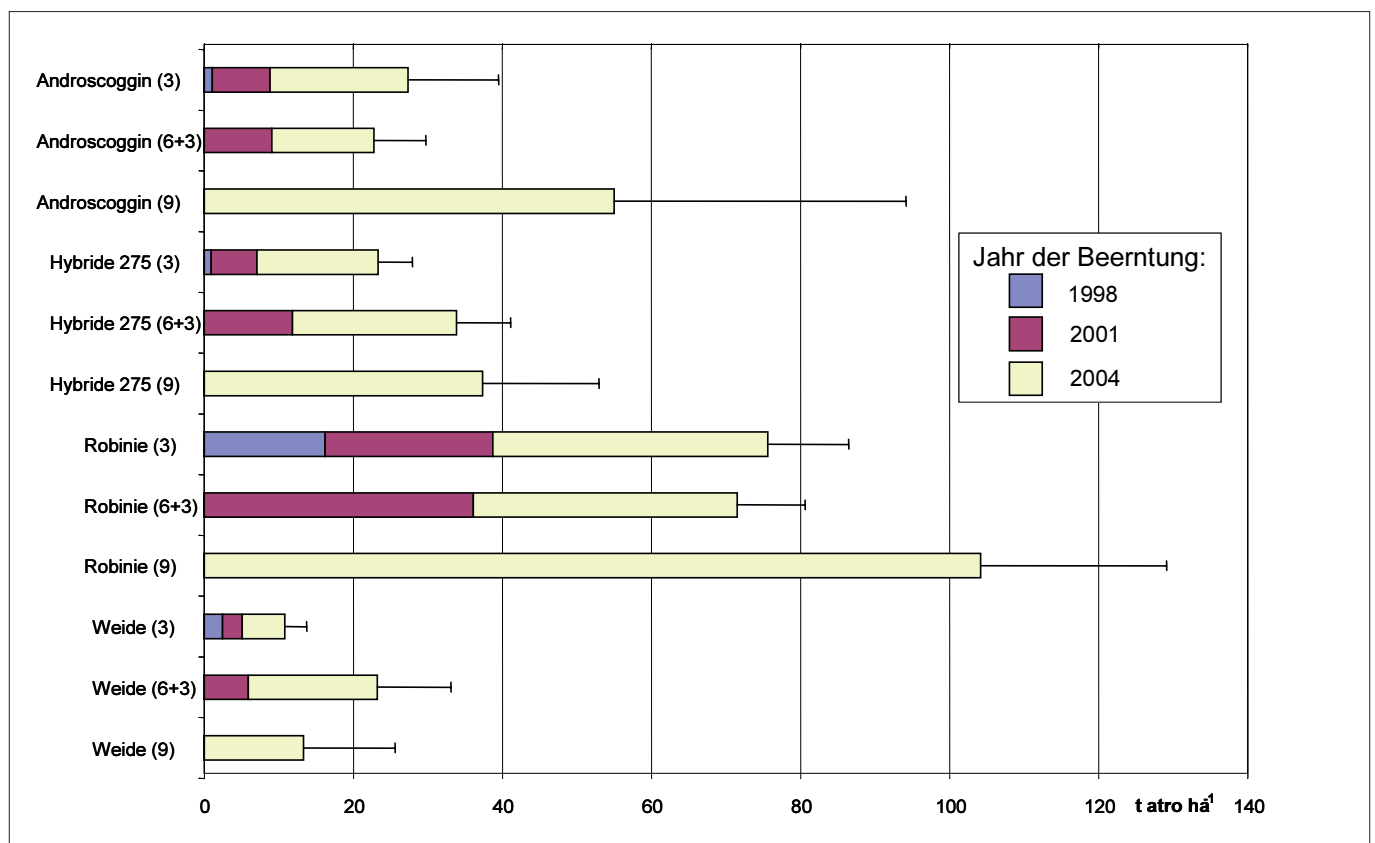


Abb. 2: Biomasse-Zuwächse schnellwachsender Baumarten [t Trockenmasse pro Hektar] im Agroforst-System mit Umtriebszeiten von 3, 6+3 und 9 Jahren auf nährstoffarmen sandigen Kippsubstraten (Quelle: GRÜNEWALD 2005, GRÜNEWALD et al. 2005)

trieb gebe, anhand derer potenziell interessierte Landnutzer die ökologischen, ökonomischen und technologischen Rahmenbedingungen prüfen und bewerten könnten. Zudem werden administrative Aspekte angeführt, die aus der Sicht interessierter Landnutzer eine Etablierung der vorgestellten Systeme nicht befördern würden. So herrsche Unsicherheit bezüglich der Zuordnung von Energiewäldern zur land- oder forstwirtschaftlichen Nutzfläche. Diese Argumente sind aus der Sicht des Betreibers keinesfalls unbedeutend, entscheidet die Zuordnung doch über zahlreiche ökonomische und administrative Folgeaspekte, z. B. der Förderfähigkeit von Produktionsflächen oder einem möglichen Beerntungsverbot (Verbot von Kahlschlägen, zu beantragende Einschlaggenehmigung etc.). Auch herrscht vor dem Hintergrund des noch in Abstimmung befindlichen europäischen und nationalen Rechts Unsicherheit bezüglich der maximal möglichen Umtriebszeiten und damit vor allem über die ökonomischen Rahmenbedingungen bei der kostenintensiven Anlage von Energiewäldern im Kurzumtrieb. Hierzu hat die Europäische Kommission jedoch eine Klärung spätestens bis zum Jahr 2007 in Aussicht gestellt. Mit Blick auf die Agroforst-Systeme wird z. B. als Hemmnis angeführt, dass Baumreihen bzw. Hecken nicht als förderfähige Agrarfläche gelten und diese Flächenanteile bei der Bemessung der Agrarförderung nicht berücksichtigt würden.

Vor dem Hintergrund der in Wissenschaft und Praxis bestehenden positiven Erfahrungen sollte mit Blick auf die zukünftige Inwertsetzung von Kulturlandschaften durch nachwachsende Rohstoffe zur energetischen Nutzung verstärkt darauf Wert gelegt werden, dass die bestehende Regulierungs- und Genehmigungspraxis vereinfacht wird. Agroforst-Systeme sollten dabei in den Katalog der förderfähigen Flächen explizit eingeschlossen werden. Will man die zahlreichen und in Feldversuchen belegten Vorteilswirkungen dieser Landnutzungsformen nutzen, so gilt es, bestehende Interessenskonflikte positiv aufzulösen und die Bereitschaft zu generieren, neue Wege zu einer zukunftsorientierten Nutzung ländlicher Räume zu gehen.

6 Literatur

- BENS, O. & HÜTTL, R. F. (2001): Energetic utilisation of wood as biochemical energy carrier – A contribution to the utilisation of waste energy and landuse. - Int. J. Thermal Sci. **40**, 344-351.
- BENS, O. & HÜTTL, R. F. (Hg.) (2002): Bodengeographische Studien stark veränderter Standorte – Monitoring, Modellierung und Bewertung. - Cottbus, 81 S.
- BENS, O.; FETTWEIS, U.; KOCH, A.; SCHNEIDER, B. U. & HÜTTL, R. F. (2002): Soil organic matter formation and root functioning in lignite-rich mine soils in Lusatia, Germany. - Book of Abstracts, 20th Anniversary Conference of International Humic Substances Society (IHSS): Humic substances – Nature's most versatile materials, Boston, 354-356.
- BENS, O.; FETTWEIS, U.; KOCH, A. & HÜTTL, R. F. (2004): Bedeutung des Umsatzes organischer Substanz für die Bildung von Humusformen und deren Eignung als Indikator für die Entwicklung des Stoffhaushalts gestörter Standorte. In: HÜTTL, R. F. & GERWIN, W. (Hg.): Entwicklung und Bewertung gestörter Kulturlandschaften – Fallbeispiel Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft. - Cottbuser Schriften zur Ökosystemgenese und Landschaftsentwicklung, H. 2, 49-79.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (1998): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. - Bonn, 128 S.
- BONGARTEN, B. C.; HUBER, D. A. & APSLEY, D. K. (1992): Environmental and genetic influences on short-rotation biomass production of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in the Georgia Piedmont. - Forest Ecology and Management, **55**, 315-331.
- BUNGART, R. (1999): Erzeugung von Biomasse zur energetischen Nutzung durch den Anbau schnellwachsender Baumarten auf Kippsubstraten des Lausitzer Braunkohlereviere unter besonderer Berücksichtigung der Nährelementversorgung und des Wasserhaushalts. - Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, H. 7, 159 S.
- BUNGART, R. & HÜTTL, R. F. (2004): Growth dynamics and biomass accumulation of 8-year-old hybrid poplar clones in a short-rotation plantation on a clayey-sandy mining substrate with respect to plant nutrition and water budget. - European Journal of Forest Research, **123**, 105-115.
- BUNGART, R.; BENS, O. & HÜTTL, R. F. (2000): Production of bioenergy in postmining landscapes in Lusatia – Perspectives and challenges for alternative landuse systems. - Ecological Engineering, **15**, 1-16.
- BUSCH, H. P. & KREYSA, J. (1985): Produktion von Holzbiomasse im Kurzumtrieb zur Energiegewinnung. - Holz-Zentralblatt, **111**, 2211-2212.
- DIMITRI, L. (1988): Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb zur Energiegewinnung. - Schriften des Forschungsinstituts schnellwachsende Baumarten, H. 4, 79 S.
- FETTWEIS, U.; BENS, O. & HÜTTL, R. F. (2005): Accumulation and properties of soil organic carbon at reclaimed sites in the Lusatian lignite mining district afforested with *Pinus spec.* - Geoderma, **129**, 81-91.
- FRATZSCHER, W. & STEPHAN, K. (2001): Waste energy utilisation – An appeal for an entropy based strategy. - Int. J. Thermal Sci., **40**, 311-315.
- FROUZ, J.; KEPLIN, B.; PIZL, V.; TAJOVSKÝ, K.; STARY, J.; LUKEŠOVÁ, A.; NOVÁKOVÁ, A.; BALÍK, V.; HÁNEL, L.; MATERNA, J.; DÜKER, C.; CHALUPSKÝ, J.; RUSEK, J. & HEINKELE, T. (2001): Soil biota and upper soil layers development in two contrasting post mining chronosequences. - Ecological Engineering, **17**, 275-284.
- GRASSI, G. & BRIDGEWATER, A. V. (1991): The European community energy from biomass research and development program. - Int. J. Solar Energy, **10**, 127-136.
- GRÜNEWALD, H. (2005): Anbau schnellwachsender Gehölze für die energetische Verwertung in einem Alley-Cropping-System auf Kippsubstraten des Lausitzer Braunkohlereviere. - Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, H. 28, 124 S.
- GRÜNEWALD, H.; SCHNEIDER, B. U.; FÜNFELD, C.; BENS, O.; HÜTTL, R. F. & SCHIEFERDECKER, B. (2004): Biomassestrategie in der Niederlausitz. - Bericht zur Studie im Rahmen des EU-Projekts REKULA der Internationalen Bauausstellung Fürst-Pückler-Land, Cottbus, 105 S.
- GRÜNEWALD, H.; WÖLLECKE, J.; SCHNEIDER, B. U. & HÜTTL, R. F. (2005): Alley-Cropping als alternative Folgenutzung von Kippenstandorten. - Natur und Landschaft, **80**, 440-443.
- HÜTTL, R. F. (Hg.) (1997): Agroforestry and land use change in industrialized nations. - Forest Ecology and Management, **91**, 1-91.
- HÜTTL, R. F. & BENS, O. (2003): Bodenverbrauch durch Braunkohlentagebau – Entwicklungspotenziale von Bergbaufolgestandorten. - Petermanns Geographische Mitteilungen, **147**, 58-67.
- HÜTTL, R. F.; BENS, O.; GERWIN, W. & SCHNEIDER, B. U. (2004): Bodenentwicklung nach forstlicher Rekultivierung im Zuge der nachbergbaulichen Inwertsetzung gestörter Landschaften. - Z. für Angewandte Umweltforschung, **14**, 143-157.
- HÜTTL, R. F.; KLEM, D. & WEBER, E. (Hg.) (1999): Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften. - Berlin, 295 S.
- HÜTTL, R. F.; WEBER, E. & KLEM, D. (Hg.) (2000): Ökologisches Entwicklungspotenzial der Bergbaufolgelandschaften im Niederlausitzer Braunkohlerevier. - Stuttgart, 384 S.
- JUG, A. (1997): Standortkundliche Untersuchungen auf Schnellwuchsplantagen unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffhaushalts. - Dissertation LMU, München, 226 S.
- KEPLIN, B. & HÜTTL, R. F. (2001): Decomposition of root litter in *Pinus sylvestris* and *Pinus nigra* stands on carboniferous substrates in the Lusatian lignite mining district. - Ecological Engineering, **17**, 285-296.
- MELF (Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1997): Energie aus Biomasse – Stand und Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Biomasse im Land Brandenburg. - Potsdam, 137 S.
- MORGENROTH, G.; KRETSCHMER, W.; SCHARF, A.; UHL, T.; FETTWEIS, U.; BENS, O. & HÜTTL, R. F. (2004): ¹⁴C measurement of soil in post-mining landscapes. - Nuclear Instruments & Methods in Physics Research B, **223-224**, 568-572.
- MÜNZENBERGER, B.; GOLLDACK, J.; WÖLLECKE, J. & HÜTTL, R. F. (2000): Mykorrhizierung der Kiefer auf Standorten mit natürlich gelagerten und stark veränderten Böden in den neuen Bundesländern. - Allg. Forstz./Der Wald, **21**, 1144-1146.
- PÖNITZ, K.; BUNGART, R.; SCHNEIDER, B. U.; BENS, O. & HÜTTL, R. F. (1998): Erzeugung

von Biomasse durch Alley-Cropping zur thermischen Verwertung auf Kippstandorten der Lausitzer Bergbaufolgelandschaft. - Book of abstracts Internationaler Kongress Energie und Umwelt '98, Freiberg/Sachsen.

RÖHRIG, E. (1979): Waldbauliche Aspekte beim Anbau schnellwachsender Baumarten. - Forst- und Holzwirt, **6**, 106-111.

SCHELTER, D.; MÜNZENBERGER, B. & HÜTTL, R. F. (2000): Selektion effektiver Mykorrhizapilzarten bzw. -stämmen zur Verbesserung von Wachstum und Vitalität der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auf Kippsubstrat. In: MERBACH, W.; WITTENMAYER, L. & AUGUSTIN, J. (Hg.): Rhizodeposition und Stoffverwertung. - Stuttgart, 116-124.

SCHNEIDER, B. U.; BENS, O. & HÜTTL, R. F. (2001): Adaptation strategies of root systems and soil organic matter dynamics in pine forest ecosystems of the German North-eastern Lowlands, Proceedings, 6th Symposium of the International Society of Root Research. - Nagoya, 490-491.

UBA (Umweltbundesamt) (1997): Nachhaltiges Deutschland - Wege zu einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung. - Berlin, 353 S.

ULLRICH, A.; MÜNZENBERGER, B. & HÜTTL, R. F. (1998): Die Vitalität von Ektomykorrhizen der Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auf Rekultivierungsflächen des Lausitzer Braunkohlereviere. In: MERBACH, W. (Hg.) Pflanzenernährung, Wurzeleistung und Exsudation. - Stuttgart, 115-122.

WALKER, L. R. & WILLIG, M. R. (1999): An introduction to terrestrial disturbance. In: WALKER, L. R. (Hg.): Ecosystems of disturbed ground. Ecosystems of the world, H. 16. - Amsterdam, 1-16.

WEBER, E.; SCHMINCKE, B.; FRENS, B. & HÜTTL, R. F. (1995): Mykorrhiza in der Krautschicht von Kippenforsten in der Niederlausitz - Methodische Voruntersuchungen und erste Ergebnisse. In: MERBACH, W. (Hg.) Pflanzliche Stoffaufnahme und mikrobielle Wechselwirkungen in der Rhizosphäre. - Stuttgart, 55-70.

WELTE, E.; SZABOLCS, I. & HÜTTL, R. F. (Hg.) (1994): Agroforestry and land use change in industrialized nations. 7th Intern. Symp. of CIEC. - Budapest/Göttingen, 658 S.

YOUNG, A. (1997): Agroforestry for soil management. - Wallingford, 320 S.

Anschrift der Verfasser:

Dr. Oliver Bens, Dr. Tobias Plieninger & Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl

Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung, Brandenburgische Technische Universität

Konrad-Wachsmann-Allee 6

03046 Cottbus

E-Mail: bens@tu-cottbus.de

Frank Burger

Zur Ökologie von Energiewäldern

1 Einleitung

Beauftragt durch einen Beschluss des Bayerischen Landtags betreibt die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) seit 1992 Versuchsflächen mit Energiewäldern in verschiedenen Regionen Bayerns, um „Erfahrungen mit dem Anbau, der Wuchsleistung, der Erntetechnik, der Verwertung und der Umweltverträglichkeit schnellwachsender Baumarten zu sammeln“ (Bayerischer Landtag, Drucksache 11/11243, 1989).

Bei dieser neuen Form der Landnutzung auf stillgelegten landwirtschaftlichen Flächen macht man sich sowohl das schnelle Jugendwachstum von Baumarten wie Balsampappel, Aspe und Weide zunutze als auch ihre Fähigkeit, nach der Ernte aus dem Stock wieder auszutreiben. Nach dem Prinzip „einmal pflanzen, mehrmals ernten“ kann so der umweltfreundliche Energierohstoff Holz zwanzig bis dreißig Jahre auf stillgelegten Ackerflächen produziert werden. Ein solcher moderner Feldholzanbau ist im Prinzip nichts anderes als der in Mitteleuropa seit 2000 Jahren bekannte Niederwald, nur mit dem Unterschied, dass hier züchterisch bearbeitetes Material von Balsampappel, Aspe und Weide in sehr kurzen Umtriebszeiten von drei bis zehn Jahren angebaut wird.

2 Der Anbau von Energiewäldern

Grundsätzlich stehen für den Anbau alle Baumarten mit schnellem Jugendwachstum und Stockausschlags-Fähigkeit zur Verfügung. Die Erfahrungen, die auf den bayerischen Versuchsflächen z. B. mit Roterle und Robinie gemacht wurden, zeigen allerdings, dass diese bei weitem nicht die Wuchsleistungen der Balsampappel erreichen. Aspen zeigen zwar gute Wuchsleistungen bei etwas höheren Umtriebszeiten, können jedoch nicht wie Balsampappel und Korbweide als Steckling eingebracht werden, was die Kultur sehr teuer macht. Ein weiterer Nachteil der Aspe ist ihre Eigenschaft, nach der Ernte sehr viele Wurzeltriebe zu bilden, so dass nach jeder Ernte eine Pflege der Fläche notwendig wird. Die Korbweide benötigt für gute Massenleistungen sehr hohe Stammzahlen pro Hektar. Außerdem wird die Korbweide gerne vom Wild verbissen und benötigt für Spitzen-Wuchsleistungen eine Düngung (JUG 1998). Durch den vieltriebigen Aufwuchs ist zudem der Rindenanteil bei Weiden-Hackschnitzeln relativ hoch. Die beste Wuchsleistung in Verbindung mit einer relativen Unempfindlichkeit gegenüber Wildverbiss zeigen verschiedene Sorten der Balsampappel und ihrer Hybriden.

Energiewälder aus Balsampappeln und Weiden können mit Stecklingen sehr

kostengünstig begründet werden. Diese gewinnt man durch den Schnitt von einjährigen Trieben der Balsampappel oder der Weide im Winter. Die Rutenbündel werden bei circa 2 °C im Kühlhaus gelagert und kurz vor der Ausbringung auf ungefähr 20 cm abgelängt.

Mit Stecklingen begründete Energiewälder reagieren im ersten Jahr sehr empfindlich gegenüber einer vitalen Begleitvegetation. Um Schäden an der Kultur zu vermeiden, sollte die zum Anbau vorgesehene Fläche im Herbst vor der Anlage mit einem Totalherbizid behandelt und im Frühjahr kurz vor der Begründung gepflügt oder geeget werden. Unmittelbar nach dem Abstecken wird ein in der Landwirtschaft gängiges Voraufaufmittel ausgebracht. Diese Maßnahmen halten die Begleitvegetation ungefähr sechs Wochen zurück, die Stecklinge treiben ungehindert aus (Abb. 2). Eine weitere Pflege ist in der Regel nicht nötig.

Als Umtriebszeit werden fünf bis sieben Jahre mit Pflanzenzahlen von ca. 5.000 Stecklingen pro Hektar empfohlen. Der Abstand zwischen den Reihen sollte knapp 2 m nicht übersteigen, damit die gepflanzten Bäume im zweiten Jahr die Fläche bereits vollständig beschatten.

Energiewälder erzeugen über einen Zeitraum von 25 bis 30 Jahren Holz. Auf den bayerischen Versuchsflächen erzielten verschiedene Sorten der Balsampappel durchgehend die besten Wuchsleistungen mit 10 bis 12 t Zuwachs absolut trockener Biomasse pro Jahr und Hektar (Abb. 3). Das entspricht einem Holzvolumen von über 30 m³. Durch Verbrennung dieser Holzmenge kann Heizöl in einer Größenordnung von 5.000 Litern eingespart werden. Die Wuchsleistungen der beiden Aspen in Abb. 3 schwanken ganz erheblich. Während die Sorte „Münden“ Zuwächse wie die Balsampappel zeigte, erreichte „Ahle“ nicht einmal den Wert der Roterle in Höhe von 6,75 t Zuwachs absolut trockener Biomasse pro Jahr und Hektar.

3 Ökologische Begleituntersuchungen

Der Anbau der „Dauerkultur“ Energiewald auf stillgelegten landwirtschaftlichen Flä-



Abb. 1: Blumenvielfalt auf der Versuchsfläche Wöllershof (Oberpfalz) (Foto: F. Burger, LWF).



Abb. 2: Energiewald drei Monate nach der Begründung (Foto: F. Burger, LWF).

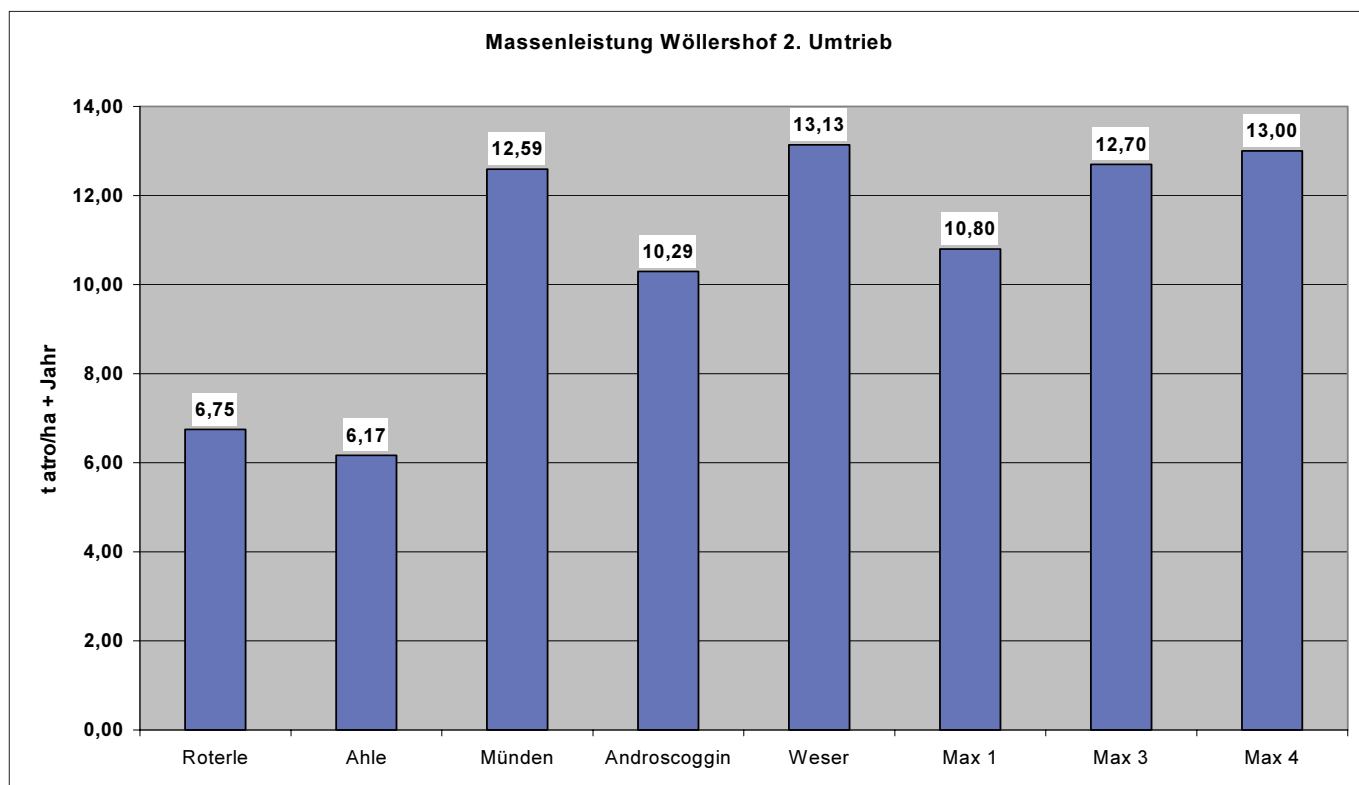


Abb. 3: Massenwuchsleistung von Roterle, zwei Sorten der Aspe und fünf Sorten der Balsampappel (von links nach rechts), Wöllershof, zweiter Umtrieb.

chen verändert dort die ökologischen Verhältnisse. Die aufwachsenden Bäume beschatten die Fläche während der Vegetationszeit, durch den Laubfall bildet sich unter Energiewäldern die Humusform des typischen Mulls (STETTER & MAKESCHIN 1999). Die Wurzeln der Bäume verhindern eine Erosion des Bodensubstrats. Weiterhin werden die Flächen nur noch bei der Ernte alle vier bis sieben Jahre befahren. Auch auf eine Düngung kann, zumindest in den ersten zehn Jahren, verzichtet werden (JUG 1998). Somit entsteht ein Ökosystem, das in seinen ökologischen Wirkungen zwischen Hochwald und landwirtschaftlich genutzter Fläche eingeordnet werden kann. Dies bestätigen Aufnahmen des Sommervogelbestandes in Energiewäldern in Nordhessen (LIESEBACH et al. 1999). Eine Studie zur Fauna der epigäischen Wirbellosen von denselben Autoren zeigte hinsichtlich der Artenzahl auf der Ebene von Ordnung bzw. Familie eine Überlegenheit der Kurzumtriebsplantage gegenüber Acker und angrenzendem Fichtenwald. Der projektinitiierende Beschluss des Bayerischen Landtags sieht neben anbau- und erntetechnischen Untersuchungen auch Arbeiten zur Umweltverträglichkeit von Energiewäldern vor. Aus der großen

Zahl möglicher Themen wurden drei herausgegriffen. Vegetationskundliche Aufnahmen werden auf ausgewählten Versuchsflächen jährlich durchgeführt. Aus der Vielfalt der Arthropoden untersuchte man in den Jahren 1995 und 2000 die Ordnung der Spinnen (Araneae). Auf der Versuchsfläche Wöllershof (Oberpfalz) und dem unmittelbar angrenzenden Acker wurde im Jahr der Begründung eine Saugkerzanlage zur aktiven Gewinnung von Sickerwasserproben eingebaut, um die Auswirkungen des Anbaus von Energiewäldern auf die Qualität des Sickerwassers dokumentieren zu können.

3.1 Vegetationskundliche Aufnahmen

Als standardisierte Methode wurde die pflanzensoziologische Aufnahme gewählt. Seit 1993 werden auf fünf Versuchsflächen jährlich der Artenreichtum der Begleitvegetation sowie die Zugehörigkeit der Pflanzenarten zu bestimmten pflanzensoziologischen Klassen erfasst. Nach ELLENBERG et al. (1992) können damit die Veränderungen des gesamten Ökosystems dargestellt werden. Auf den Versuchsflächen und den angrenzenden landwirtschaftlichen Nutzflächen wurden Probekreise von 50 m² verteilt und alle darauf

befindlichen Pflanzen nach ihrem Deckungsgrad, d. h. nach der Häufigkeit ihres Vorkommens erfasst. Die Probekreise befinden sich nicht nur auf den bepflanzten Teilen der Versuchsflächen, sondern auch auf den Randstreifen.

Die vegetationskundlichen Untersuchungen zeigen auf allen Versuchsflächen ähnliche Ergebnisse. Der Artenreichtum liegt auf den bestockten Teilflächen meist um ein Vielfaches höher als auf den benachbarten landwirtschaftlichen Flächen. Wie aus Abb. 4 zu ersehen ist, wurden auf der Versuchsfläche Neuhoof über 100 Arten gezählt. Während die Vegetationsentwicklung auf den bestockten Flächen wegen der wiederkehrenden Ernte der Bäume regelmäßig gestört und damit auch, im naturschutzfachlichen Sinn, positiv verändert wird, besteht auf den Randstreifen (in Abb. 4 als Brache bezeichnet) die Gefahr, dass sich artenarme Gräsergemeinschaften aus Quecke, Wiesenrispe und Knäuelgras bilden. Diese Erfahrung machte auch LEXER (2001). Die Artenzahlen der Randstreifen der Versuchsfläche Neuhoof entsprechen demnach auch ungefähr denen des benachbarten Intensiv-Grünlands. Die mit Abstand niedrigste Artenvielfalt weist der Acker auf.

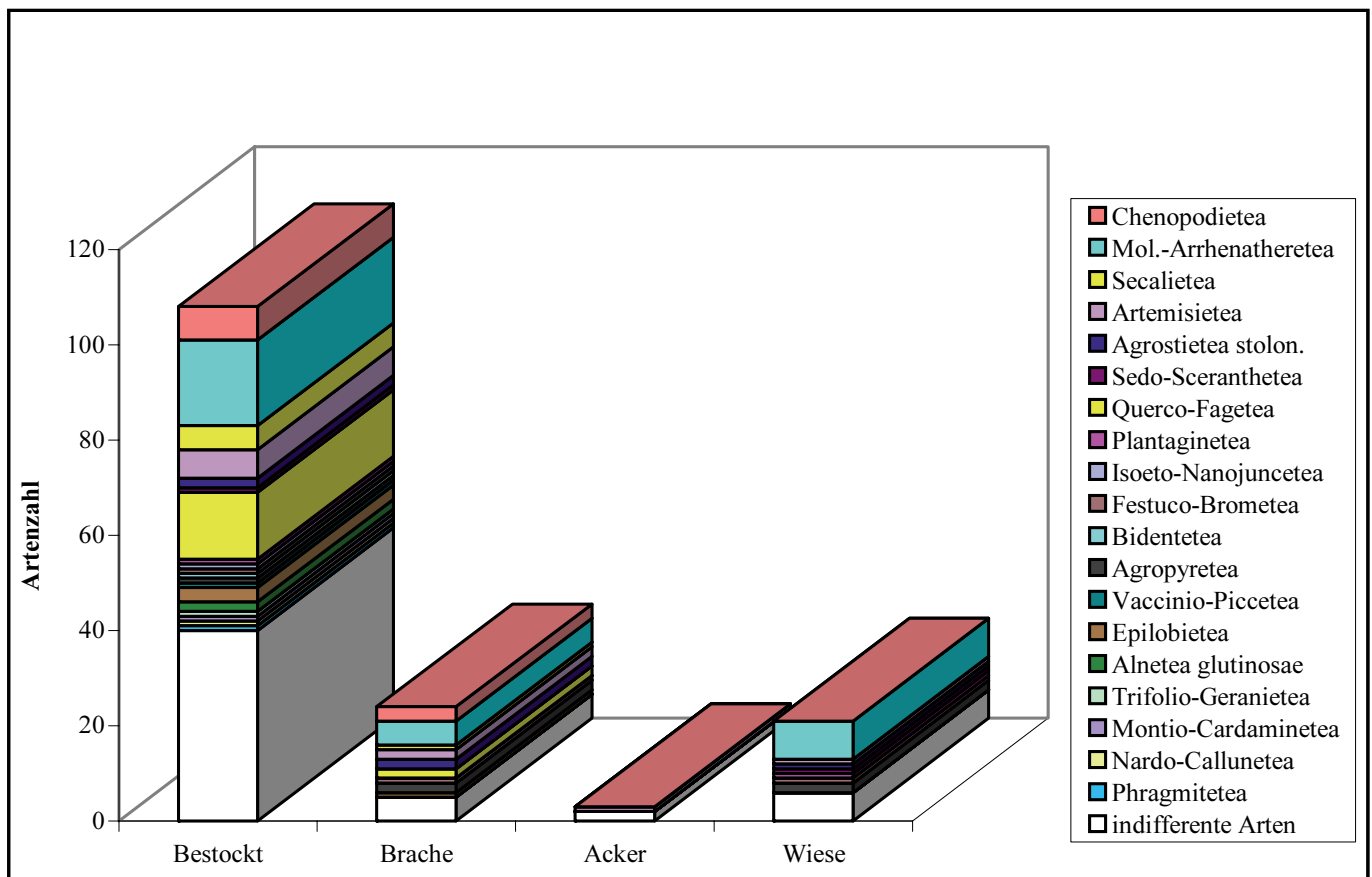


Abb. 4: Anzahl der Pflanzenarten nach vegetationskundlichen Klassen auf der Versuchsfläche Neuhoof (Bestockt, Brache) im Vergleich zu angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen (Acker, Wiese).

Tab. 1: Rote Liste-Arten auf den Versuchsflächen mit Energiewäldern in Bayern.

Rote Liste Arten	Gefährdung			Fundort	Fundjahr
	RL-B	RL-D	Schutz		
<i>Anthemis austriaca</i> (Österreichische Hundskamille)	3			Wöllershof	'98
<i>Anthemis cotula</i> (Hunds-Kamille)	3			Neuhof	'94, '97
<i>Bromus racemosus</i> (Traubige Trespe)	3			Neuhof	'96
<i>Centaureum erythraea</i> (Echtes Tausendgüldenkraut)			§	Neuhof	2000
<i>Cornus mas</i> (Kornelkirsche)	4			Wöllershof	'94, '95, '97
<i>Epilobium lanceolatum</i> (Lanzettblättriges Weidenröschen)	4			Neuhof	'94, '95, '96, '97
<i>Epipactis helleborine</i> (Breitblättrige Stendelwurz)			§, C	Wöllershof	2002/2003
<i>Equisetum pratense</i> (Sumpf-Schachtelhalm)	2			Wöllershof	'95
<i>Galeopsis segetum</i> (Gelber Hohlzan)	2			Wöllershof	'95, '97
<i>Galium tricornerutum</i> (Dreihörniges Labkraut)	3	3		Wöllershof	'93, '96
<i>Hieracium aurantiacum</i> (Orangerotes Habichtskraut)	4			Wöllershof	'96, '97, '99, '01, '02
<i>Hieracium caespitosum</i> (Wiesen-Habichtskraut)	3	3		Wöllershof	'95, '99
<i>Hyoscyamus niger</i> (Schwarzes Bilsenkraut)	3			Schwarzenau	'94
<i>Primula vulgaris</i> (Stengellose Schlüsselblume)	2	3	§	Wöllersh./Beuerbg.	'95/2000
<i>Saxifraga granulata</i> (Knöllchen-Steinbrech)			§	Wöllershof	'96, '97, '98
<i>Trifolium ochroleucon</i> (Blaßgelber Klee)	3	3		Wöllershof	'99, 2 ??
RL-B: Rote Liste Bayern RL-D: Rote Liste Deutschland 2 : stark gefährdet 3 : gefährdet 4 : potentiell gefährdet § : gesetzlicher Schutz in Deutschland C : Schutz nach dem Washingtoner Artenschutzübereinkommen (Cites)					

Aus naturschutzfachlicher Sicht ist nicht nur die Artenzahl, sondern vor allem auch das Vorkommen mehrerer Rote Liste-Arten bzw. gesetzlich geschützter Arten von großer Bedeutung (siehe Tab. 1). Insgesamt wurden 13 Rote Liste-Arten gefunden. Fünf Arten, die als gefährdet eingestuft werden, stehen auf der deutschlandweiten Roten Liste (KORNECK et al. 1996). Von den 12 Arten der bayerischen Roten Liste gelten *Primula vulgaris*, *Equisetum pratense* und *Galeopsis segetum* als stark gefährdet. Gesetzlichen Schutz in Deutschland genießen vier gefundene Arten. Eine davon, *Epipactis helleborine* (Breitblättrige Stendelwurz), ist sogar weltweit durch das Washingtoner Artenschutzabkommen geschützt.

Die Artenzahl auf den Versuchsflächen hängt grundsätzlich auch von den pflanzensoziologischen Verhältnissen ab. Unmittelbar nach der Neubegründung der Flächen stellen Therophyten aus den pflanzensoziologischen Klassen Chenopodietea (Hackunkraut- und Ruderalgesellschaften) und Secalietea

(Getreideunkrautgesellschaften) den größten Anteil an der Begleitvegetation. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen auch DELARZE & CIARDO (2002), die die Begleitvegetation von neu angelegten Pappel-Hochwäldern untersuchten. Im weiteren Verlauf einer Umtriebszeit verdrängen konkurrenzstarke Arten der Klassen Molinio-Arrhenatheretea (Mähwiesen- und Weidegesellschaften), Agropyretea (Quecken-Pioniergesellschaften) und Artemisietea (Stickstoff-Krautfluren) diese Gesellschaften bald. Im ersten Jahr nach der Ernte der schnellwachsenden Baumarten steigt der Anteil der Therophyten wieder etwas an. Bei einem Einsatz von größeren Ernte- oder Rückefahrzeugen am Ende der Umtriebszeit entstehen immer wieder kleine Bodenverletzungen, auf denen einjährige Pflanzen keimen können. Dies führt in regelmäßigen Abständen zu einer Erhöhung der Artenvielfalt. Über die mögliche Gesamtnutzungsdauer eines Energiewaldes von 20 bis 30 Jahren entsteht also hinsichtlich der Artenzahlen der Begleitvegetation eine

Art Wellenbewegung, deren Amplitude jeweils nach der Ernte ihr Maximum erreicht. Die Ausschläge der Amplitude werden vermutlich von Ernte zu Ernte kleiner. Hierzu liegen allerdings noch keine gesicherten Kenntnisse vor.

3.2 Spinnen auf den Versuchsflächen Wöllershof und Schwarzenau

Ziel der faunistischen Begleituntersuchungen auf den Versuchsflächen Wöllershof und Schwarzenau war, die Auswirkungen von Energiewäldern auf die epigäische Arthropoden-Fauna vom Zeitpunkt der Pflanzung bis zum zweiten Umtrieb zu dokumentieren. Aus der Vielfalt der Arthropoden wurde die Ordnung der Spinnen (Araneae) gewählt, die als wichtige Prädatorengruppe in allen terrestrischen Lebensräumen vertreten ist. Begründet durch ihre hohe Arten- und Individuenzahl und oft spezifische Biotopansprüche, werden Spinnen zunehmend als Indikatorgruppe bei der Bewertung von Habitaten und deren Veränderungen ver-

wendet (s. z. B. CLAUSEN 1986, KIECHLE 1992, BLICK 1999).

Zur Erfassung der Spinnenpopulation wurden Fallenkombinationen bestehend aus je einem Bodenphotoelektror mit einer Kopfdose und je einer Bodenfalle innerhalb und außerhalb des Eklektors verwendet. Diese Fallen sind standardisiert, unabhängig von Wetter, Tages- und Jahreszeit fängig und begrenzen die Störungen im zu untersuchenden Lebensraum auf die Entleerungstermine. Die Fänge in Wöllershof wurden in den Jahren 1995 und 2000 in der Vegetationszeit durchgeführt, die Versuchsfläche Schwarzenau wurde im Sommer 1995 beprobt.

Die Entwicklung der Spinnenpopulation der Versuchsfläche Wöllershof ist in Abb. 5 anhand der Aktivitätsdichten dargestellt. In der Graphik wird zwischen reinen Waldarten, Offenlandarten und indifferenten Arten (eurytop) unterschieden, die keinem bestimmten Biotop zugeordnet werden können. Die Aktivitätsdichten der drei Kategorien summieren sich jeweils zu 100 %.

Im Jahr 1995, drei Jahre nach Begründung der Fläche, sind die Unterschiede zwischen Acker und Energiewald noch nicht groß. Die typischen Offenlandbewohner dominieren auf beiden Flächen. Nur ein kleiner Anstieg der Waldarten ist zu sehen. Ganz anders stellt sich die Situation im Jahr 2000 dar. Die Waldarten verzeichnen einen starken Anstieg und liegen in den Aktivitätsdichten nur noch knapp hinter den Ackerarten. Die Darstellung zeigt deutlich die Entwicklung der Spinnenpopulation zu einer waldähnlichen Fauna. Ob die Sukzession allerdings zu einer typischen Waldfauna hin fortschreitet, ist fraglich, da durch die relativ kurzen Ernteintervalle von Energiewäldern die Lichtverhältnisse immer aufs Neue stark verändert und so in regelmäßigen Abständen die Offenlandarten günstigere Bedingungen erhalten. Trotzdem wird aus dem Vergleich des Ackers im Jahr 1995 mit dem Energiewald 2000 deutlich, dass Energiewälder in einer strukturarmen Agrarlandschaft hinsichtlich der Spinnenfauna durchaus bereichernd wirken können und für die Tiere Trittsteine zwischen einzelnen Waldparzellen darstellen.

Insgesamt wurden 166 Spinnenarten nachgewiesen, 25 davon stehen auf der Roten Liste (PLATEN et al. 1998, BLICK & SCHEIDLER 1992) bzw. sind seit der Erstellung der jeweiligen Listen neu nachgewiesen worden.

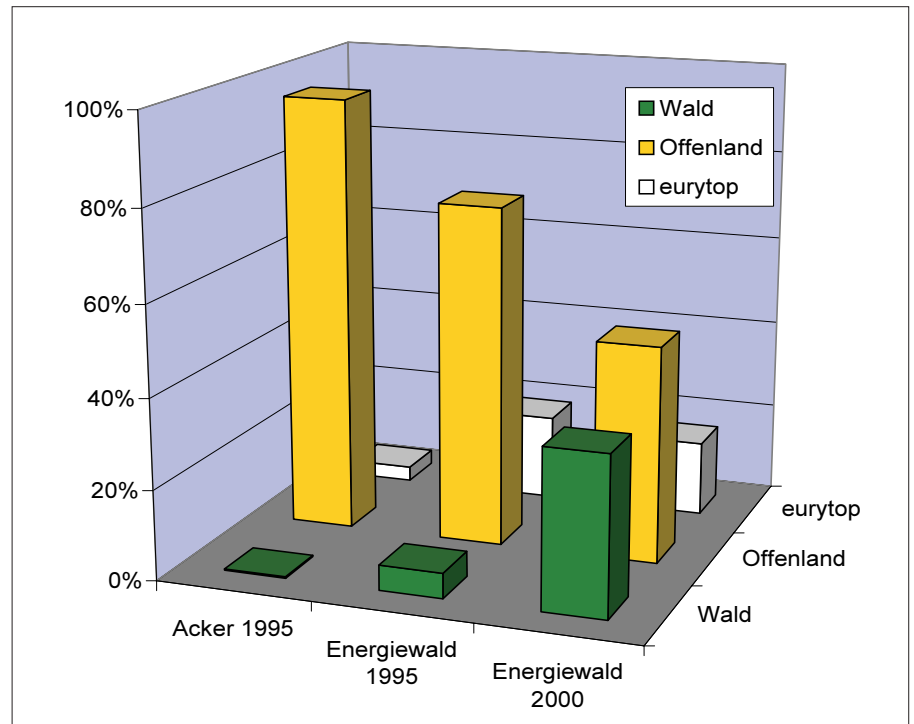


Abb. 5: Entwicklung der Spinnenpopulation (Aktivitätsdichten) nach Lebensraumtypen, Wöllershof, Oberpfalz.

3.3 Sickerwasseruntersuchungen

Seit den 1950er Jahren ist der Stickstoff-Einsatz in der Landwirtschaft stark gestiegen, mit Folgen für die wichtigen Ressourcen Wasser und Boden. Im Jahr 1991 lag der durchschnittliche Überschuss in der Stickstoffbilanz der BRD bei 100 kg pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche (FLAIG & MOHR 1993). Eine Untersuchung von HAAKH (1994) im (bayerischen) Donaured weist einen Anstieg des Nitratgehaltes im Grundwasser von den 1930er Jahren bis heute von 10 auf 40 mg/l nach.

Überschüssiges Nitrat gelangt über das Sickerwasser in das Grundwasser. Es kann nur in das Grundwasser ausgewaschen werden, wenn die Niederschlagsmenge die Evapotranspiration übersteigt und es zu einer Versickerung unter die durchwurzelte Bodenzone kommt. Dies geschieht in nennenswertem Umfang nur außerhalb der Vegetationsperiode (FLAIG & MOHR 1993), d. h. die Grundwasserneubildung findet im wesentlichen in der vegetationslosen Zeit statt.

Nitrat selbst führt zu keinen gesundheitlichen Beeinträchtigungen beim Menschen. Die von Bakterien induzierte Umwandlung zu Nitrit kann allerdings, insbesondere bei Neugeborenen Blausucht (= innere Erstickung) hervorrufen. Die zweite gesundheitsschädigende Wirkung des Nitrats besteht in der Bildung von N-Nitrose-

verbindungen zusammen mit Aminen im Körper. Manche dieser Nitrosamine und Nitrosamide sind stark kanzerogene Substanzen.

Da über das Trinkwasser ein wesentlicher Teil des Nitrats aufgenommen wird, sollte der Nitratgehalt im Wasser möglichst gering gehalten werden. Für Trinkwasser gilt deshalb ein EU-Grenzwert von 50 mg Nitrat pro Liter.

Der Anbau von schnellwachsenden Baumarten auf vormals landwirtschaftlich genutzten Flächen und der dadurch bedingte Verzicht auf Dünger und Pestizide sollte die Qualität des Sicker- und damit auch des Grundwassers im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Böden hinsichtlich des Nitratgehaltes maßgeblich verbessern. Im Rahmen des bayerischen Energiewald-Projektes war vor allem die Fragestellung von Bedeutung, wie sich der Nitratgehalt des Sickerwassers auf der Versuchsfläche im Vergleich zur angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Fläche im Zeitablauf verändert.

Um Untersuchungen des Sickerwassers zur Ermittlung von Stoffausträgen aus dem System vornehmen zu können, wurde im Jahr 1992 auf der Versuchsfläche Wöllershof sowie dem angrenzenden Acker eine Saugkerzenanlage mit 36 Saugkerzen installiert. Die Entnahme von Wasserproben aus dem Boden mit Hilfe dieser Technik hat sich bewährt und wird an der LWF seit

einigen Jahren im Projekt „Bayerische Waldklimastationen“ angewandt. Die Proben wurden direkt im Solum mit einem auf einen Plastikschaft aufgeschraubten Keramikkopf gewonnen; das Sickerwasser wird durch Anlegen von Unterdruck aktiv angesaugt. Die Methode der Wasserprobengewinnung mit Hilfe von Saugkerzen ist im DVWK Merkblatt Nr. 243/1997 dargestellt (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. 1997). Die Sickerwasserproben wurden über einen Zeitraum von sechs Jahren durchgeführt.

Abb. 6 zeigt den Verlauf der Nitratkonzentration im Sickerwasser der Versuchsfläche in den Jahren 1993 bis 1998 über alle Tiefenstufen. Im ersten Jahr (Vegetationsperiode 1993) stieg der Nitratgehalt noch einmal bis knapp 40 mg Nitrat pro Liter (NO_3 in mg/l) an, fiel dann stark ab und erreichte im gesamten Zeitraum bis 1998 Werte von maximal 15 mg/l. Insbesondere in den für die Grundwasserbildung wichtigen Wintermonaten lag der Wert nur in einem Jahr (1995) über 10 mg. Die lineare Ausgleichsgerade zeigt einen langsam fallenden Verlauf, der von knapp 10 mg Anfang 1993 bis unter 4 mg Nitrat pro Liter am Ende des Betrachtungszeitraumes abfällt. Der Anstieg der Nitratwerte ab Anfang 1998, also drei Monate vor der Ernte der Versuchsfläche, ist mit den vorliegenden Daten nicht zu erklären. Auch die Daten der nächstgelegenen Waldklimastation Flossenbürg weisen für Anfang 1998 keine extremen Wetterereignisse nach. Gut zu sehen ist ab Mai 1998 die Abnahme der Nitratgehalte, die der kräftige Wiederaustrieb der Balsampappeln verursacht hat.

Ganz anders verläuft die Kurve des der Versuchsfläche benachbarten Ackers. Die Nitratkonzentration in der Abb. 7 schwankt sehr stark zwischen nahe 0 und im Maximum 140 mg Nitrat pro Liter. Die Ausgleichsgerade zeigt aber sehr gut, dass der Wert sich dicht bei dem EU-Grenzwert für Trinkwasser von 50 mg bewegt und deutet für den sechsjährigen Zeitraum auf eine steigende Tendenz hin.

3.4 Lachgasemissionen

Bei den Umweltwirkungen von Stickstoff müssen auch die Lachgasemissionen berücksichtigt werden. Lachgas (Distickstoffmonoxid) entweicht als Folge der Denitrifikation aus dem Boden und ist mit einem CO_2 -Äquivalent von circa 300 extrem klimawirksam. SCHOLZ & HELLEBRAND (2004) wiesen durch mehrjährige Gasmessungen auf Versuchsflächen nach, dass die Emission von Lachgas auf un-

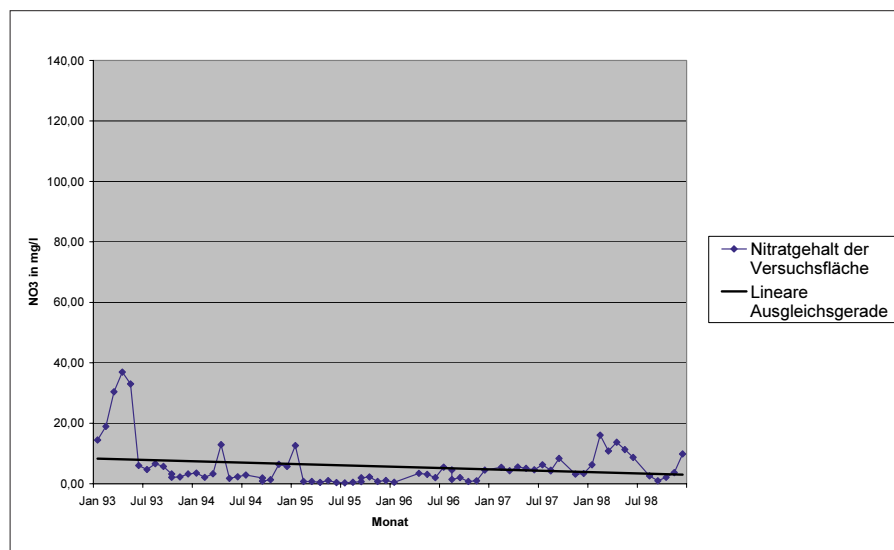


Abb. 6: Nitratkonzentration im Sickerwasser der Versuchsfläche Wöllershof über einen Zeitraum von sechs Jahren.

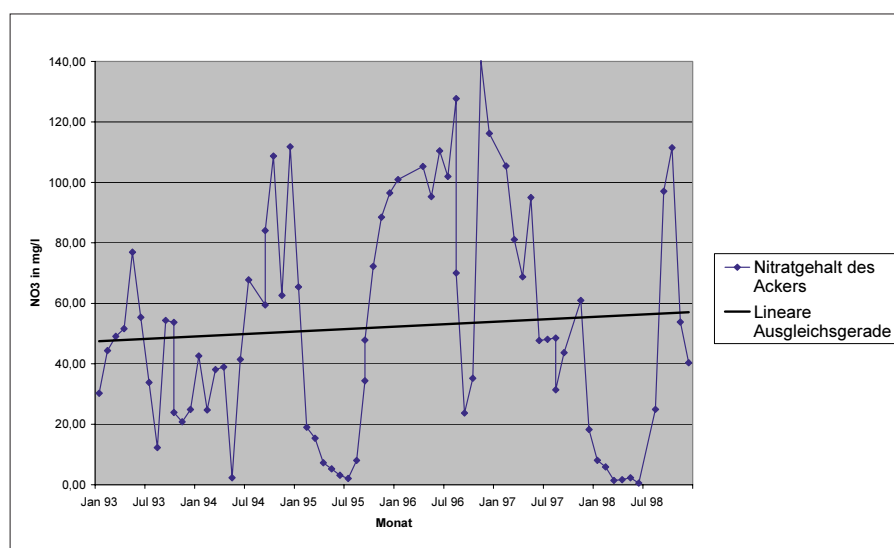


Abb. 7: Nitratkonzentration im Sickerwasser des angrenzenden Ackers über einen Zeitraum von sechs Jahren.

gedüngten Pappelflächen um 250 mg/m^2 pro Jahr geringer ist als bei konventionell gedüngten Roggenflächen. Energiewälder mit Balsampappeln können also sogar über den CO_2 -Minderungseffekt durch die Substitution von fossilen Energieträgern hinaus zu einer Reduktion von Treibhausgasemissionen beitragen.

4 Zusammenfassung

Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) bearbeitet auf neun Energiewald-Versuchsflächen anbau- und erntetechnische sowie ertragskundliche und ökologische Fragestellungen.

Demnach sind Energiewälder im Vergleich zu landwirtschaftlichen Flächen gekennzeichnet durch eine höhere Artenvielfalt in

der Begleitvegetation. Die vegetationskundlichen Aufnahmen auf den Versuchsflächen der LWF ergaben bis zu zehn mal mehr Arten als auf den angrenzenden Äckern. Bis über 100 Arten wurden in der Begleitvegetation gefunden.

Die Spinnenpopulation eines Energiewaldes entwickelte sich in den ersten acht Jahren nach der Begründung zu einer waldähnlichen Fauna hin. Energiewälder können deshalb als „Trittsteine“ in strukturalarmen landwirtschaftlichen Gebieten angesehen werden, die den genetischen Austausch zwischen inselartigen Waldbiotopen erleichtern.

Auf einer Versuchsfläche wurden mit Hilfe von Saugkerzen Sickerwasserproben genommen. Nach der Anpflanzung sank die Nitratkonzentration darin deutlich im Gegensatz zu den Werten des angrenzenden Ackers.

Das Projekt wird vom Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten im Rahmen des Gesamtkonzepts „Nachwachsende Rohstoffe“ gefördert.

5 Literatur

- BLICK, T. (1999): Spinnentiere. In: Vereinigung umweltwissenschaftlicher Berufsverbände Deutschlands (VUBD) (Hg.): Handbuch landschaftsökologischer Leistungen. Empfehlungen zur aufwandsbezogenen Honorarermittlung. Veröff. VUBD 1, Nürnberg, 3. Aufl., 147-160.
- BLICK, T. & BURGER, F. (2002): Wirbellose in Energiewäldern am Beispiel der Spinnentiere der Kurzumtriebsfläche Wöllershof (Oberpfalz, Bayern). - Naturschutz und Landschaftsplanung, **34**, H. 9, 276-284.
- BLICK, T. & SCHEIDLER, M. (1992): Rote Liste gefährdeter Spinnen (Araneae) Bayerns. - Schriften-R. Bayer. Landesamt Umweltschutz, **111**, 56-66.
- BLICK, T.; WEISS, I. & BURGER, F. (2003): Spinnentiere einer neu angelegten Pappel-Kurzumtriebsfläche (Energiewald) und eines Ackers bei Schwarzenau (Lkr. Kitzingen, Unterfranken, Bayern) - Arachnologische Mitteilungen, **25**, 1-16.
- CLAUSEN, I. H. S. (1986): The use of spiders (Araneae) as ecological indicators. - Bull. Br. arachnol. Soc., **7**, 83-86.
- DELARZE, R. & CIARDO, F. (2002). Rote Liste-Arten in Pappelplantagen. - Infoblatt Forschungsbereich Wald, **9**, Schweiz, 3-4
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (Hg.) (1997): Merkblätter zur Wasserwirtschaft 243/1997. - DVWK-Merkblätter, Bonn.
- ELLENBERG, H.; WEBER, H. E. & DUELL, R. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 2. Aufl., Scripta Geobotanica 18, Göttingen, 258 S.
- FLAIG, H. & MOHR, H. (Hg.) (1993): Energie aus Biomasse – Eine Chance für die Landwirtschaft. Springer-Verlag, Heidelberg.
- HAACK, F. (1994): Versuch einer Abschätzung der Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasservorkommen des Donaurieds. - LW-Schriftenreihe, **14**, 5-11.
- JUG, A. (1998): Standortkundliche Untersuchungen auf Schnellwuchsplantagen unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffhaushalts. - Dissertation, LMU München.
- KIECHLE, J. (1992): Die Bearbeitung landschaftsökologischer Fragestellungen anhand von Spinnen. In: TRAUTNER, J. (Hg.): Arten- und Biotopschutz in der Planung. - Ökologie in Forschung und Anwendung, **5**, 119-134.
- KORNECK, D.; SCHNITTLER, M. & VOLLMER, I. (1996): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyta et Spermatophyta) Deutschlands. - Schriftenreihe Vegetationskunde, **28**, 21-187.
- LEXER, W. (2001): „Optimierung von Ackerbrachen“. - Österreichische Forstzeitung Nr.6, S. 42.
- LIESEBACH, M.; MULSOW, H.; ROSE, A. & MEEKE, R. (1999): Ökologische Aspekte der Kurzumtriebswirtschaft. In: Modellvorhaben „Schnellwachsende Baumarten“, Zusammenfassender Abschlussbericht, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 455-476.
- PLATEN, R.; BLICK, T.; SACHER, P. & MALTEN, A. (1998): Rote Liste der Webspinnen (Arachnida: Araneae) (Bearbeitungsstand: 1996, 2. Fassung). - Schriftenreihe Landschaftspflege und Naturschutz, **55**, 268-275.
- SCHOLZ, V. & HELLEBRAND, H. J. (2004): Energiepflanzen im Vergleich. - energie pflanzen, 4/2004, 13-16.
- STETTER, U. & MAKESCHIN, F. (1999): Humushaushalt ehemals landwirtschaftlich genutzter Böden nach Aufforstung mit schnellwachsenden Baumarten. - Endbericht für das Forschungsprojekt 93 NR 037-F-A.

Anschrift des Verfassers:

Diplom-Forstwirt, Betriebswirt (VWA)
 Frank Burger
 Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
 Am Hochanger 11
 85354 Freising
 E-Mail: bur@lwf.uni-muenchen.de

Tobias Plieninger, Oliver Bens & Reinhard F. Hüttl

Bioenergie-Nutzung und Kulturlandschaftsentwicklung – Kompatibilitäten, Synergien, Unverträglichkeiten

„Wir müssen im 21. Jahrhundert drei wichtige Probleme lösen:

1. Die Energiefrage,
2. die Energiefrage und
3. die Energiefrage“

Prof. Dr. Fritz Vahrenholt, Rat für nachhaltige Entwicklung, 2004

1 Biomasse-Nutzung in der Kulturlandschaft: eine neue alte Landnutzungsform

Die Nutzung von biochemisch gespeicherter Sonnenenergie geht als eine der ältesten Landnutzungsformen überhaupt bis in die vorgeschichtliche Zeit zurück – auch wenn man sie erst in jüngster Zeit als „Biomasse-Nutzung“ bezeichnet. Holz war schon vor ca. 400.000 Jahren als „Träger von Feuer und Flamme“ von überragender Bedeutung für die Menschheit. Bei Beginn der Waldnutzung in Mitteleuropa stand der Bedarf an Brennholz weit im Vordergrund vor anderen Nutzungszielen. Dem Holz kam eine so fundamentale Bedeutung als Wärme-, Energie- und Rohstoffquelle zu, dass die Epoche vor 1800 auch als *Hölzernes Zeitalter* bezeichnet wird (WEINBERGER 2001). Menschliches Leben war „von Holz getragen und von Holz umgeben“, so der Forsthistoriker Karl MANTEL (1990). Neben der Verfeuerung von Holz im Hausbrand durch die Bevölkerung wurde auch der enorme Energiebedarf in Industrie, Handwerk und Gewerbe über Brennholz gedeckt, etwa in Eisenhütten, Salinen, Kalkbrennereien, Ziegeleien oder Glasereien. Erst mit der industriellen Revolution wurde das Holz durch die Verwendung von Steinkohle und das Aufkommen neuer industrieller Rohstoffe verdrängt. Die aus übermäßiger Holznutzung resultierende Holznot führte zur Entstehung des Nachhaltigkeitsgedankens und der Einführung einer geregelten Forstwirtschaft (HASEL 2002). Auch die vormoderne Landwirtschaft war in der Energieversorgung weitgehend auf sich selbst gestellt, auf die Nutzung von Futtergetreide, Holz oder Wasserkraft (BECK 1996). Daher ist die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe insbesondere für die Forstwirtschaft – aber auch für die Landwirtschaft – ein uraltes Thema.

Dennoch ist die Biomasse-Nutzung ein neues altes Thema, wurde die energetische Nutzung von Biomasse doch lange Zeit als Anachronismus betrachtet. Stattdessen setzte man in der Energieversorgung auf zentrale, technologieintensive Anlagen, auf Kohlekraftwerke, Kernkraft sowie Strom-, Öl- und Gasheizungen. Gleichzeitig wurde die Waldnutzung zu Beginn des 19. Jahrhunderts von der Brennholz- auf die Nutzholzverwertung umgestellt. Die Brennholznutzung wurde zu einem wenig bedeutenden Nebenprodukt der Wertholznutzung im Wald.

Die Einschätzung der Zukunftsfähigkeit einer Energieversorgung aus Holz und anderen Arten von Pflanzenbiomasse hat sich gewaltig verändert, seit die Probleme der starken Abhängigkeit von fossilen Energiequellen verstärkt ins Blickfeld geraten sind. Weiteren Auftrieb erhalten Alternativen zu fossilen Energieträgern durch die hohen Ölpreise sowie durch die Sorgen um mögliche Klimaveränderungen und um die Versorgungssicherheit. So ist die Förderung erneuerbarer Energieträger inzwischen zum „gesellschaftlichen Mainstream-Anliegen“ (HIRSCHL et al. 2004), ja sogar zu einem der Wahlkampfthemen des Jahres 2005 geworden. In den ersten Jahren des Booms der erneuerbaren Ener-

gien war die Biomasse-Energie ein Nebenschauplatz, galt sie doch, verglichen mit Windparks und Photovoltaik-Anlagen, als technologisch rückständig und vorindustriell. Zug um Zug erweist sich jedoch die Biomasse-Nutzung als den anderen erneuerbaren Energieträgern ebenbürtig und in einigen Aspekten sogar überlegen. Erhebliche Fortschritte in der Technologie ermöglichen heute die Nutzung fast aller Arten von Biomasse – weit über die ursprüngliche Brennholznutzung hinaus. Biomasse weist von allen erneuerbaren Energieträgern die größten noch unerschlossenen Energiepotenziale auf (DLR et al. 2004) und ist nutzbar für die gesamte Bandbreite des Energiebedarfs, von Wärme über Prozessenergie und Treibstoffe bis Elektrizität. Ihre Energie ist konstant verfügbar, lässt sich gut speichern und kann die Stromerzeugung in Grundlastkraftwerken ersetzen. Auch eignet sich Biomasse für den Einsatz in den verschiedensten Anlagentypen, ob in Kleinstanlagen, Heiz- und Heizkraftwerken oder zur Mitverbrennung in großen Anlagen.

Heute sind Biomasse-Energiesysteme in internationalen Gremien, etwa bei der Internationalen Energieagentur (IEA Renewable Energy Working Party 2002),

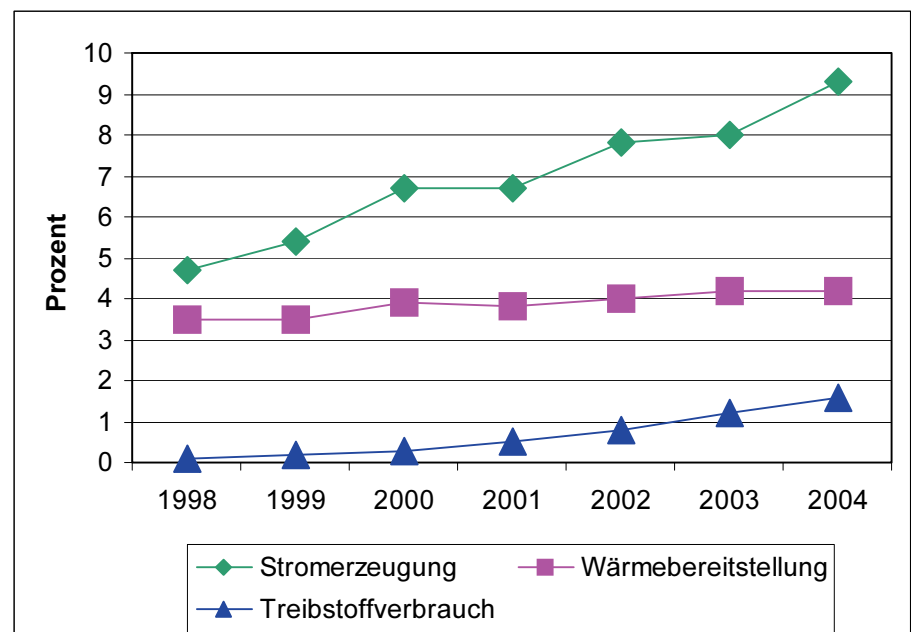


Abb. 1: Zeitliche Entwicklung der Anteile erneuerbarer Energien am Endenergiebedarf (Quelle: BMU 2005).

der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD 2004) oder den G8-Gipfeltreffen (Group of Eight (G-8) Renewable Energy Task Force 2001), ein wichtiges Gesprächsthema. Vorstände internationaler Energieunternehmen investieren in Biomasse-Kraftwerke, renommierte wissenschaftliche Journale (z. B. *Biomass and Bioenergy*) widmen sich ausschließlich der Bioenergie-Nutzung. Die FH Hildesheim/Holzminde/Göttingen richtet einen eigenen Studienabschluss zu nachwachsenden Rohstoffen und erneuerbaren Energien ein¹, die TU Ilmenau exportiert einen ähnlichen Studiengang an die Universität Damaskus². Einige Schlagworte aus Politik und Presse unterstreichen die fast uneingeschränkt positive Bewertung der Biomasse-Energie: Da ist vom „Zeitalter der Biomasse“³ die Rede, wird die „Revolution in der Landwirtschaft“⁴ ausgerufen oder auch die „Kraft der Nawaros“⁵ gefeiert. Und in der Tat haben die erneuerbaren Energieträger mittlerweile beachtliche Anteile an der Energieversorgung eingenommen, wie Abb. 1 zeigt. Innerhalb der erneuerbaren Energieträger wurde im Jahr 2004 rund die Hälfte der Endenergie aus Biomasse bereitgestellt. Insbesondere hat sie mit 93 % einen sehr hohen Anteil an der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energieträgern (BMU 2005).

2 Neue Koalitionen, neue Konflikte: Bioenergie in der Landnutzungs- und Naturschutzpraxis

Bei der Nutzung von Biomasse kommt es zu einem Aufeinandertreffen von Akteuren und Sektoren, die zuvor wenig in Verbindung standen, z. B. von Landwirtschaft und Energiewirtschaft. Dabei bilden sich Koalitionen, aber auch Konflikte aus, stecken etablierte Akteure ihre „Claims“ ab und kommen ganz neue Akteure hinzu.

2.1 Die Anbieter von Biomasse: Land- und Forstwirtschaft

Sehr positive Aufnahme findet interessanterweise die Nutzung von Biomasse in der Land- und Forstwirtschaft. So hält etwa der Präsident des Deutschen Bauernverbandes (DBV) die nachwachsenden Rohstoffe für „die größte Ressource, die wir überhaupt haben“⁶ und für „eine wichtige volkswirtschaftliche Perspektive“⁷. Ein Blick in *Top Agrar*, die bedeutendste Fachzeitschrift der deutschen Agrarwirtschaft, zeigt, dass es in der Praxis schon lange nicht mehr um die Frage geht, ob die Land-

wirtschaft auf die Erzeugung von Biomasse umsteigen soll oder nicht, sondern dass es ausschließlich um das „Wie“ geht. Entsprechend finden sich in großer Häufigkeit Berichte zu Wirtschaftlichkeitsrechnungen, Betriebstechniken und logistischen Fragen. Eine Auswahl typischer Überschriften aus *Top Agrar* verdeutlicht die regelrechte Goldgräberstimmung, die das Thema in der Agrarwirtschaft hervorgerufen hat. Unter den Schlagzeilen finden sich: „Wie Bauern erfolgreich Strom und Sprit erzeugen“⁸, „Biogas: Praktiker setzen jetzt auf Energiepflanzen“⁹ oder auch: „Geld verdienen mit grünem Strom“¹⁰. Der Naturschutz und die Landschaftspflege, wie die Biomasse-Nutzung auch eine alternative Landnutzungsform zur Lebensmittelerzeugung, stehen im Vergleich dazu sehr negativ da. So finden sich in *Top Agrar* dazu z. B. die folgenden Schlagzeilen: „Naturschutz: Es wird eng für die Bauern“¹¹, „Naturschutz: Schock für Schleswig-Holsteins Bauern!“¹² und „Naturschutz und FFH – Das ist das Ende“¹³.

Welches sind die Gründe für diese fast uneingeschränkt positive Aufnahme der Biomasse-Nutzung als neues Produktionsziel von Land- und Forstwirtschaft? Gerade die Landwirtschaft versteht sich doch seit jeher als Erzeuger von Lebensmitteln und bezieht daraus zu einem großen Teil ihr bäuerliches Selbstverständnis. Zudem wird ihr gerne ein gewisser Konservatismus nachgesagt. Es darf angenommen werden, dass es vier wesentliche Ursachen für die bäuerliche Offenheit gegenüber dem Anbau von Biomasse gibt.

Zunächst ist vielfach beschrieben, dass sich die Landwirtschaft seit Jahrzehnten in einer ökonomischen Krise befindet. Die Lebensmittelerzeugung in Deutschland kann im Wesentlichen nur durch staatliche Intervention und insbesondere Subventionierung wirtschaftlich gehalten werden. Unter solchen Umständen wäre jede Branche gezwungen, sich neue Produktionsbereiche zu erschließen, die in Zukunft tragfähig erscheinen.

Ein zweiter Grund ist die Art und Weise, die Wahl der Instrumente, mit denen die Biomasse-Nutzung in Land- und Forstwirtschaft implementiert wird. Anders als beim Naturschutz, der häufig durch das Ordnungsrecht vorgegeben wird und Einschränkungen für die betriebliche Autonomie mit sich bringt (PLIENINGER 2001), arbeitet man im Bioenergie-Bereich überwiegend mit Anreizinstrumenten, insbesondere Fördergeldern, Steuerbefreiungen und garantierten Stromeinspeisesätzen.

Ein dritter Grund ist die Kompatibilität der Biomasse-Nutzung mit den kulturellen Mustern der Landwirte. So verstehen Landwirte ihr Land und die Landschaft als Produktionsmittel, sie denken ertragsorientiert. Zahlreiche soziologische Studien (z. B. BARTLETT et al. 1989) haben belegt, dass Landwirte für *Produkte* bezahlt werden wollen und nicht fürs *Nichtstun* – und als Nichtstun empfinden viele Landwirte etwa die Anlage unbewirtschafteter Gewässerandstreifen oder die Stilllegung eines Ackers. Die Bereitstellung von sauberer Luft, Lebensräumen oder Landschaft auf einem landwirtschaftlichen Betrieb ist eben nicht greifbar, ist kein Produkt, das zum Selbstverständnis der meisten Landwirte passt. Im Falle der Biomasse dagegen wird ein handgreifliches, marktfähiges Produkt generiert, das offenbar Landwirte mit einer Befriedigung erfüllt, die eine simple Naturschutzzahlung nicht zu erfüllen in der Lage ist.

Der vierte Grund ist unseres Erachtens die Psychologie. Schließlich befindet sich die Landwirtschaft nicht nur in einer ökonomischen Krise, sondern auch in einer umfassenden Legitimationskrise. Sie gilt in weiten Teilen unserer Gesellschaft als rückwärtsgewandt, als hoch subventioniertes Auslaufmodell, das Lebensmittel produziert, die niemand braucht. „Too much agriculture, too little future“, soll der britische Premierminister *Tony Blair* über die Politik der Europäischen Union gesagt haben; Landwirtschaft wird demzufolge als Gegenteil von Zukunftsfähigkeit verstanden. Wie anders sind da die Perspek-

1 Informationsdienst Wissenschaft, 02.09.05, <http://idw-online.de/pages/de/news126152>.

2 Informationsdienst Wissenschaft, 31.08.05, <http://idw-online.de/pages/de/news125829>.

3 Bundesumweltminister a. D. *Jürgen Trittin* laut Spiegel 32/2004, S. 132.

4 *Matthias Berninger*, Parlamentarischer Staatssekretär a. D. im Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft laut Die Zeit 18/2004, Energie Spezial.

5 Der Spiegel 32/2004, S. 132; (Nawaro = Nachwachsende Rohstoffe)

6 *Gerd Sonnleitner* laut Die Zeit 18/2004, Energie Spezial.

7 *Gerd Sonnleitner* laut Die Welt, 22.06.2005.

8 Top Agrar 1/2004, S. 129.

9 Top Agrar 6/2004, S. 34.

10 Top Agrar 1/2001, S. 124.

11 Top Agrar 6/2000, S. 12.

12 Top Agrar 6/1999, S. 11.

13 Top Agrar 2/1998, S. 31.

tiven der Biomasse-Nutzung: Jede Fahrt zur Tankstelle und jeder neue Ölpreisanstieg verdeutlichen, dass den postfossilen Energieträgern die Zukunft gehört. Eingängige Metaphern, etwa die Landwirte als die *Ölscheichs von Morgen* oder Stroh und Gülle als *schwarzes Gold der Zukunft*, tun ihr übriges dazu. Auch scheint die Energiewirtschaft ein Partner zu sein, zu dem man mehr Vertrauen fasst als zu den Akteuren des Naturschutzes, mit denen neben sachlichen auch weltanschauliche Konflikte bestehen. Sehr wohltuend ist für die an Überschussproduktion gewohnte Landwirtschaft sicherlich auch das Entstehen von Nutzungskonkurrenzen um die Biomasse und das damit verbundene Bewusstsein, dass die landwirtschaftlichen Betriebe knappe, vom Markt tatsächlich nachgefragte Güter bereitstellen.

2.2 Die Nachfrageseite: Energiewirtschaft

Ebenso dynamisch wie die Bereitstellung entwickelt sich die Nachfrage nach Biomasse durch die Energiewirtschaft. War der Bioenergie-Bereich anfangs überschaubar klein, haben inzwischen selbst große Anlagenbauer und Energieunternehmen, die Automobilindustrie und die Mineralölwirtschaft aus unterschiedlichen Motivationen Gefallen an der Bioenergie gefunden. So bauen mittlerweile Siemens, Babcock Borsig Power und die RWE-Tochter Harpen AG Biomasse-Kraftwerke. Shell und BP setzen auf die Beimischung von Biotreibstoff zu fossilen Treibstoffen. Als großer Erfolg für die Entwicklung von so genannten BtL¹⁴-Kraftstoffen aus Biomasse gilt die Entwicklungspartnerschaft von DaimlerChrysler und Volkswagen mit dem sächsischen Biokraftstoff-Pionier Choren. Das Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit schätzt, dass 2003 im Bereich der Biomasse-Energie ca. 29.000 Erwerbstätige beschäftigt waren (BMU 2005). Mittlerweile werden die erneuerbaren Energieträger unter Investoren angeblich als eine der nächsten „heißen Branchen“ im Silicon Valley Kaliforniens gehandelt. „Der Markt wächst schnell und hat Multi-Milliarden-Dollar-Potenzial“, wird etwa ein amerikanischer Wagniskapitalgeber von der Süddeutschen Zeitung zitiert¹⁵. Im gleichen Artikel werden den erneuerbaren Energien Wachstumsraten wie die des „Mobiltelefonmarktes zu Bestzeiten“ prognostiziert. Einen, so die Süddeutsche Zeitung, „unbezahlbaren Cool-Faktor“ erhält die alternative Energiebranche in den USA dadurch, dass auch die Google-Gründer *Sergey Brin* und *Larry Page* als Privat-anleger mit dabei sind.

2.3 Der Umweltbereich

So überraschend einfach die Adaptierung der Biomasse-Nutzung in Land- und Forstwirtschaft verlief, so überraschend konfliktreich war und ist ihre Thematisierung im Umweltbereich. Einerseits sind es gerade Umwelt- und Klimaschützer, die seit Jahrzehnten die Wende von fossilen und nuklearen hin zu erneuerbaren Energieträgern einfordern und vor der Erschöpflichkeit von Erdöl, Kohle und Gas warnen. Andererseits sehen aber die eher dem Arten-, Biotop- und Naturschutz zugetanen Mitglieder der Umweltbewegung ihre Schutzobjekte bereits heute an der Grenze der Belastbarkeit. Neue Landnutzungen mit potenziell schädlichen Auswirkungen auf Arten und Lebensräume werden daher eher abgelehnt. So erlebte die Debatte um erneuerbare Energien mit ihre schärfsten Auseinandersetzungen nicht in der Wirtschaft, sondern im Umweltbereich selbst. Die großen Umweltverbände haben sich mittlerweile zu einer grundsätzlichen Befürwortung der Nutzung erneuerbarer Energieträger ausgesprochen, auch wenn Naturschutzanliegen als Restriktion Berücksichtigung finden sollen. Verglichen mit der Windenergie sind die Auseinandersetzungen um Bioenergie bisher unbedeutend. Doch mit zunehmender Ausbreitung entstehen auch hier Bedenken. So äußerte sich der BUND-Agrarexperte *Hubert Weiger* sehr ablehnend zur Biomasse-Nutzung: „Spezielle Energiepflanzen wie Mais sorgen für Monokulturen und für noch mehr Erosion. Zudem sind sie ein Einfallstor für die Gentechnik auf dem Acker ... Wenn ich nachhaltige Landwirtschaft in Deutschland betreiben will, brauche ich die Fläche für Nahrungsmittel.“¹⁶

3 Energie aus Biomasse – ein Kind der Politik?

Der große Boom der Bioenergie war möglich mit massiver Geburtshilfe durch die Politik. Dies muss nicht unbedingt ein Manko sein, schaffen doch viele Innovationen erst durch politische Unterstützung den Durchbruch. Ungewöhnlich an der politischen Förderung der Biomasse-Energie ist, dass hier Instrumente der Energie- und der Agrarförderungspolitik zusammen treffen. Beide sind bisher wenig aufeinander abgestimmt. Heute ist die Förderung erneuerbarer Energien ein erklärtes Ziel nahezu aller europäischer Regierungen wie auch der Europäischen Union selbst, die bis 2010 einen Anteil erneuerbarer Energieträger von 12 % am Brutto-

inlandsenergiebedarf der EU und von 22 % am Stromverbrauch zu erreichen bemüht ist. Abb. 2 zeigt eine Auswahl einzelner dieser Ziele.

In den vergangenen Jahren entstand eine große Vielfalt an politischen Förderinstrumenten auf europäischer, nationaler, aber auch auf Länderebene. Die deutsche Bundesregierung nutzt das gesamte Spektrum an ihr zur Verfügung stehenden regulativen, ökonomischen und informationellen Instrumenten. Diese beziehen sich jeweils auf die Erzeugung von Strom, Wärme oder Treibstoff.

Als das „Flaggschiff“ unter den Förderinstrumenten gilt das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) (DREHER 2005). Das EEG verpflichtet die Netzbetreiber, Strom aus erneuerbaren Energien anzunehmen bzw. in das Netz einzuspeisen und dafür Mindestvergütungen zu zahlen. Für die rot-grüne Bundesregierung war es eines der Prestigeobjekte; das Vorläufergesetz, das Stromeinspeisegesetz, wurde von einer schwarz-gelben Bundestagsmehrheit auf den Weg gebracht. Inzwischen gilt der erreichte Stand weltweit als Vorbild. So beabsichtigt etwa die Volksrepublik China, mit einem ähnlichen Gesetz den Anteil erneuerbarer Energien an der installierten Gesamtenergieleistung bis 2010 auf 10 % zu bringen (MANGELS-VOEGT 2004). Selbst in den stark auf fossile Energieträger fixierten USA haben mittlerweile 13 Staaten so genannte „renewable portfolio standards“ festgelegt, nach denen ein definierter Mindestanteil der Energiebereitstellung von erneuerbaren Energieträgern stammen muss¹⁷. Das EEG gewährt den Betreibern regenerativer Energieanlagen annähernd kostendeckende Vergütungen. Dadurch haben sich die Investitionen in die erneuerbare Energiebereitstellung vervielfacht. In der Novelle des EEG vom 21.07.2004 wurde ein Bonus eingeführt für Anlagen, die ausschließlich naturbelassene Biomasse aus Land- und Forstwirtschaft, Gartenbau und Landschaftspflege verwerten (so genannter „Nawaro-Bonus“). Damit soll das noch ungenutzte Biomasse-Potenzial aus land- und forstwirtschaftlicher Herkunft weiter erschlossen werden. Daneben wird die Stromerzeugung aus Biomasse zukünftig

14 BtL = Biomass-to-Liquid.

15 Süddeutsche Zeitung vom 22.08.05, S. 20.

16 Der Spiegel 32/2004, S. 134.

17 Süddeutsche Zeitung vom 22.08.05, S. 20.

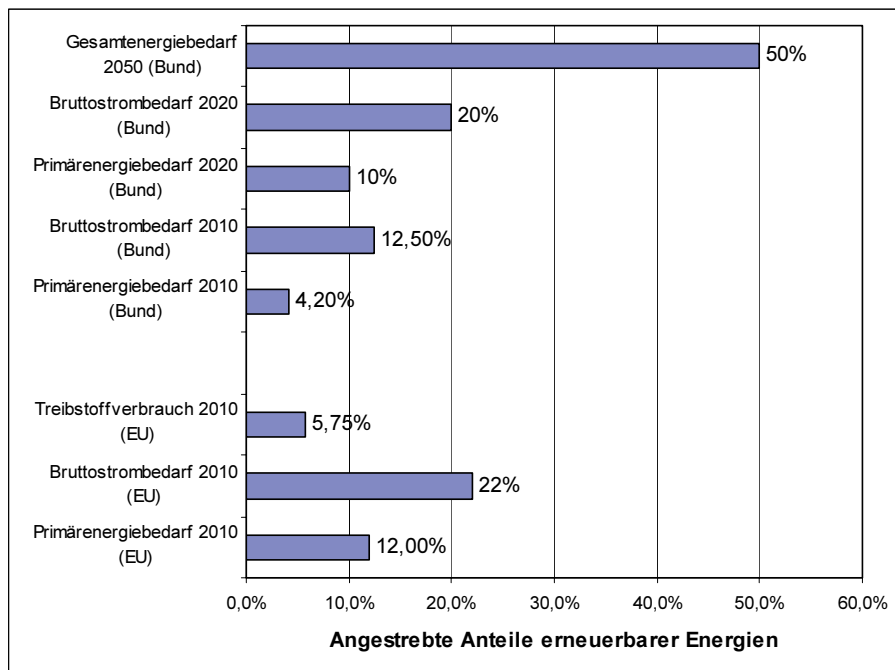


Abb. 2: Politische Ziele zum Einsatz erneuerbarer Energien (Quelle: BMU 2005).

durch den Handel mit CO₂-Zertifikaten gefördert werden. Während das EEG besonders die Nutzung von Biomasse in kleinen und mittleren Anlagen fördert, gibt der CO₂-Emissionshandel Anreize, Biomasse in größeren kohlegefeuerten Anlagen mitzuverbrennen (Öko-Institut et al. 2004).

Der Einsatz von Biomasse als Treibstoff hat sich ebenfalls als sehr dynamisch erwiesen. Nationale und europäische Vorgaben verpflichten die Bundesregierung, Biotreibstoffe verstärkt zu fördern. So legt die EU-Biotreibstoff-Richtlinie fest, dass alle Mitgliedstaaten bis zum Jahr 2005 2 % und bis 2010 5,75 % des Treibstoffbedarfs durch Biotreibstoffe bereitstellen sollen. Ein sehr wirkungsvolles Instrument ist dabei die Mineralölsteuerbegünstigung für Biokraftstoffe. In Verbindung mit den hohen Mineralölpreisen und den Änderungen der Agrardieselregelung sind Biokraftstoffe bereits heute gegenüber fossilem Diesel konkurrenzfähig. Nach dem Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD vom 11.11.2005 soll diese Mineralölsteuerbefreiung jedoch abgeschafft und durch eine Beimischungspflicht ersetzt werden.

Bislang noch wenig durch ökonomische Instrumente gefördert ist die Bereitstellung von Wärme – obwohl Biomasse-Nutzung gerade in diesem Bereich sowohl die längste Tradition als auch die größten Potenziale aufweist. Von entscheidender Bedeutung ist hier die Existenz und die Förderung von Nah- und Fernwärmenetzen. Im Wärmebereich wird bisher nur

über das Marktanreizprogramm des Bundes zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien gefördert und über die Darlehensprogramme der Kreditanstalt für Wiederaufbau, die einen breiten Bereich von Maßnahmen abdecken, u. a. die Errichtung von Blockheizkraftwerken und Biomasse-Heizkraftwerken. An Förderprogrammen im Wärme-Bereich, etwa einem Erneuerbare-Wärmeenergie-Gesetz (NAST 2004), wird im Bundesumweltministerium gearbeitet. Allerdings ist ein solches Programm wesentlich schwieriger zu implementieren als das EEG. Nach Einschätzung des Forschungsverbund Sonnenenergie (FVS) wäre bis zum Jahr 2050 ein Anteil erneuerbarer Energieträger von gut 40 % am Wärmemarkt technologisch realisierbar und wirtschaftlich erreichbar¹⁸.

Ein wirkungsvolles informationelles Instrument ist die 1993 von der Bundesregierung eingerichtete Fachagentur Wachsende Rohstoffe. Von untergeordneter Bedeutung sind ordnungsrechtliche Instrumente. Eine gewisse Tragweite hat jedoch die Aufnahme der Energieerzeugung aus Biomasse als Privilegierungstatbestand im Baugesetzbuch 2004 für landwirtschaftliche Betriebe (§ 35 BGB), durch die Vorhaben zur energetischen Biomasse-Nutzung im Zusammenhang mit einem land-, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieb nunmehr im Außenbereich zugelassen werden können.

Die Förderung des Anbaus von Energiepflanzen durch die Gemeinsame Agrarpolitik der EU ist weniger motiviert durch das Ziel einer Erhöhung des Anteils erneuer-

barer Energien als vielmehr dadurch, den Landwirten neue Einkommensquellen zu erschließen. Sie erstreckt sich auf eine Energiepflanzenprämie in Höhe von 45 Euro pro Hektar auf nicht stillgelegten Flächen nach EU-Verordnung 2237/2003 sowie auf eine Prämie von 366,03 Euro pro Hektar für den Anbau nachwachsender Rohstoffe auf stillgelegten Flächen nach Verordnung 2461/99. Vor allem letztere Verordnung, die die landwirtschaftliche Nutzung von Flächen erlaubt, die nicht für den Anbau von Nahrungsmitteln genutzt werden dürfen, hat sich als außerordentlich erfolgreich erwiesen. So ist der Anbau nachwachsender Rohstoffe in der deutschen Landwirtschaft von 1998 bis 2004 um über 100 % angestiegen (FNR 2005). Ein weiteres rasantes Wachstum des Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf stillgelegten Agrarflächen wird jedoch durch das so genannte Blair-House-Abkommen gebremst, ein Handelsabkommen zwischen der EU und den USA, das eine Obergrenze für die Produktion von Nebenerzeugnissen beim Anbau nachwachsender Rohstoffe auf Stilllegungsflächen vorgibt. Ferner unterstützt die Agrarförderung über das Agrarinvestitionsprogramm betriebliche Maßnahmen im Bereich der Biomasse-Nutzung, etwa die Investition in Biogasanlagen oder in Rapsölpressen.

4 Chancen und Probleme aus Sicht von Naturschutz und Landschaftspflege

Eine umfassende Bewertung der Einsatzmöglichkeiten und Auswirkungen der verschiedenen Nutzungsoptionen nachwachsender Rohstoffe ist ohne Kenntnis der konkreten Standortbedingungen und spezifischen Nutzungsweisen nicht hinreichend möglich. Auch hängt die Bewertung wesentlich vom Vergleich mit der vorherigen oder einer alternativ denkbaren Nutzung ab. Grundsätzlich ist der Anbau von Energiepflanzen aus naturschutzfachlicher Sicht günstig zu bewerten, wenn die vorherige Landnutzung intensiv war, also wenn z. B. eine Energieholzplantage auf Ackerstandorten angelegt wird (TRINKAUS 1998). Probleme ergeben sich dagegen, wenn Energiekulturen ökologisch wertvolle Lebensraumtypen ersetzen sollen, wenn z. B. extensives Grünland umgebrochen und zum Maisanbau genutzt wird. Das Konfliktpotenzial bei der Nutzung von land- und forstwirtschaftlichen Reststoffen ist insgesamt deutlich

18 Informationsdienst Wissenschaft, 29.09.05, <http://idw-online.de/pages/de/news129957>.

geringer als beim gezielten Anbau von Energiepflanzen.

Im Folgenden sollen die wesentlichen Chancen und Risiken der Biomasse-Nutzung zusammengefasst werden. Zunächst die Chancen:

- Neue Anbausysteme mit neuen Kulturen sorgen grundsätzlich für eine Diversifizierung der Agrarlandschaft, was zu begrüßen ist. So sind Anbausysteme mit neuen Kulturen, alten Kultursorten, erweiterten Fruchtfolgen und Mehrfachkulturen denkbar (GRASS & SCHEFFER 2005).
- Geringere Qualitätsanforderungen an die Produkte ermöglichen eine extensivere Wirtschaftsweise. So erlaubt der Anbau von Energiepflanzen z. B. mehr Toleranz gegenüber Ackerunkräutern.
- Die energetische Nutzung von Biomasse ist eine neue, konsensfähige Verwendungsform für Landschaftspflegematerial, das bislang noch häufig deponiert wird. Damit kommt die Landschaftspflege ein Stück weit weg von rein konservierenden, musealen Ansätzen – das Schnittgut wird genutzt, anstatt es mineralisieren zu lassen. Zudem kann diese Nutzungsform zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Landschaftspflege und damit zur Offenhaltung der Kulturlandschaft beitragen.

Doch es gibt auch erhebliche Probleme:

- Es besteht die Gefahr, dass die Nutzung von Biomasse nur wenige zusätzliche Beschäftigungswirkungen im ländlichen Raum entfaltet. Insbesondere bei industriellen Verfahren, etwa der Herstellung von Biotreibstoffen, findet im ländlichen Raum allein die Erzeugung der Rohstoffe statt, während die mit der höchsten Wertschöpfung verbundene Verarbeitung und Bereitstellung der Nutzungsträger sich auf wenige Industriestandorte beschränkt.
- Einige Nutzungspfade von Biomasse scheinen ökologisch und ökonomisch fragwürdige Fehlentwicklungen zu sein, die das Image der Bioenergie insgesamt gefährden können. So ist etwa die Ökobilanz bei der Herstellung von Biodiesel oder Ethanol recht ungünstig. Einige Wissenschaftler gehen davon aus, dass zu deren Herstellung mehr Energie benötigt wird als anschließend bei der Verbrennung nutzbar ist (PIMENTEL & PATZEK 2005). Gemäß dieser nicht unumstrittenen These muss bei der Herstellung von Biodiesel aus Sojabohnen 27 % mehr fossile Energie eingesetzt werden, als der Diesel am Ende wieder freisetzt, berücksichtigt man den massi-

ven Energieeinsatz bei der Herstellung von Pestiziden und Düngemitteln, der Benutzung landwirtschaftlicher Maschinen, dem Transport des Getreides etc.

- Die Möglichkeit, alle Biomasse-Fractionen in Land- und Forstwirtschaft zu nutzen, also auch Stroh, Schwachholz und Feinreisig, kann den Einsatz großer Maschinen in Wald und Feld begünstigen (Abb. 3). Gleichzeitig können übermäßige Nährstoffentzüge, Bodenerosion und Waldbestandsschäden die Folge sein.
- Der Anreiz, eine maximale Biomasse-Produktion pro Fläche zu erzielen, erzeugt eine Tendenz hin zu großflächigen Anbauverfahren. Gleichzeitig besteht die Gefahr einer Missachtung der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft, da bei den Produkten Qualitätsanforderungen gegenüber der Mengenproduktion zurückgestellt werden.
- Bei einer massiven Ausweitung des Anbaus von Energiepflanzen kann es zu Nutzungskonkurrenzen mit anderen Flächennutzungen kommen, etwa mit Naturschutz, naturnaher Forstwirtschaft und ökologischem Landbau. Insbesondere besteht die Gefahr, dass wertvolles Grünland verstärkt zu Äckern umgebrochen wird.

5 Vom Produktivismus zum Postproduktivismus – und wieder zurück?

Zahlreiche Wissenschaftler vertreten die Hypothese, dass sich die europäische

Landwirtschaft vom Dogma des Produktivismus zu einem Dogma des Post-Produktivismus bewegt hat (CLOKE & GOODWIN 1992). Produktivismus bezeichnet in diesem Kontext eine intensive, produktionsorientierte Landnutzung, die sich auf wenige Erzeugnisse spezialisiert und an bestimmten Standorten konzentriert, ausschließlich auf Landwirtschaft fixiert ist und mit relevanten Umweltproblemen verbunden ist. Dieser steht als Post-Produktivismus eine extensivere, weniger produktive, diversifizierte und disperse Nutzung von Kulturlandschaften und ländlichen Räumen gegenüber, die mit modernen Zielen des Umweltschutzes weitgehend kompatibel ist (WILSON 2001). An diesem Konzept lässt sich die grundsätzliche Bedeutung des Biomasse-Anbaus für den ländlichen Raum ermes-sen: So setzt durch das Aufkommen der energetischen Biomasse-Nutzung ein neuer Trend in Richtung „Produktivismus“ ein, mit allen damit verbundenen Vor- und Nachteilen, einer Inwertsetzung anders kaum nutzbarer Flächen einerseits und den mit intensiverer Landnutzung verbundenen Umweltproblemen andererseits.

6 Anforderungen an die Biomasse-Nutzung

Aus Sicht von Naturschutz und Landschaftspflege ergeben sich daraus die folgenden Forderungen an die weitere Nutzung von Bioenergie:



Abb. 3: Mechanisierte Ganzbaumnutzung führt zu erheblichen Nährstoffentzügen (Foto: J. Loschek).



Abb. 4: Neuartige Baum-Feld-Systeme können strukturarme Agrarlandschaften aufwerten (Foto: H. Grünewald).

- Eine Steigerung der Energienutzungseffizienz, etwa durch Wärmedämmung oder Verkehrsvermeidung, ist zunächst die nachhaltigste und umweltgerechteste „Energiequelle“. Auf ihr sollte daher eine Priorität liegen – noch vor dem Ausbau der erneuerbaren Energiesysteme.
- Bei der politischen Steuerung, etwa im Rahmen zukünftiger Novellierungen des EEG, sollten verstärkt Anreize zur Einbeziehung von Naturschutzaspekten und zur Bevorzugung von extensiven, umweltgerechten Verfahren mit hohem energetischem Wirkungsgrad gegeben werden. Ähnlich dem im novellierten EEG eingeführten „Nawaro-Bonus“ könnten z. B. Verwertungsquoten für Landschaftspflegut als Verbrennungs- oder Gärrohstoff bei der Förderung von Anlagen angestrebt werden.
- Vorrang vor einem großflächigen Anbau von Energiepflanzen sollte die Nutzung von Reststoffen aus Forst- und Landwirtschaft, aber auch von pflanzlichen Abfällen haben. Bei der Anbau-Biomasse sollten Verfahren mit positiven Umweltwirkungen, insbesondere Baum-Feld-Systeme (Abb. 4), mehrjährige Kulturen, Zweikulturnutzung und Mischfruchtanbau bevorzugt werden.
- Der Bau von Anlagen, die einen hohen Bedarf an einheitlichem Biomasse-Material mit bestimmten Qualitätsanforderungen haben, gibt Anreize zu einer großflächigen, homogenen Anbauweise und erschwert z. B. die Verwertung von Schnittgut aus der Landschaftspflege. Daher sollten robuste Anlagentechniken weiter entwickelt werden, die die Verwendung vielfältiger

Brennstoffe auch mit niedrigem Brennwert oder problematischer Zusammensetzung erlauben.

- Zur Ausnutzung von Synergien zwischen Biomasse-Nutzung und Naturschutz sollten sich Wissenschaft, Praxis und Politik verstärkt mit der Nutzung von Biomasse aus Grünland, Niederwäldern, Niedermooren, Agroforstwirtschaft-Systemen und anderen Landschaftspflegeflächen befassen (BUNGART et al. 2000, WICHTMANN et al. 2000, ELSÄSSER 2004, METTE 2005). Insbesondere fehlen hier Untersuchungen zu ökologischen Auswirkungen, Wirtschaftlichkeit, Ernte- und Verwertungstechnologien, Logistik und politischen Lenkungsinstrumenten.
- Sowohl im Anbau von Biomasse als auch bei der Wandlung zu Strom, Wärme oder Treibstoff sollte kleinflächigen Verfahren mit regionalen Stoffkreisläufen Vorrang gegeben werden. Auch sollten Verfahren bevorzugt werden, die sich gut in die betriebliche Praxis von Land- und Forstwirtschaft und in die gewachsene Kulturlandschaft integrieren lassen. Dazu scheint der Ausbau einer dezentralen Infrastruktur, insbesondere von Wärmenetzen zur Nutzung der ökologisch günstigen Kraft-Wärme-Kopplung sinnvoll.
- Durch die Ausbreitung der Biomasse-Produktion kann es zu einer Verschiebung der Flächenanteile von Wald, Ackerland und Grünland kommen. Planerische und genehmigungsrechtliche Instrumente sollten dieser Entwicklung dahingehend Rechnung tragen, dass Grün- und Moorlandumbrüche vermieden werden und es zu keiner

Waldzunahme in ohnehin bereits walddreichen Gegenden kommt.

- Die Ausrichtung auf die Biomasse-Produktion sollte nicht den Bemühungen um eine dauerhaft umweltgerechte Land- und Forstwirtschaft entgegenlaufen. Daher sollten speziell auf die Biomasse-Produktion ausgerichtete Standards für eine gute fachliche Praxis entwickelt werden, die in der Landwirtschaft etwa die Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes, eine Reduktion des Düngemitelesatzes, eine mindestens dreigliedrige Fruchtfolge und Mindestanteile von Strukturelementen in der Agrarlandschaft umfassen könnten (WERNER et al. 2005).

7 Wege und Irrwege der Biomasse-Nutzung

Wie lässt sich die Frage nach der Verträglichkeit von energetischer Biomasse-Nutzung und Kulturlandschaftsentwicklung also beantworten? Die rasante (Wieder-)Einführung der Biomasse-Nutzung in Land- und Forstwirtschaft ist eine Erfolgsgeschichte. Sie bietet den Betrieben in der Land- und Forstwirtschaft neue wirtschaftliche Perspektiven, ist gut integrierbar in die Betriebsabläufe, entfaltet viele gesellschaftliche Wohlfahrtswirkungen und trägt insbesondere mit dazu bei, die Landschaft und den ländlichen Raum als Arbeitsplatz wieder attraktiv zu machen. Biomasse-Nutzung ist dabei eine Innovation, die auf erstaunlich wenig Vorbehalte unter den Landnutzern stößt. Da auch gewichtige ökologische Gründe für die energetische Nutzung von Biomasse sprechen,

sollte diese nicht grundsätzlich abgelehnt werden – ohnehin wird sie sich kaum aufhalten lassen. Jedoch ist die Biomasse-Nutzung, wie gezeigt, nicht per se nachhaltig, es gibt bei ihrer Nutzung viel versprechende Wege, aber auch Irrwege. Die Kunst liegt darin, nicht die gleichen Fehler zu machen wie beim Lebensmittelanbau. Es ist daher Aufgabe der Landespflege, einerseits die Entwicklung der Biomasse-Nutzung kritisch zu verfolgen, andererseits aber auch eine eigene, positive Vision für die Nutzung der von ihr erwünschten Strukturen und Flächen zu liefern. Ein beispielhaftes Modell hierfür ist die Initiative „Regionalstrom Ravensburg“ (MILLER & WALSER 2005), bei der besondere Anreize zur derzeit noch unrentablen energetischen Verwertung von Mähgut aus Streuwiesen und aus extensiv genutztem Grünland gegeben werden.

8 Literatur

- BARTLETT, E. T.; TAYLOR, R. G.; MCKEAN, J. R. & HOF, J. G. (1989): Motivation of Colorado ranchers with federal grazing allotments. - *Journal of Range Management*, **42**, 454-457.
- BECK, R. (1996): Die Abschaffung der Wildnis. Landschaftsästhetik, bäuerliche Wirtschaft und Ökologie zu Beginn der Moderne. In: KONOLD, W. (Hg.): *Naturlandschaft – Kulturlandschaft. Die Veränderung der Landschaften nach der Nutzbarmachung durch den Menschen*. - Landsberg, 27-44.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2005): *Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklung*. - Berlin.
- BUNGART, R.; BENS, O. & HÜTTL, R. F. (2000): Production and bioenergy in post-mining landscapes in Lusatia. Perspectives and challenges for alternative land use systems. - *Ecological Engineering*, **16**, 5-16.
- CLOKE, P. & GOODWIN, M. (1992): Conceptualising countryside change: from post-Fordism to rural structured coherence. - *Transactions of the Institute of British Geographers*, **17**, 321-336.
- DLR; ifeu & Wuppertal Institut (2004): *Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland*. FKZ 901 41 803. - Berlin.
- DREHER, B. (2005): Die neuen Vergütungsregelungen für Strom aus Biomasse im EEG. - *Natur und Landschaft*, **80**, H. 9/10, 394-395.
- ELSÄSSER, M. (2004): Alternative Verwendung von in der Landschaftspflege anfallendem Grünlandmähgut: verbrennen, vergären, kompostieren, mulchen oder extensive Weide? - *Natur und Landschaft*, **79**, H. 3, 110-117.
- FNR (2005): *Nachwachsende Rohstoffe: Anbauflächen in Deutschland*. <http://www.fnr.de/>. - Gülzow.
- GRASS, R. & SCHEFFER, K. (2005): Alternative Anbaumethoden: Das Zweikulturnutzungssystem. - *Natur und Landschaft*, **80**, H. 9/10, 435-439.
- Group of Eight (G-8) Renewable Energy Task Force (2001): *Renewable Energy: Development that Lasts*. Chairmen's Report. - Rom.
- HASEL, K. (2002): *Forstgeschichte - ein Grundriss für Studium und Praxis*. - Remagen.
- HIRSCHL, B.; HOFFMANN, E. & WETZIG, F. (2004): Erneuerbare Energie versus Naturschutz? Einführung in das Schwerpunktthema. - *Ökologisches Wirtschaften*, 5/2004, 10-11.
- IEA Renewable Energy Working Party (2002): *Renewable energy - into the Mainstream*. - Sittard.
- MANGELS-VOEGT, B. (2004): Erneuerbare Energien - Erfolgsgaranten einer nachhaltigen Politik? - *Aus Politik und Zeitgeschichte*, **37/2004**, 12-17.
- MANTEL, K. (1990): *Wald und Forst in der Geschichte*. - Hannover.
- METTE, R. (2005): Energetische Verwertung von Landschaftspflegeholz am Beispiel der schleswig-holsteinischen Knicklandschaft. - *Natur und Landschaft*, **80**, H. 9/10, 416-420.
- MILLER, U. & WALSER, M. (2005): Regionalstrom - regionaler Mehrwert durch Umwelt- und Naturschutz. - *Natur und Landschaft*, **80**, H. 9/10, 413-415.
- NAST, M. (2004): *Förderinstrumente für erneuerbare Energien im Wärmemarkt*. - Stuttgart.
- OECD (2004): *Biomass and agriculture: sustainability, markets and policies*. - Paris.
- Öko-Institut, Fraunhofer Institut Umwelt-Sicherheits- und Energietechnik, Institut für Energetik und Umwelt, Institut für Energie- und Umweltforschung, Institut für Zukunfts-EnergieSysteme, Institut für Geoökologie der TU Braunschweig & Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus der TU München (2004): *Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse*. F&E-Vorhaben. Endbericht. - Freiburg, Darmstadt, Berlin.
- PIMENTEL, D. & PATZEK, T. W. (2005): Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; Biodiesel production using soybean and sunflower. - *Natural Resources Research*, **14**, 65-76.
- PLIENINGER, T. (2001): *Naturschutz auf privatem Land - Erfolg, Grenzen und Perspektiven anreizorientierter Strategien in den USA*. - Landnutzung und Landentwicklung, **42**, 10-14.
- TRINKAUS, P. (1998): Short-rotation forestry: Discussion of 10 Austrian principles from the viewpoint of preservation of environment and nature. - *Biomass and Bioenergy*, **15**, 109-114.
- WEINBERGER, E. (2001): *Waldnutzung und Waldgewerbe in Altbayern im 18. und beginnenden 19. Jahrhundert*. Vierteljahresschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte, Beihefte, 157. - Stuttgart.
- WERNER, A.; HUFNAGEL, J.; GLEMNITZ, M. & WENKEL, K.-O. (2005): *Energiepflanzen - Erzeugung nach „Guter fachlicher Praxis der Landwirtschaft“*. - *Natur und Landschaft*, **80**, H. 9/10, 430-434.
- WICHTMANN, W.; KNAPP, M. & JOOSTEN, H. (2000): *Verwertung der Biomasse aus der Offenhaltung von Niedermooresen*. - *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung*, **41**, 32-36.
- WILSON, G. A. (2001): From productivism to post-productivism - and back again? Exploring the (un)changed natural and mental landscapes of European agriculture. - *Transactions of the Institute of British Geographers*, **26**, 77-102.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Tobias Plieninger, Dr. Oliver Bens & Prof. Dr. Dr. h. c. Reinhard F. Hüttl
 Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften und Brandenburgische Technische Universität
 Jägerstrasse 22/23
 10117 Berlin
 E-Mail: plieninger@bbaw.de

Perspektiven und Szenarien für eine nachhaltige Biomassenutzung

Biomasse kann sowohl zur Bereitstellung thermischer und elektrischer Energie als auch zur Versorgung mit Kraftstoffen genutzt werden und damit in vielfältiger Weise zu einer umwelt- und klimaverträglicheren Energieversorgung Deutschlands beitragen. Um über die energetische Biomassenutzung einen spürbaren Beitrag zur Energieversorgung zu erreichen, bedarf es einerseits einer funktionierenden und effizienten Technik; andererseits sind die aus technischer Sicht verfügbaren Biomaspotenziale zu berücksichtigen. Beide Aspekte werden in den folgenden Ausführungen analysiert. Ausgehend davon werden die Möglichkeiten zur Strom-, Wärme- und Kraftstoffbereitstellung aus Biomasse im Energiesystem von Deutschland eingeordnet und wesentliche Faktoren für eine nachhaltige Biomassenutzung dargestellt. Anhand derer lassen sich Handlungsfelder für die weitere Entwicklung ableiten, die im Rahmen einer umfassenden Nachhaltigkeitspolitik zu gestalten sind.

1 Nutzungspfade

Unter Biomasse werden Stoffe organischer Herkunft, d. h. die in der Natur lebende Phyto- und Zoomasse (Pflanzen und Tiere) und die daraus resultierenden Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle (z. B. Exkremente) verstanden. Weiterhin werden darunter organische Stoffe aus bereits abgestorbenen Organismen eingeordnet, die noch nicht fossil sind (z. B. Stroh, Schlachthofabfälle). Aus diesen organischen Stoffen lassen sich über thermo-chemische, physikalisch-chemische und biochemische Umwandlungsprozesse Energieträger erzeugen, die – nach einer entsprechenden Aufbereitung – als feste, flüssige und gasförmige Bioenergieträger zur Strom-, Wärme- und Kraftstoffherzeugung eingesetzt werden können (Abb. 1). Die verfügbaren Umwandlungsrouten werden nachfolgend kurz skizziert.

Ausschließliche Verbrennung: Bei der klassischen Verbrennung wird feste Bio-

masse in entsprechenden Feuerungsanlagen zur Wärme- und/oder Strombereitstellung genutzt. Dabei ist die Wärmebereitstellung in allen Leistungsbereichen seit Jahrzehnten im praktischen Einsatz. Die Stromerzeugung in Biomasse(heiz)kraftwerken über konventionelle Dampfprozesse (Turbine) ist ebenfalls gängig und hat in Deutschland infolge des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) erheblich an Bedeutung gewonnen. Demgegenüber ist die Stromerzeugung im kleinen Leistungsbereich (z. B. Stirlingmotor, ORC-Prozess¹) bisher noch nicht etabliert.

Thermo-chemische Umwandlung: Bei der thermo-chemischen Umwandlung – dies beinhaltet prinzipiell die Verkohlung und

¹ Der ORC (Organic-Rankine-Cycle)-Prozess ist ein Dampfkraftprozess, mit dem Wärmequellen mit geringerem Temperaturniveau zur Stromerzeugung erschlossen werden können.

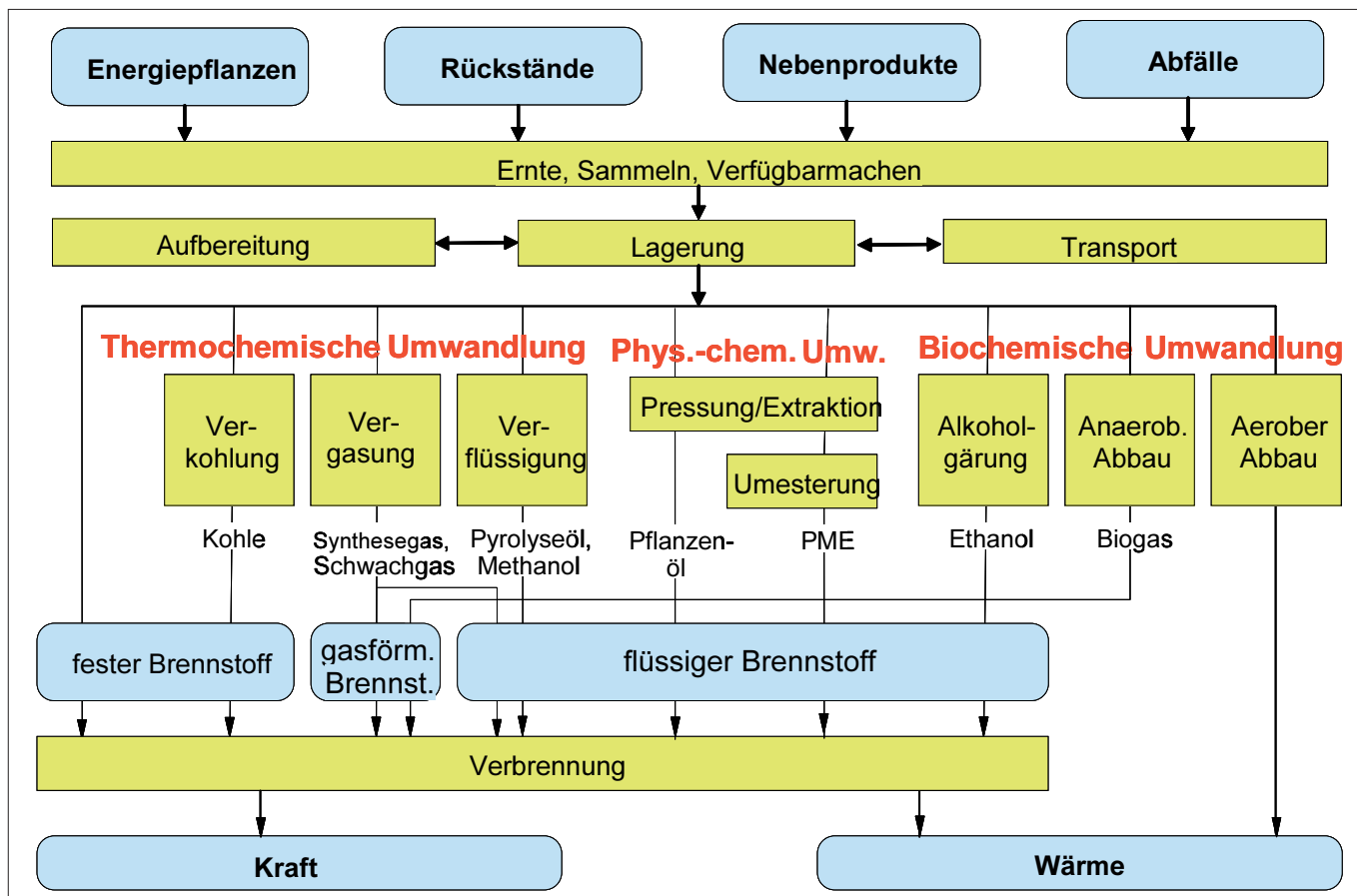


Abb. 1: End- bzw. Nutzenergiebereitstellung aus Biomasse (KALTSCHMITT & THRÄN 2004).

die Pyrolyse sowie die Vergasung – werden aus holz- und halmgutartiger Biomasse unter dem Einfluss von Wärme feste, flüssige und/oder gasförmige Energieträger gewonnen. Das Hauptunterscheidungsmerkmal der benannten Verfahren liegt somit in den jeweiligen Zielprodukten. Bei der *Verkohlung* wird eine möglichst hohe Ausbeute an Festbrennstoff angestrebt, der i. A. zur Wärmebereitstellung (z. B. als Holzkohle) oder alternativ stofflich (z. B. als Aktivkohle) genutzt wird. Holzkohle als Energieträger wird in industrialisierten Ländern wie Deutschland kaum großtechnisch genutzt. Ein solcher Einsatz als Energieträger erscheint auch aus energetischen und ökologischen Gründen wenig sinnvoll.

Bei der *Pyrolyse* von Biomasse soll hingegen eine möglichst hohe Ausbeute an flüssigen Komponenten (d. h. Pyrolyseölen) erzielt werden. Obwohl in den letzten Jahren erhebliche Anstrengungen in die Untersuchung der Pyrolyseölerzeugung geflossen sind, befinden sich derartige Verfahren nach wie vor im Forschungs- und Entwicklungsstadium.

Die *Vergasung* biogener Festbrennstoffe hat eine möglichst vollständige Umwandlung der Biomasse in gasförmige Energieträger zum Ziel. Das produzierte Brenngas kann anschließend in Motoren, Turbinen oder ggf. in Brennstoffzellen zur Stromerzeugung eingesetzt werden oder zu flüssigen Bioenergieträgern (BtL = Biomass-to-Liquid) umgewandelt werden (z. B. Fischer-Tropsch-Diesel, Methanol). Die Vergasung erscheint aufgrund der grundsätzlich erreichbaren hohen Wirkungsgrade als eine wesentliche Zukunftsoption zur Strom- und mittelfristig auch zur Kraftstoffherzeugung aus nahezu allen Fraktionen an biogenen Festbrennstoffen.

Physikalisch-chemische Umwandlung: Öle und Fette, die mit Hilfe von physikalisch-chemischen Verfahren (*Pressung/Extraktion*) gewonnen werden, lassen sich sehr vorteilhaft als Kraftstoff nutzen. Die zur Herstellung der Pflanzenöle notwendigen Verfahren sind Stand der Technik. Durch eine *Umesterung* zu Pflanzenölmethylester (PME) kann der Kraftstoff den Eigenschaften konventionellen Dieselskraftstoffs angenähert und dadurch ein Einsatz in vorhandenen Dieselmotoren ermöglicht werden. Diese Technologie ist ebenfalls als Stand der Technik zu betrachten. Der in Europa bekannteste derartige Pflanzenölmethylester ist Rapsölmethylester (RME), der unter der Bezeichnung Biodiesel bereits seit Jahren angeboten wird. Alternativ ist auch ein Einsatz in Blockheizkraftwerken zur gekoppelten

Wärme- und Strombereitstellung möglich. Dies ist ebenfalls Stand der Technik.

Bio-chemische Umwandlung: Bei den biochemischen Verfahren wird mit Hilfe von Mikroorganismen umgewandelt – und damit auf biologischem Weg. Dabei kann u. a. zwischen einer alkoholischen Gärung, einem anaeroben Abbau und einem aeroben Abbau unterschieden werden.

Bei der *Alkoholgärung* werden zucker-, stärke- und cellulosehaltige Biomassen durch eine alkoholische Gärung in Ethanol überführt, der anschließend in Reinform gewonnen werden kann. Ethanol kann als Kraft- und Brennstoff in Motoren oder Verbrennungsanlagen zur Bereitstellung von Kraft, Strom und Wärme eingesetzt werden. Obwohl die Erzeugung von Trinkalkohol Stand der Technik ist, ist gegenwärtig strittig, ob eine Alkoholherstellung als Energieträger in Deutschland dauerhaft mit dem Weltmarkt konkurrieren kann. Demgegenüber bietet die *anaerobe Vergärung* organischen Materials zu Biogas, das zu rund zwei Dritteln aus Methan besteht, die Möglichkeit einer Brenngaserzeugung. Prädestiniert ist eine Biogaserzeugung aus organischem Material, das bereits in wässriger Lösung bzw. mit einem sehr hohen Wasseranteil (Gülle, organische Siedlungsabfälle, Klärschlamm u. ä.) anfällt. Das Biogas kann – ggf. nach einer entsprechenden Reinigung – in Motoren zur Wärme-, Strom- und Kraftbereitstellung genutzt werden. Aufgrund des EEG wird eine Biogasgewinnung und Nutzung in den nächsten Jahren erheblich an Bedeutung gewinnen; dies gilt primär für den landwirtschaftlichen Bereich.

Der *aerobe Abbau* führt zur Wärme-freisetzung; diese ist für die energetische Nutzung vergleichsweise unbedeutend.

Gegenwärtig sind die beschriebenen Nutzungspfade noch nicht vollständig technisch verfügbar (Tab. 1). Insbeson-

dere für die Wärme- und Kraftstoffbereitstellung befindet sich die Mehrheit der Optionen noch in der Entwicklung. Hierzu zählen vor allem die Vergasungssysteme wie auch die Ethanolgewinnung aus Lignozellulose (VOGEL & THRÄN 2004). Wenn diese Optionen erfolgreich etabliert werden können, ergibt sich insbesondere für lignozellulosehaltige Biomassen (z. B. Holz, Stroh) ein deutlich breiteres Einsatzspektrum und damit auch eine deutlich höhere Nachfrage.

2 Potenziale

Die Möglichkeiten der Bereitstellung von Energie aus Biomasse werden – neben der verfügbaren Umwandlungstechnik – ganz wesentlich vom Potenzial der nutzbaren Biomassen bestimmt. Dieses wird als technisches Brennstoffpotenzial angegeben. Im Hinblick auf den Beitrag zur Energieversorgung ist außerdem das Endenergiepotenzial relevant. Beide Potenziale werden nachfolgend dargestellt:

Technisches Brennstoffpotenzial: Das technische Brennstoffpotenzial beschreibt den Anteil der insgesamt verfügbaren Biomasse, der unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Restriktionen nutzbar ist. Zusätzlich dazu werden i. A. strukturelle und ökologische Restriktionen (z. B. Naturschutzgebiete, Flächen für die angestrebte Biotopvernetzung in Deutschland) und gesetzliche Vorgaben (z. B. Zulässigkeit von hygienisch bedenklichen organischen Abfällen für den Einsatz in Biogasanlagen) berücksichtigt, da sie letztlich auch – ähnlich den (ausschließlich) technisch bedingten Eingrenzungen – oft „unüberwindbar“ sind.

Für die Ableitung der technischen Brennstoffpotenziale werden die verfügbaren Mengen (z. B. Tonnen Kurzumtriebsholz pro Jahr) sowie substratspezifische

Tab. 1: Technische Reife bei der Wärme-, Strom- und Kraftstoffherzeugung.

Anwendungsbereich		Markttabl.	Pilotanlage	Forschung
Wärme	Verbrennung			
Strom	Verbrennung – Großanlagen			
	Verbrennung – Kleinanlagen			
	Vergasung – Gasmotor			
	Vergasung – andere			
	Biogas – Gasmotor			
	Biogas – andere			
	Biogas – Einspeisung			
Kraftstoff	Vergasung – BtL			
	Biogas – gasfähige Motoren			
	Bioethanol – Zucker/Stärke			
	Bioethanol – Lignozellulose			
	Biodiesel			

Kennwerte (z. B. Heizwerte für die thermo-chemische Umwandlung, Biogaserträge für die bio-chemische Umwandlung oder Ölgehalte für die physikalisch-chemische Umwandlung) zu Grunde gelegt.

Ausgehend davon geben Tab. 2 und Abb. 2 einen zusammenfassenden Überblick über das gegenwärtige technische Brennstoffpotenzial aus Biomasse. Es sind Energieeinheiten angegeben, dabei entspricht 1 PJ/a z. B. 60.000 bis 90.000 Tonnen Stroh oder Holz, bzw. noch größeren Mengen an feuchten Biomassen.

Es wird unterschieden zwischen halmgutartigen Reststoffen (u. a. Stroh- und Landschaftspflegematerial), holzartigen Reststoffen (u. a. Waldrestholz, Schwachholz, Altholz, Industrierestholz, Landschaftspflegeholz), sonstigen Reststoffen (d. h. Exkrement und Ernterückstände,

organische Abfälle aus Gewerbe und Industrie, organische Siedlungsabfälle) und Energiepflanzen (ein- oder mehrjährige Kulturen, die auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zur ausschließlichen energetischen Verwertung angebaut werden).

Für Energiepflanzen wird eine verfügbare Fläche von 2 Mio. ha unterstellt, darauf wird bei der thermo-chemischen Umwandlung ein Mischanbau unterschiedlicher Lignocellulose-Pflanzen zur Festbrennstoffbereitstellung, bei der physikalisch-chemischen Umwandlung der Anbau von Raps und bei der bio-chemischen Umwandlung alternativ ein Zwei-Kulturensystem zur Biogassubstraterzeugung sowie der Anbau von Substraten zur Ethanolherzeugung angenommen. Solche Abschätzungen können zu einer ersten Einord-

nung der Potenzialsituation herangezogen werden; in der Praxis ist jedoch die Auswahl geeigneter Anbaukulturen durch die jeweiligen Standortbedingungen deutlich eingeschränkt.

Dabei ist zu beachten, dass die Biomassen (z. B. Halmgut oder Energiepflanzen) immer nur einmal genutzt werden können (also entweder thermo-chemisch oder bio-chemisch oder physikalisch-chemisch). Damit beträgt das gesamte Brennstoffpotenzial ca. 1.000 bis 1.300 PJ/a, was ca. 8 % des gegenwärtigen deutschen Primärenergieverbrauchs entspricht.

Mit Blick auf die Zukunft sind für die gegenwärtigen, hier skizzierten Potenziale Veränderungen zu erwarten. Während diese für den Bereich der Reststoffe vergleichsweise gering sind, können im Bereich der landwirtschaftlichen Biomasse

Tab. 2: Technisches Brennstoffpotenzial aus Biomasse in Deutschland (KALTSCHMITT & THRÄN 2004).

	Energetisch nutzbare Menge	Potenzial bei thermo-chemischer Umwandlung	Potenzial bei bio-chemischer Umwandlung	Potenzial bei physikalisch-chemischer Umwandlung
	Mio. $t_{\text{Frischmasse}}/a$	PJ/a	PJ/a	PJ/a
<i>Halmgutartige Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle</i>				
Stroh	9,3	130	38–63	–
Gras aus Dauergrünland etc.	2,6–4,0	37–56	15–23	–
Landschaftspflegematerial	0,9–1,8	11–22	8–16	–
<i>Summe</i>	<i>12,8–15,1</i>	<i>178–208</i>	<i>61–102</i>	–
<i>Holzartige Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle</i>				
Waldrestholz	13,7	169	–	–
Schwachholz	10	123	–	–
Zusätzl. Nutzb. Waldholz	10,7	132	–	–
Altholz	6	78	–	–
Industrierestholz	4	58	–	–
Landschaftspflegeholz	0,46	4	–	–
<i>Summe</i>	<i>45</i>	<i>563</i>	–	–
<i>Sonstige Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle</i>				
Exkrement und Einstreu	162	–	96,5	–
Ernterückstände	7–14	–	9,1–18,3	–
Abfälle aus Gewerbe u. Ind.	3,1–4,7	–	6,4–12,2	–
Org. Siedlungsabfälle	7,6	–	12,5	–
<i>Summe</i>	<i>180–188</i>	–	<i>124–139</i>	–
<i>Klärgas</i>		–	19,5	–
<i>Deponiegas</i>		–	15–21	–
<i>Summe Rückstände, Nebenprod. und Abfälle</i>		<i>741–770</i>	<i>219–282</i>	–
<i>Energiepflanzen auf 2 Mio. ha</i>		365	236 ^a –252 ^b	103 ^c
Gesamtsumme		1.106–1.135	455–533	103

a Biogassubstrate,

b Ethanol aus Zuckerrüben (zusätzlich wären noch Biogassubstrate (95 PJ/a) nutzbar),

c Pflanzenöl bzw. RME aus Raps (zusätzlich wären noch Stroh (125 PJ/a) u. Schrot (65 PJ/a) energetisch nutzbar).

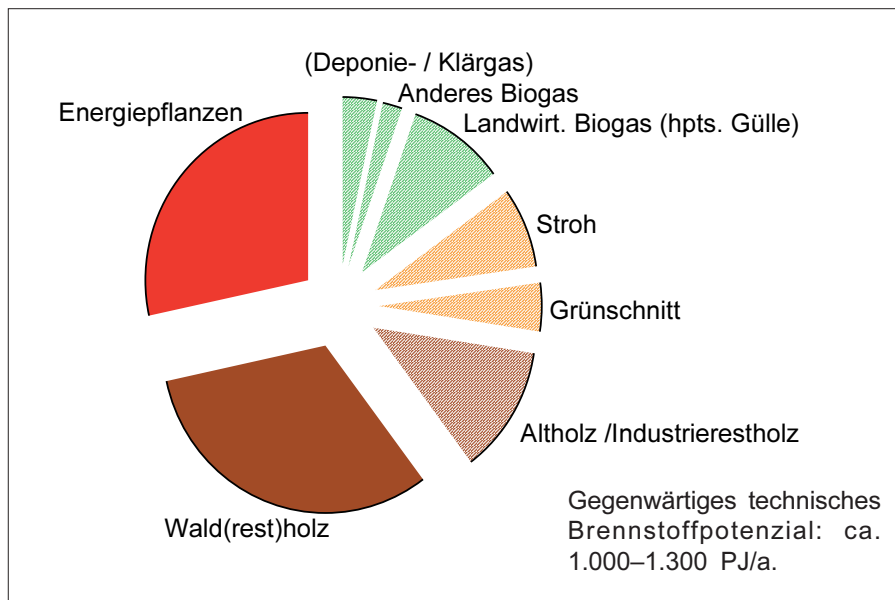


Abb. 2: Zusammensetzung des technischen Brennstoffpotenzials in Deutschland 2004 in Energieeinheiten.

sen – infolge des rückläufigen Flächenbedarfs für die Nahrungsmittelproduktion – künftig voraussichtlich erhebliche Flächen für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung gestellt werden. Entsprechend sind in Deutschland und Europa in den nächsten 20 Jahren deutlich steigende Biomassepotenziale und eine zunehmen-

de Bedeutung der Energiepflanzen wahrscheinlich.

Endenergiepotenzial: Die Endenergiepotenziale umfassen die technischen Strom-, Wärme- und Kraftstoff-Endenergiepotenziale, die aus den technischen Brennstoffpotenzialen erzeugt werden

können (Tab. 3). Dabei wird unterstellt, dass das verfügbare Brennstoffpotenzial für die verschiedenen Endenergieoptionen jeweils vollständig zur Verfügung steht. Durch die unterschiedlichen Wirkungsgrade der Umwandlungstechnologien unterscheiden sich die aus dem technischen Biomassepotenzial erzeugbaren Endenergiepotenziale deutlich.

Die Potenziale zur *Stromerzeugung* liegen zusammengekommen bei ca. 100 bis 130 TWh/a. Von der gegenwärtigen Bruttostromerzeugung von rund 570 TWh/a ließen sich bei voller Ausschöpfung des maximalen Stromerzeugungspotenzials aus Biomasse 18 bis 23 % decken; damit könnten im theoretischen Maximalfall z. B. 31 bis 40 Mio. t Steinkohle ersetzt werden. Das maximale *Wärmeerzeugungspotenzial* aus Biomasse umfasst ca. 900 bis 1.200 PJ/a. Von der gegenwärtigen Niedertemperatur-Wärmenachfrage von ca. 2 600 PJ/a ließen sich bei voller Ausschöpfung des maximalen Wärmeerzeugungspotenzials aus Biomasse 35 bis 45 % decken; damit könnten im theoretischen Maximalfall z. B. 29 bis 41 Mrd. l Heizöl ersetzt werden.

Zur *Kraftstofferzeugung* sind gegenwärtig nur die Potenziale der Biodiesel- und Ethanolherzeugung verfügbar. Das damit verbundene Endenergiepotenzial be-

Tab. 3: Endenergiepotenziale aus Biomasse in Deutschland (Daten aus KALTSCHMITT & THRÄN 2004) (1 TWh = 3,6 PJ).

	Brennstoffpotenzial PJ/a	Endenergiepot. Strom TWh/a	Endenergiepot. Wärme PJ/a	Endenergiepot. Kraftstoff PJ/a
Halmgutartige Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle	178–208 (61–102*)	14–25 ^a	134–186 ^c	71–145 ^e
Holzartige Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle	563	44–68 ^a	422–507 ^c	225–394 ^e
Sonstige Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle (inkl. Klär-/Deponiegas)	159–180	13–18 ^b	95–108 ^d	111–162 ^f
Energiepflanzen auf 2 Mio. ha	103–365	20–44 ^a	274–329 ^c	103 ^g 120–252 ^h 164–211 ^f 146–256 ^e
Gesamtsumme	1.023–1.296	91–126 (328–453 PJ/a)	925–1.130	511–962

* Potenzial bei bio-chemischer Umwandlung, hier nicht weiter betrachtet.

a Einsatz in Biomassekraftwerken der 20 MW-Klasse (elektrische Wirkungsgrade von 28 bis 32 %) bzw. Zufeuerung in vorhandenen Kohlekraftwerken der neuesten Generation (elektrische Wirkungsgrade von 35 bis 43 %);

b Einsatz in Blockheizkraftwerken (BHKW) (elektrische Wirkungsgrade von 30 bis 35 %);

c Einsatz in Biomasseheizungen und -heizwerken (75 bis 90 % Wirkungsgrad);

d gesamte potenzielle Wärmebereitstellung bei einer unterstellten vollständigen Biogasnutzung in BHKW;

e Umwandlungswirkungsgrade der Synthese (z. B. Methanol, Fischer-Tropsch) von 40 bis 70 %;

f Biogas mit Aufbereitungswirkungsgrad einschließlich Verteilungsverlusten von rund 70 bis 90 %;

g Pflanzenöl bzw. RME aus Raps;

h Ethanol aus Weizen bzw. Zuckerrüben.

schränkt sich auf den Einsatz von Energiepflanzen und liegt zwischen 100 und 252 PJ/a. Wenn es gelingt, zusätzlich Kraftstoffe durch thermo-chemische Umwandlung von biogenen Festbrennstoffen bereitzustellen und die Biogasnutzung im Traktionsbereich zu etablieren, könnte das maximale Kraftstoffherzeugungspotenzial auf ca. 500 bis 1.000 PJ/a gesteigert werden. Vom gegenwärtigen Kraftstoffbedarf von ca. 2.745 PJ/a ließen sich dann bei voller Ausschöpfung des maximalen Kraftstoffherzeugungspotenzials aus Biomasse 19 bis 35 % decken; damit könnten im theoretischen Maximalfall z. B. 15 bis 29 Mrd. l Dieselkraftstoff ersetzt werden.

3 Anwendung

Die energetische Nutzung von Biomasse hat sich in Deutschland in den letzten Jahren kontinuierlich erhöht und ist traditionell geprägt durch einen hohen Beitrag bei der Wärmebereitstellung. Die Bedeutung der verschiedenen Energieträger im Jahr 2004 wird nachfolgend erläutert.

Stromerzeugung: Die Stromerzeugung aus Biomasse hat infolge des EEG in den letzten Jahren einen deutlichen Ausbau erfahren und umfasste im Jahr 2004 etwa 2.200 Biomasseanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von ca. 1.100 MW_{el} in Betrieb, die etwa 7,3 TWh/a Strom erzeugen könnten. Dies entspricht einem Anteil von etwa 1,3 % der gesamten Stromerzeugung in Deutschland (Institut

für Energetik und Umwelt gGmbH 2005a). Die reale Stromerzeugung lag im Jahr 2004 bei etwa 5,3 TWh. Damit verbunden war ein Brennstoffeinsatz in einer Größenordnung von 68 PJ/a. Dies umfasste in erster Linie die Reststoffe Altholz und landwirtschaftliche Biogassubstrate (Gülle, Ernterückstände). Flüssige Bioenergieträger wurden nur in sehr geringem Umfang genutzt (Institut für Energetik und Umwelt gGmbH 2005b). Für 2005 wird vor allem im Biogasbereich ein sehr deutlicher Zubau erwartet, der auch mit einer verstärkten Nutzung von nachwachsenden Energieträgern einhergeht.

Wärmeerzeugung: Zur ausschließlichen Wärmeproduktion wird der Gesamteinsatz an Biomasse gegenwärtig auf rund 250 PJ/a geschätzt und erfolgt vor allem in Kaminen, Kaminöfen und kleinen Heizkesselanlagen (MERTEN et al. 2004).

An Brennstoffen wurde nahezu ausschließlich Holz eingesetzt – mit hohen Anteilen an Wald(rest)holz und Industriestholz; die energetische Nutzung von Stroh ist vergleichsweise gering. Auch der Holzpellet-Einsatz befindet sich trotz hoher Zubauraten noch auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. Der Brennstoffbedarf der knapp 20.000 zu Ende 2003 in Betrieb befindlichen Pelletheizungen lag bei weniger als 2 PJ/a.

Kraftstoffherzeugung: Als Biokraftstoffe wurden bis Ende 2004 fast ausschließlich Rapsölmethylester und zu einem deutlich geringeren Anteil naturbelassenes Raps-

öl genutzt; andere flüssige Bioenergieträger wie Bioethanol oder Biomethanol spielten in Deutschland bis dahin noch keine Rolle. Seit 1999 hat sich die bundesweite Biodiesel-Produktionskapazität kontinuierlich erhöht und lag Ende 2004 bei ca. 1,2 Mio. t/a (Abb. 3). Der inländische Anbau von Raps wurde jedoch nur in geringerem Umfang gesteigert, so dass inzwischen die Einsatzstoffe zum Teil importiert werden (Institut für Energetik und Umwelt gGmbH 2005c).

Für 2005 wird ein weiterer deutlicher Zubau der Produktionskapazitäten erwartet. Zusätzlich wurde mit der Ethanolproduktion begonnen, wo für 2005 ebenfalls erhebliche Produktionszuwächse zu erwarten sind.

Nutzungsstand: Aus den Brennstoffpotenzialen und dem Brennstoffeinsatz lässt sich der Nutzungsstand einschätzen (Abb. 4). Demnach werden die verfügbaren Potenziale bisher nur zu einem geringen Teil in Bioenergieträger umgewandelt. Die verschiedenen Brennstoffe zeigen dabei einen unterschiedlichen Nutzungsstand: Während für holzartige Biomassen eine vergleichsweise breite Anwendung besteht und einzelne Sortimente wie Altholz bereits weitgehend erschöpft sind, werden Stroh und Grasmassen bisher nicht in nennenswertem Umfang eingesetzt. Der Flächenanteil nachwachsender Rohstoffe für energetische Verwendungen betrug 2004 in Deutschland rund 5 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche und schöpfte das vielfältige und umfangreiche

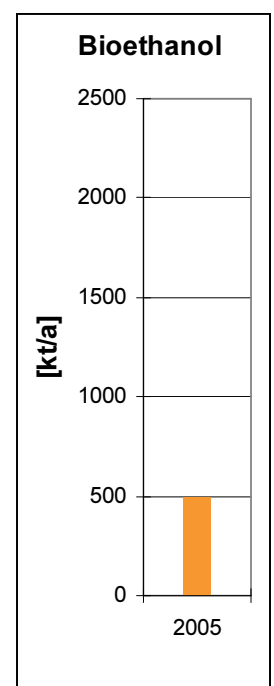
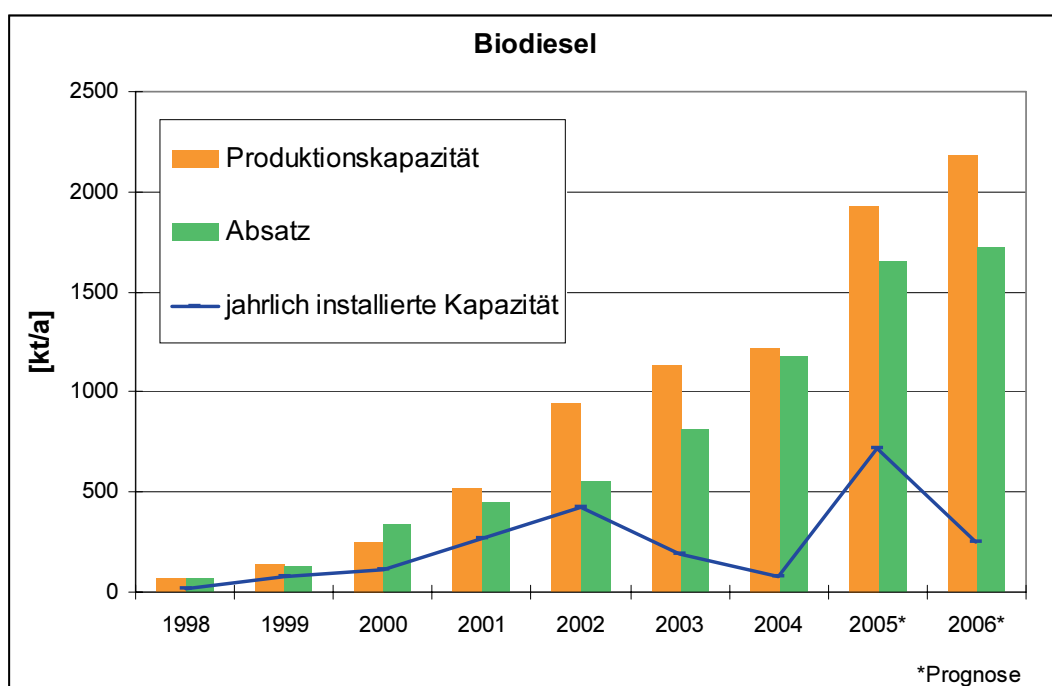


Abb. 3: Biodiesel- und Bioethanol-Produktionskapazitäten und der jeweilige jährliche Zubau.

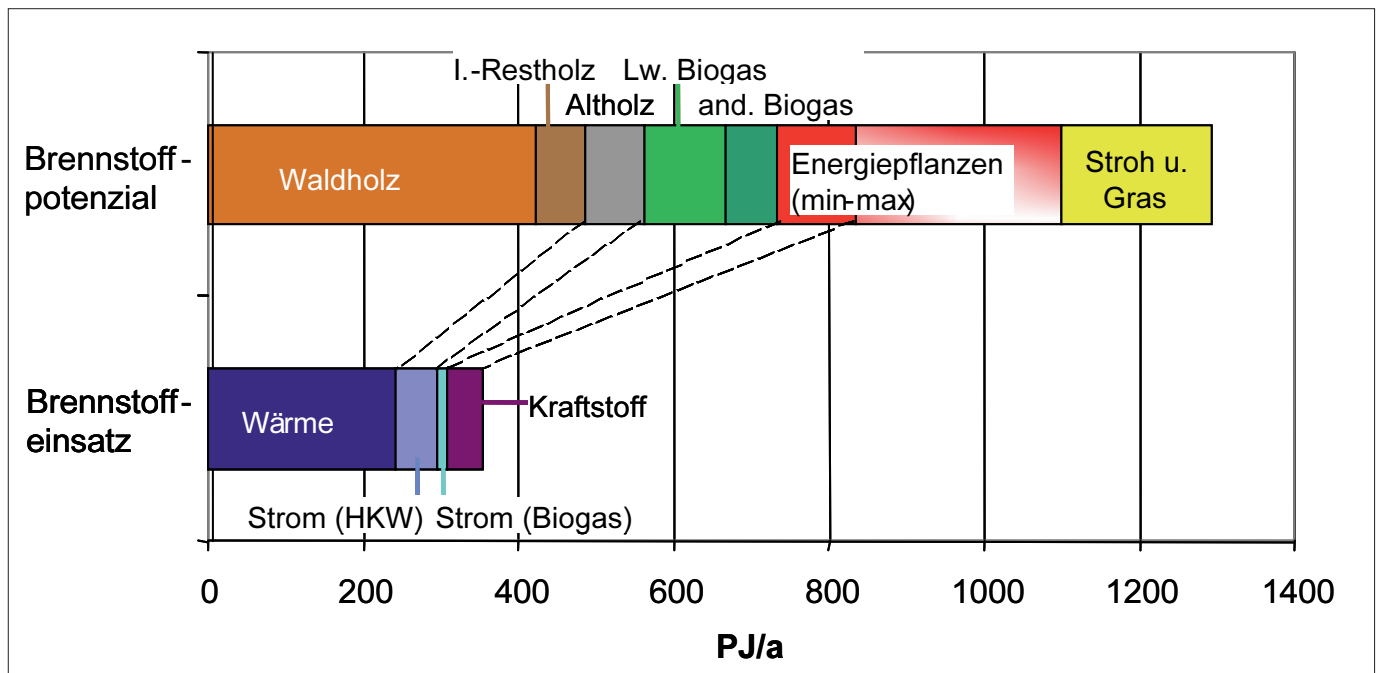


Abb. 4: Brennstoffpotenziale und Brennstoffeinsatz zur Biomassenutzung im Jahr 2004.

Nutzungspotenzial nur zu einem geringen Teil aus (Institut für Energetik und Umwelt gGmbH 2005c).

4 Szenarien für eine nachhaltige Entwicklung der Biomassenutzung

Die nachhaltige Entwicklung der Biomassenutzung in Deutschland ist von verschiedenen Faktoren bestimmt:

- Einerseits hängt der Beitrag der Strom-, Wärme- und Kraftstoffherzeugung aus Biomasse in einer nachhaltigen Energieversorgung wesentlich von der Fortentwicklung der Energieeinsparung und Energieeffizienz wie auch dem Beitrag anderer regenerativer Energieträger (Sonne, Wind, Wasser etc.) ab.
- Andererseits sind die Möglichkeiten einer nachhaltigen Biomassebereitstellung durch agrar-, umwelt- und naturschutzpolitische Rahmenbedingungen bestimmt, die insbesondere über die Verfügbarkeit „freier“ landwirtschaftlicher Flächen für den Energiepflanzenanbau entscheiden.
- Schließlich greift auch eine isolierte Betrachtung von Deutschland zu kurz, da auf dem Gebiet der EU – bei entsprechender Nachfrage – große Biomasseströme bereit gestellt und über einen europäischen Markt gehandelt werden können.

Diese Faktoren lassen sich im Hinblick auf ihre weitere Entwicklung gegenwärtig nur mit großen Schwierigkeiten einschätzen;

daher wurden in jüngerer Vergangenheit verschiedentlich Szenarien für Deutschland und Europa entwickelt (z. B. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH 2006, Öko-Institut 2004).

Die in den Szenarien abgeschätzte Entwicklung von Biomasseangebot und -nachfrage zeigt deutlich, dass die Biomassepotenziale in Deutschland und Europa auch unter verstärkt ökologischen Randbedingungen in der Landwirtschaft im Steigen begriffen sind und damit der Beitrag der Biomasse zu einer nachhaltigen Energieversorgung bis zum Jahr 2030 in zunehmendem Maße geleistet werden kann. Jedoch ist – insbesondere für die EU-15 Staaten – bei einer stärker klimaschutz-orientierten Energiepolitik auch der Bedarf an Bioenergieträgern stark zunehmend, so dass ggf. ab dem Jahr 2020 die Deckung der Nachfrage allein mit den europäischen Potenzialen nicht mehr erreicht werden kann und über gezielte Biomasseimporte nachgedacht werden muss. Die „Nachhaltigkeit“ solcher Importe ist dabei unbedingt durch Importstandards zu unterstützen, die gegenwärtig diskutiert werden.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass bei einer verstärkten Biomassenutzung sowohl auf der Angebotsseite als auch auf der Nachfrageseite Konkurrenzen bestehen: Angebotsseitig sind Konkurrenzen um kostengünstige Brennstoffe (z. B. Altholz, Industrierestholz) sowie den nur eingeschränkt zur Verfügung stehenden Raps, der als Rohstoff zur Biodieselproduktion eingesetzt wird, bereits heute gegeben.

Nachfrageseitig konkurrieren die Strom-, Wärme- und Kraftstoffbereitstellung um die gleichen Rohstoffe; dies gilt insbesondere mittelfristig, wenn z. B. die Bereitstellung von synthetischen Kraftstoffen aus Holz technisch verfügbar ist und holzartige Biomassen damit in allen Bereichen sehr gut eingesetzt werden können. Während die angebotsseitige Konkurrenz vielfach als eine Möglichkeit der „Preisgesundung“ in der Land- und Forstwirtschaft begrüßt wird, bedarf die nachfrageseitige Konkurrenz einer geeigneten Abstimmung der Förderinstrumente zur Strom-, Wärme- und Kraftstoffherzeugung (z. B. EEG und Mineralölsteuerbefreiung), um eine möglichst effiziente Nutzung der Ressourcen sicher zu stellen. Hier ist z. B. eine umfassende Etablierung der Kraft-Wärme-Koppelung bei der Stromerzeugung, eine Diversifizierung und Optimierung des Energiepflanzenanbaus für die verfügbaren Standorte sowie die gezielte Nutzbarmachung von Reststoffen (z. B. auch aus der Landschaftspflege) zu unterstützen.

5 Zusammenfassung

In Deutschland und Europa stehen große und perspektivisch noch zunehmende Biomassepotenziale zur Verfügung, die gegenwärtig nur zu einem geringen Teil genutzt werden.

Jedoch hat in jüngster Vergangenheit eine sehr dynamische Entwicklung eingesetzt, die eine vorausschauende Lenkung der begrenzten Ressourcen in möglichst effi-

ziente und umweltverträgliche Anwendungen sinnvoll erscheinen lässt. Dies ist um so komplexer, als dass eine Energiegewinnung aus Biomasse auf der Basis sehr unterschiedlicher Brennstoffsortimente und mit Hilfe sehr verschiedenartiger Umwandlungstechnologien möglich ist. Die damit realisierbare Wärme- wie auch Strom- und Kraftstoffbereitstellung wird gegenwärtig in einem breiten Spektrum erprobt, zusätzliche Optionen befinden sich in Forschung und Entwicklung. Wesentlich für eine nachhaltige Biomassenutzung in Deutschland ist neben der weiteren Erschließung der verfügbaren Reststoffpotenziale die gezielte Nutzbarmachung eines möglichst breiten Spektrums von Energiepflanzen, das die künftig verfügbaren Flächen nachhaltig einbindet und damit dauerhafte und perspektivisch zunehmende Brennstoffpotenziale sicherstellt, ohne die Ziele einer nachhaltigen Land- und Forstwirtschaft in Frage zu stellen. Auch die Einbindung der Landschaftspflegemassen dürfte in diesem Kontext zur Zielerreichung beitragen. Schließlich kommt für eine nachhaltige Etablierung der Biomassenutzung in Deutschland auch der Entwicklung der Biomassenutzung in den anderen EU-Staaten eine große Bedeutung zu: Wenn ein

europaweit ausgewogener Ausbau gelingt, ist zumindest innerhalb Europas eine Verschiebung großer Mengenströme an Biomassen bzw. Bioenergieträgern nur eingeschränkt zu erwarten und damit die Voraussetzung gegeben, dass die skizzierten Brennstoffpotenziale tatsächlich in sinnvoller Weise erschlossen werden können.

6 Literatur

Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (2005a): Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. 1. Zwischenbericht. - Leipzig.

Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (2005b): Fortschreibung der Daten zur Stromerzeugung aus Biomasse. Bericht für die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik (AG EE-STAT). - Leipzig, 2005; http://www.erneuerbare-energien.de/1024/index.php?fb=/download/b_bericht_stromerzeugung_biomasse/&n=12095.

Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (2005c): Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext. 2. Zwischenbericht. - Leipzig.

Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (2006): Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext. Endbericht. - Leipzig. Internet: <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/36715/4593>.

KALTSCHMITT, M. & THRÄN, D. (2004) : Status quo und Potenziale der energetischen Biomassenutzung in Deutschland – Wozu sollen welche Potenziale genutzt werden? In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) & Bundesverband BioEnergie (BBE) (Hg.): Ausbau der Bioenergie – im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz?! Eine Standortbestimmung. Tagung am 10. Februar 2004, Landesvertretung Schleswig Holstein, Berlin.

MERTEN, D.; THRÄN, D. & FALKENBERG, D. (2004): Wärmegewinnung aus Biomasse - Eine Untersuchung im Rahmen des BMWA-Projektes „Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)“, Projekt- Nr. 17/02 – BWK 9/2004, 60-66.

Öko-Institut (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Endbericht. – Darmstadt.

VOGEL, A. & THRÄN, D. (2004) : Was ist marktfähig? Aus Stroh und Holz lassen sich Treibstoffe herstellen. - DLG-Mitteilungen 5/2004, 44-46.

Anschrift der Verfasserin:

Dr.-Ing. Daniela Thrän
Institut für Energetik und Umwelt
Torgauer Str. 116

04347 Leipzig

E-Mail: daniela.thraen@ie-leipzig.de

Kirsten Wiegmann

Nachhaltige Bioenergie: Ökobilanz der Nutzung von Biomasse

Vor dem Hintergrund des Klima- und Umweltschutzes sowie der Versorgungssicherheit erfordert die eingeleitete Energiewende neben dem Aufbau einer Energieeffizienzwirtschaft, den Anteil regenerativer Energien an der Energieversorgung erheblich zu erhöhen. Der Stellenwert der Biomasse ist hier – neben Sonne und Wind – mittelfristig am höchsten. Zur Energiegewinnung kommt Biomasse aus der Land- und Forstwirtschaft sowie der Abfallwirtschaft in Frage.

Unter dem Titel „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ ermittelte ein vom BMU gefördertes Forschungsprojekt das nachhaltige Biomasse-Potenzial in Deutschland (vgl. FRITSCHKE et al. 2004)¹. Hierzu wurden die Entwicklungen in Forst- und Land- sowie Abfallwirtschaft mit der zukünftigen Nachfrage nach Lebensmitteln integriert betrachtet. Eine zentrale Aufgabe des Projekts war der Entwurf von Zukunftsszenarien. Was kann Bioenergie unter verschiedenen Rahmenbedingungen leisten? Durch die Berücksichtigung aller drei Nachfragesektoren Wärme, Elektrizität und Verkehr findet keine Mehrfachverplanung der Potenziale statt. Für eine ökologische Bewertung sind die Biomasse-Nutzungstechniken unter Einrechnung der gesamten Lebenswege bilanziert worden und fossilen Referenztechniken gegenüber gestellt worden.

1 Methode der Stoffstromanalyse

Als analytisches Werkzeug diente die so genannte Stoffstromanalyse, die produkt- und branchenübergreifende Stoff- und Energieströme sowie deren Umwelt- und Kosteneffekte ermittelt. Die Stoffstromanalyse setzt bei der Nachfrage an und verfolgt die Stoffströme zurück bis zur Ressourcenentnahme. Im Fall der Biomasse setzt sie beim Energiebedarf an und verfolgt diese über die verschiedenen Nutzungs- und Umwandlungsstufen hinweg bis zur Gewinnung der Primärenergie. Wesentlich ist dabei, dass auch Ressourcenfragen (Mengen, Begrenzungen) integriert behandelt werden oder Effekte durch Außenhandel berücksichtigt werden können. Zugrunde gelegt sind dabei jeweils

ein Referenz-Szenario (nach NITSCH et al. 2004) sowie ein Szenario UMWELT und ein Szenario BIOMASSE (s. Abb. 1).

2 Das Potenzial und die Nutzungsoptionen

Das Potenzial für nachhaltige Bioenergie in Deutschland bis zum Jahr 2030 beträgt rund 800 Petajoule² (PJ) an Primärenergie aus Reststoffen sowie – je nach Szenario – bis zu 1.200 PJ aus Anbau-Biomasse. In diese Angaben sind bereits Entwicklungen der Bevölkerung, der Siedlungs- und Verkehrsflächen, der Ertragssteigerungen in der Landwirtschaft sowie auch ein bis auf 30 % anwachsender Anteil von ökologisch angebauten Nahrungsmitteln einbezogen. Hinzu kommt die Erfüllung des Naturschutzflächenziels von mindestens 10 %. Diese nachhaltigen Potenziale lassen sich allerdings nur realisieren, wenn gleichzeitig eine restriktive Flächenpolitik für Wohnen und Verkehr stattfindet und subventionierte Agrarexporte eingestellt werden.

Die durchschnittliche Energieausbeute je Hektar hängt von der Kultur und von der

Effizienz möglicher Umwandlungsschritte ab. Mögliche Kulturen sind klassische Ackerpflanzen wie Ölpflanzen, Getreide, Mais oder Zuckerrüben und Energiepflanzen wie mehrjährige Gräser, Kurzumtriebshölzer oder einjährige Zweikultursysteme (die so genannte Feuchtgutlinie³). Abb. 2 zeigt das Primärenergiepotenzial verschiedener Kulturen. Es wird deutlich, dass die Feuchtgutlinie und Ganzpflanzen die höchsten Hektarerträge liefern. Es folgen Mais und die mehrjährigen Kulturen. Geringere Erträge stammen von den heute vorherrschenden Ölsaaten Raps und Sonnenblumen.

Diese Angaben sind ohne Konversionsverluste. Für eine Beurteilung der End-

- 1 Download als kostenlose PDF-Version unter www.oeko.de/service/bio. Der Endbericht ist auch als Buch kostenlos erhältlich bei service@bmu.bund.de.
- 2 3,6 Petajoule (PJ) = 1 Terawattstunde (TWh) = 1 Mrd. Kilowattstunden (kWh).
- 3 Die so genannte Feuchtgutlinie ist eine extensive Anbauweise mit zwei Kulturen in einer Saison und möglichen Mischkulturen. Die frühe Ernte der Grünmasse vor der Frucht-reife ermöglicht die zwei Ernten im Jahr und sorgt für besonders hohe Erträge.

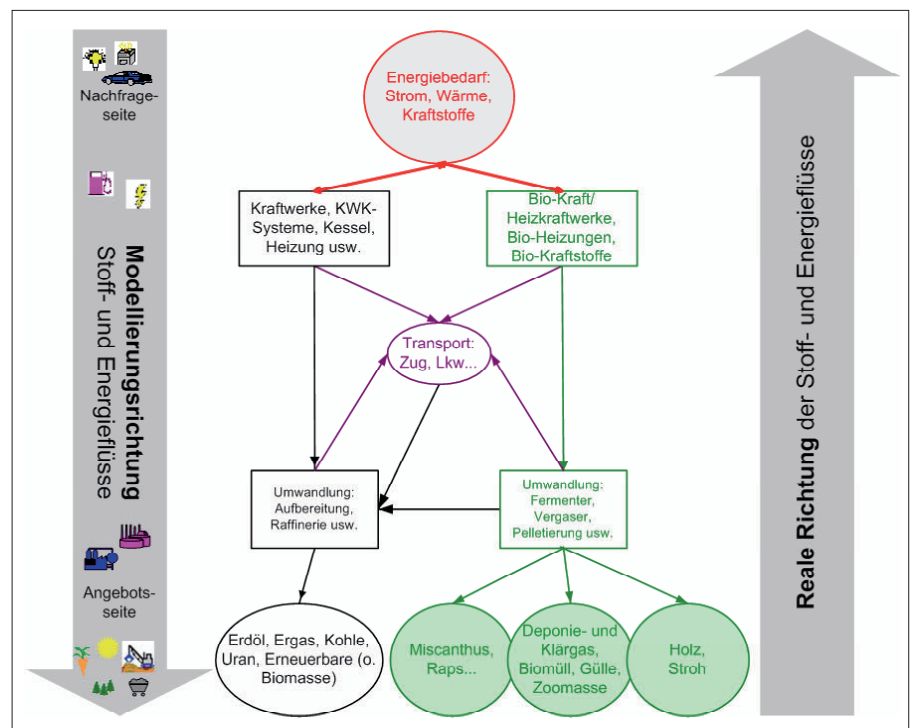


Abb. 1: Schema der Stoffstromanalyse für Biomasse.

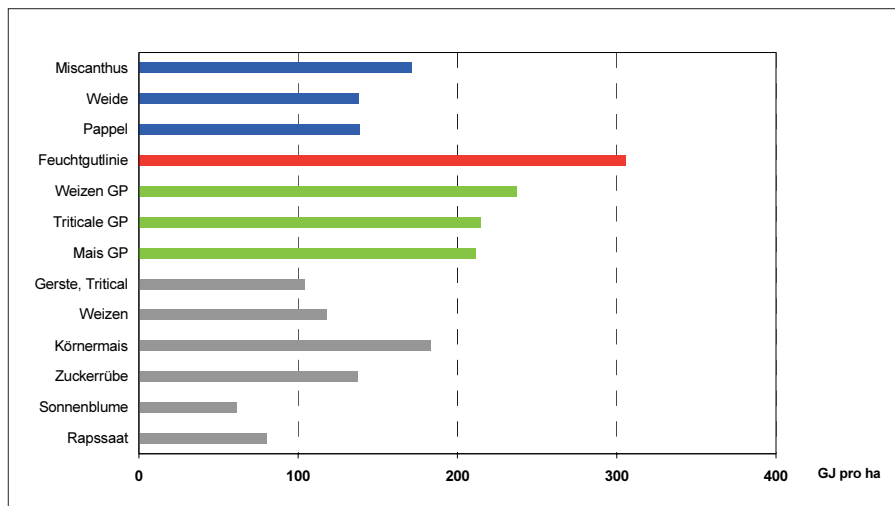


Abb. 2: Brennstoffpotenzial direkt vom Feld (GP = Ganzpflanze).

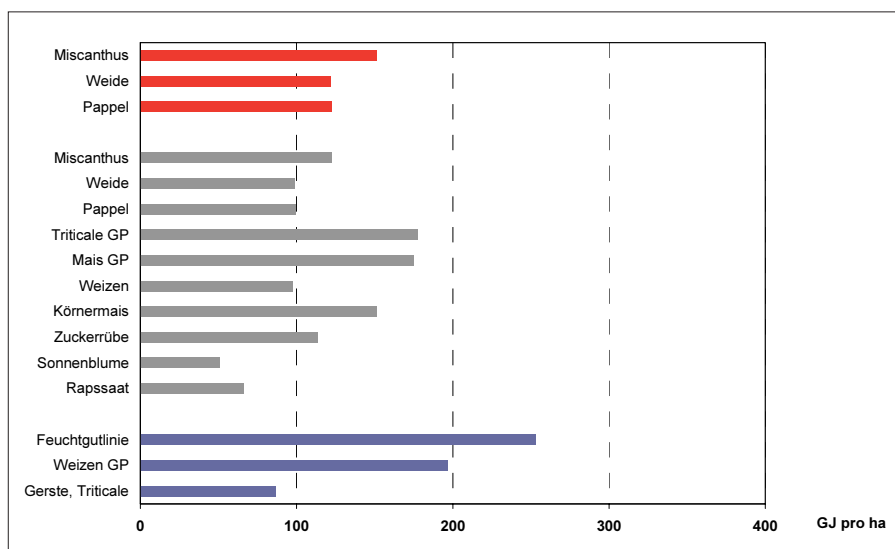


Abb. 3: Hektarerträge für die Konversion einzelner Energiepflanzen zu Endenergie im Jahr 2010 (ohne internen Energiebedarf und Gutschriften), KWK=Kraftwärmekopplung, GP=Ganzpflanzennutzung.

energienutzung müssen die Konversionsverluste jedoch berücksichtigt werden, diese zeigt Abb. 3.

Bei dieser Darstellung wird deutlich, dass die Biogasnutzung aus der Feuchtgutlinie und aus Ganzpflanzen die höchsten Erträge erbringt. Das Biogas kann sowohl im Verkehr als auch für die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) genutzt werden. Ebenfalls wird ersichtlich, dass die Schwankungsbreite für Wärmetechnologien geringer ist als die für Kraftstoffe und Stromerzeugung.

Dieses Ergebnis unterstreicht ein Vergleich der Treibhausgasemissionen von Biomasse- mit fossilen Referenztechnologien, vgl. Abb. 4 bis 6. In diesen Zahlen sind sämtliche interne Energienutzungen sowie Gutschriften (z. B. in Form von Wärmeauskopplung) berücksichtigt. Neben der Energieeffizienz wird auch das gewählte fossile Referenzsystem für das Ergebnis wirksam: Strom und Wärme aus einer modernen KWK-Anlage sparen gegenüber Strom aus einem üblichen Kohlekraftwerk (ohne Wärmeauskopplung) plus Wärme von einer Gasheizung viel Kohlendioxid ein. Im Verkehrssektor bleiben die Fahrzeuge mit ihrer Antriebstechnik dagegen gleich und nur der Kraftstoff wird durch einen Biokraftstoff ersetzt. Entsprechend geringer fallen hier die Unterschiede zwischen der biogenen und der fossilen Variante aus.

Doch sind Energieausbeute und Treibhausgasemissionen nicht die einzigen Kriterien, die die Entscheidung für den Einsatz der Biomasse bestimmen. Bedeutsam sind außerdem die Verfügbarkeit von

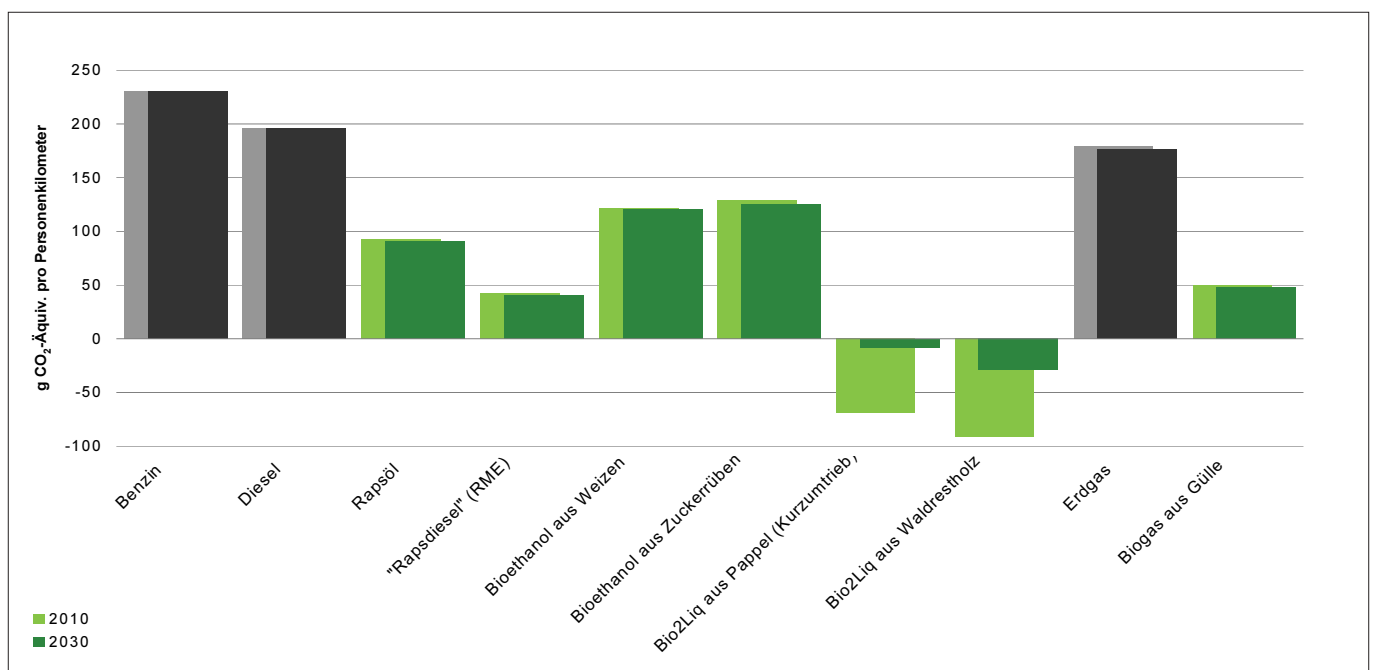


Abb. 4: Treibhausgasemission verschiedener Biokraftstoffe.

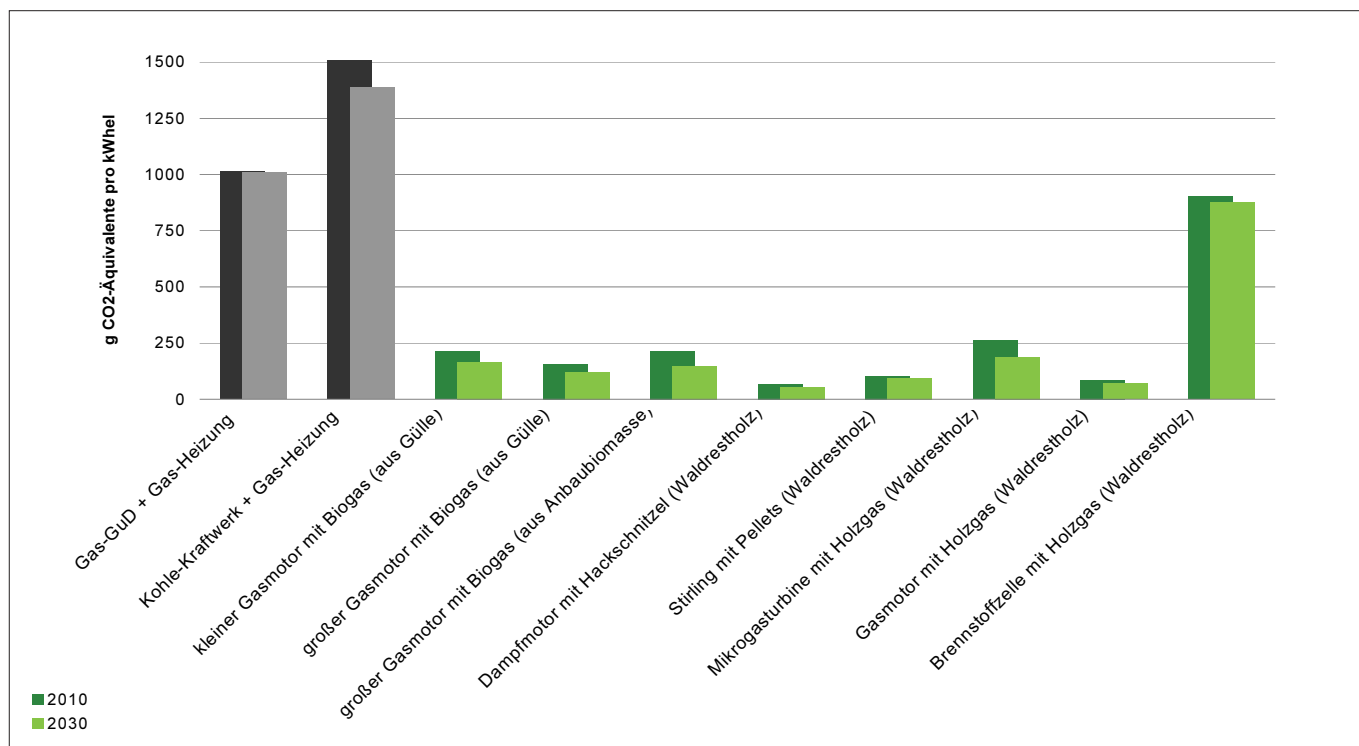


Abb. 5: Treibhausgasemission von Kraftwärmekopplung aus Biomasse.

Zukunftstechnologien, die Anschlussfähigkeit an heute verbreitete Technologien sowie das Angebot an Alternativen. Für die Wärme- und Strombereitstellung stehen bereits heute andere regenerative Energien zur Verfügung, etwa Wind- und Wasserkraft oder Solarwärme, um Beispiele zu nennen. Zudem kann schon heute Biomasse aus dem Forst- und Abfallbereich für Strom und Wärme genutzt werden – wie die Mitverbrennung biogener Abfälle in Großkraftwerken oder

Holz für Heizungen. Bei den regenerativen Treibstoffen hat die Biomasse dagegen eine Monopolstellung. Dies, in Zusammenhang mit dem Aspekt der Versorgungssicherheit, spricht auch für einen Biomasseinsatz außerhalb der Pfade mit der optimalen Energieausbeute. Daher wird aufgrund der Stoffeigenschaften und Nutzungstechnologien in den nächsten zehn bis zwanzig Jahren das Potenzial der Biomasse-Reststoffe ganz überwiegend im Bereich der stationären Nutzung zur Strom-

bzw. Wärmebereitstellung eingesetzt werden, da sie dort die günstigsten Verwertungsmöglichkeiten besitzen.

3 Szenarioergebnisse

Bis 2030 kann der gesamte Primärenergiebedarf durch eine verbesserte Energieeffizienz gegenüber heute – trotz wachsender Energiedienstleistungen – um rund 35 % gesenkt werden, sodass Biomasse je

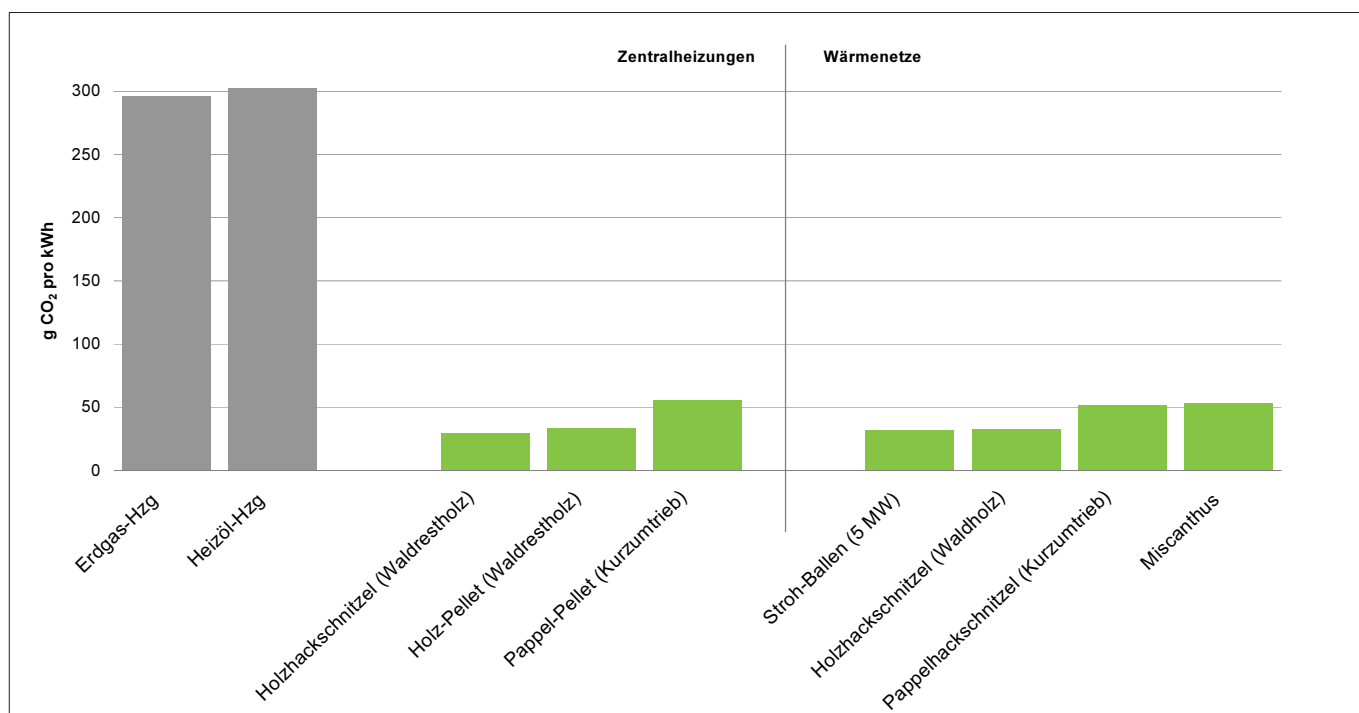


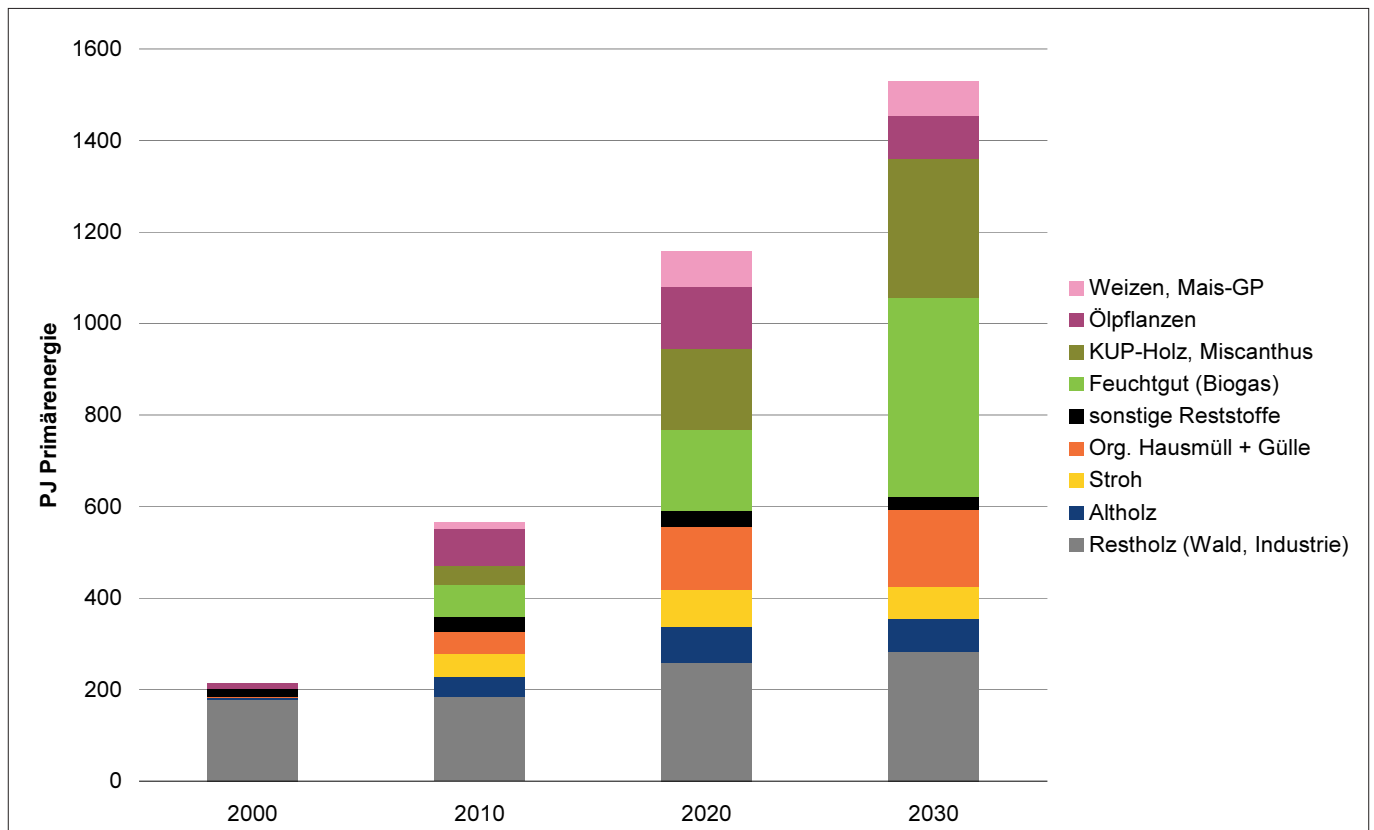
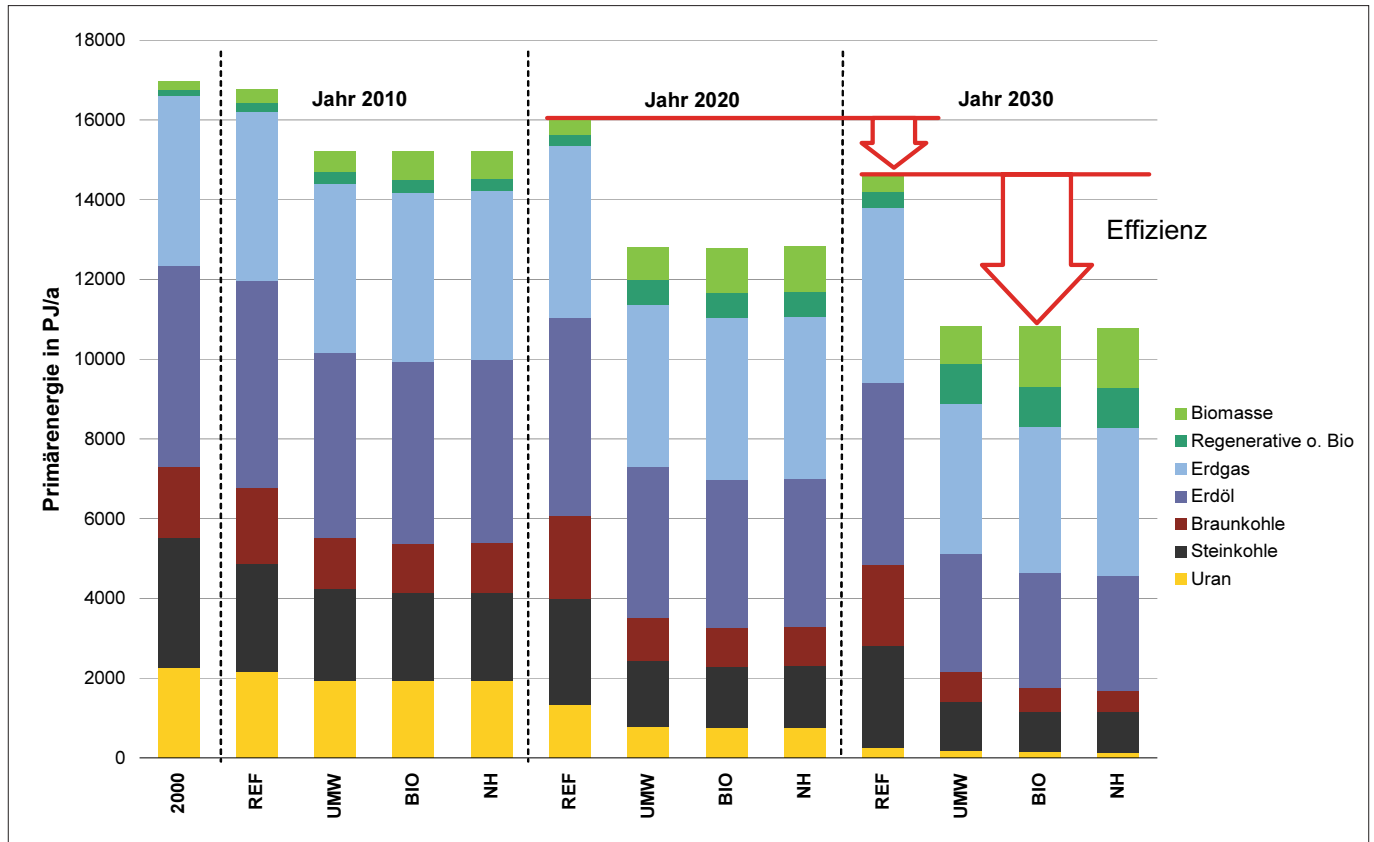
Abb. 6: Treibhausgasemission verschiedener Biomasseheizsysteme.

nach Szenario einen Anteil von 8 bis 14 % erreichen kann. Die anderen regenerativen Energien liegen bis 2030 zusammen bei einem Anteil von 9 % an der Primärenergie.

Die gesamte Primärenergiebilanz der Szenarien zeigt Abb. 7.

Abb. 8 zeigt die künftige Entwicklung der Energienutzung von Biomasse in Deutsch-

land aus dem Nachhaltigkeitsszenario. Neben den klassischen Bioenergieträgern Restholz sowie Reststroh weisen vor allem Biogas aus organischen Reststoffen und



Gülle sowie die neuen Energiepflanzen (Feuchtgutlinien, Kurzumtriebsholz, Miscanthus) erhebliche Zunahmen auf. Demgegenüber spielen die Ölpflanzen (für Biodiesel) bzw. die Ganzpflanzennutzung von Weizen und Mais (für Bioethanol bzw. Biogas) nur eine relativ geringe Rolle.

4 Zusammenfassung

Trotz restriktiver Vorgaben ist das gesamte nachhaltige Energiepotenzial aus Biomasse mit knapp 2.000 PJ ein bedeutender Baustein für die Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland und den nationalen Klimaschutz. Auf den nur beschränkt zur Verfügung stehenden Anbauflächen sollten daher vorrangig die „nachhaltigsten“ Bioenergieträger zum Einsatz kommen, wofür dringend geeignete Anreize zu schaffen wären. Die Flächenerträge unter Einrechnung der Lebenswege (inkl. Dünger) und die Naturschutzaspekte von

Feuchtgutlinien und Kurzumtriebsholz sind erheblich günstiger als z. B. die von Raps oder Mais-Ganzpflanzen.

Bei der Verwendung sind die Restbiomassen i. d. R. ökologisch und ökonomisch günstiger im stationären Bereich (Strom- und Wärmebereitstellung) einsetzbar, erst nach 2010 könnten auch Reststroh (zu Bioethanol) und Restholz (zu BtL [= Biomass-to-Liquid]) effizient für die Produktion von Biokraftstoffen der zweiten Generation verwendet werden. Bei den Anbaubiomassen wird Biogas aus Feuchtgutlinien primär in dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt, während mehrjährige Energiepflanzen vorrangig über BtL als Biokraftstoff dienen.

Die Arbeiten zum Stoffstrom-Projekt werden durch Aktualisierungen der Szenario-Annahmen und Ergänzungen zur Technologiebasis bis 2007 fortgeführt.

5 Literatur

FRITSCH, U. R., DEHOUST, G. & JENSEIT, W. (2004): Stoffstromanalyse der nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. - Verbundprojekt gefördert vom BMU im Rahmen der ZIP, Endbericht, Bonn, 294 S.

NITSCH, J., GAERTNER, S. & BARTHEL, C. (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. - Endbericht, 1. Aufl., Stuttgart/Heidelberg/Wuppertal, 285 S.

Anschrift der Verfasserin:

Kirsten Wiegmann
Bereich Energie & Klimaschutz
Öko-Institut e.V., Büro Darmstadt
Rheinstraße 95
64293 Darmstadt
E-Mail: k.wiegmann@oeko.de

Hermann Hötter, Heike Jeromin & Kai-Michael Thomsen

Räumliche Dimensionen der Windenergie und Auswirkungen aus naturschutzfachlicher Sicht am Beispiel der Vögel und Fledermäuse – eine Literaturstudie

1 Einleitung

Der weitere Ausbau regenerativer Energiegewinnung zum Klimaschutz ist erklärtes Ziel der Regierung der Bundesrepublik Deutschland (BMU 2004). Deutschland nimmt hinsichtlich der Nutzung der Windkraft eine Spitzenstellung ein, gefolgt von den USA. Vor allem dort, aber auch in Europa, wurden jedoch bereits frühzeitig Befürchtungen laut, die Windkraftanlagen (WKA) könnten sich schädlich auf die Tierwelt auswirken. In den USA wurden diese Vermutungen vor allem im ersten großen Windpark am Altamont Pass in Kalifornien bestätigt, in dessen ca. 5.000 WKA jährlich Hunderte von Greifvögeln zu Tode kommen (ORLOFF & FLANNERY 1992, SMALLWOOD & THELANDER 2004). Im Gegensatz zu den USA standen in Europa eher die indirekten Auswirkungen von WKA auf Vögel in der Diskussion: Scheuchwirkung, Habitatverlust zur Brut- und Zugzeit, Barrierewirkung für ziehende Vögel (CROCKFORD 1992, WINKELMAN 1992, AG Eingriffsregelung 1996, PERCIVAL 2000, SCHREIBER 2000, LANGSTON & PULLIAN 2003, REICHENBACH 2003). Kollisionen von Vögeln mit WKA spielten allerdings auch in Spanien eine große Rolle, wo vor allem Gänsegeier in erheblichem Maße betroffen waren (SEO 1995, LEKUONA 2001). Mittlerweile werden auch in Deutschland Greifvogelverluste an WKA stärker beachtet (DÜRR 2004). Auch Fledermäuse können betroffen sein (KEELEY et al. 2001, DÜRR & BACH 2004).

Trotz zahlreicher Studien ist jedoch das Ausmaß der ökologischen Auswirkungen von WKA umstritten. In einer vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) finanzierten und vom Michael-Otto-Institut im NABU durchgeführten Studie wurden die bisher verfügbaren Ergebnisse zusammengestellt und ausgewertet. Damit sollte versucht werden, die große Fülle der Beobachtungen und Daten zum Thema zu nutzen, um Fragen zu beantworten, die mit Einzeluntersuchungen kaum zu klären waren. Diese Publikation fasst die wichtigsten Ergebnisse der als BfN-Skript (HÖTKER et al. 2005) und auf der Homepage des NABU (www.NABU.de) veröffentlichten Studie zusammen.

2 Material und Methode

Für die Studie wurden über 450 Literaturstellen ausgewertet, die auf 127 verschiedenen Untersuchungen basierten, vor allem aus Deutschland (75 Studien), gefolgt von den USA (27), Spanien (10), Großbritannien (6), Niederlande (5), Belgien (4) und Australien, Dänemark, Frankreich sowie Österreich (je 2).

Die Studien unterschieden sich erheblich hinsichtlich des Untersuchungsansatzes und -umfangs. In nur acht Fällen sah der Untersuchungsplan Datenaufnahmen vor der Errichtung der WKA und auf unbeeinflussten Kontrollflächen vor – die Voraussetzung zum wissenschaftlichen Nachweis von Auswirkungen der Windkraft. Die meisten Studien waren kurz und enthielten keine Kontrollen. Da sich viele Publikationen auf jeweils mehrere Vogel- bzw. Fledermausarten bezogen und mehrere Parameter zur Beurteilung herangezogen wurden, ergaben sich insgesamt 1.789 Datensätze, die unabhängig vom Umfang der zugrunde liegenden Untersuchungen verwendet wurden. Damit konnte erreicht werden, dass die Zahl der verwendbaren Fälle groß war und die Ergebnisse deshalb nicht von den Daten einzelner, vielleicht nicht typischer, aber gut untersuchter Windparks abhingen.

3 Ergebnisse

3.1 Störungen und Verdrängungen von Vögeln durch WKA

Für die Frage, ob WKA die Bestände von Vögeln beeinflussen, standen nur wenige Studien mit Vorher-Nachher-Vergleich zur Verfügung. Deshalb wurden auch die Untersuchungen herangezogen, die die Vogelbestände auf einem in Betrieb befindlichen Windpark mit den Beständen gleichartiger Flächen in der näheren Umgebung verglichen. Für die Auswertung wurde lediglich berücksichtigt, ob die WKA einen positiven oder negativen Effekt ausübten. Als negative Effekte wurden gewertet: Bestandsrückgänge nach dem Bau der WKA, verminderte Bestände im Windpark oder dessen unmittelbarer Umgebung im Vergleich zu Kontrollflä-

chen. Als positive Effekte galten Bestandszunahmen nach dem Bau der WKA bzw. erhöhte Bestände im Bereich der WKA. Waren keine Bestandsunterschiede erkennbar, wurde der Effekt als „positiv“ gewertet. Es sollte so verhindert werden, fälschlicherweise negative Effekte aufzuzeigen.

Für 40 Arten lagen ausreichend viele Daten zur Anwendung von Vorzeichentests vor (Tab. 1). Zur Brutzeit konnte für keine Vogelart eine signifikante, negative Auswirkung von WKA auf die Bestände nachgewiesen werden. Lediglich die untersuchten Wat- und Hühnervögel zeigten überwiegend geringere Bestände in Zusammenhang mit WKA. Zwei im Schilf brütende Vogelarten zeigten sogar signifikant häufiger positive bzw. neutrale Reaktionen gegenüber WKA als negative.

Außerhalb der Brutzeit dominierten die negativen Auswirkungen der WKA. Für Gänse (Bless-, Saat-, Grau- und Nonnengänse), Pfeifenten, Kiebitze und Goldregenpfeifer ergaben sich jeweils statistisch gesichert mehr negative als positive Effekte. Eine Ausnahme war der Star, für den das Umgekehrte galt.

Für insgesamt 28 Arten werden in Tab. 2 Mediane und Mittelwerte der Minimalentfernungen dargestellt, die die Vögel zu Windkraftanlagen einhielten bzw. bis zu denen Störungen messbar waren. Tendenziell herrschten während der Brutzeit geringere Meidungsabstände vor als außerhalb der Brutzeit. Lediglich einige Watvogelarten mieden offensichtlich zu allen Zeiten die Nähe von Windkraftanlagen. Vögel der offenen Landschaft, also Gänse, Enten und Watvögel hielten im Allgemeinen Abstände von mehreren Hundert Metern zu WKA ein (Abb. 1).

Um der Frage nach einer möglichen Gewöhnung (im umgangssprachlichen Sinne) von Vögeln an WKA nachzugehen, wurden die elf Studien, die Daten aus mindestens zwei Jahren nach der Errichtung der WKA enthielten, ausgewertet. Da pro Studie oft mehrere Arten betrachtet wurden, ergaben sich daraus 122 Datensätze. Es wurden die Fälle gezählt, die auf eine Gewöhnung hindeuteten (Annäherung an die WKA nach einigen Jahren;

Tab. 1: Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Vogelbestände, Anzahlen positiver und negativer Effekte (Details siehe Text). Auswertung von Literaturstellen. Letzte Spalte: Ergebnisse von Vorzeichentests, ns: nicht signifikant. Grau hinterlegte Zeilen: negative Effekte überwiegen.

Art		Positive Effekte	Negative Effekte	Stat. Sign.
Brutzeit				
Stockente	<i>Anas platyrhynchos</i>	6	5	ns
Mäusebussard	<i>Buteo buteo</i>	3	3	ns
Rebhuhn	<i>Perdix perdix</i>	4	5	ns
Wachtel	<i>Coturnix coturnix</i>	1	5	ns
Uferschnepfe	<i>Limosa limosa</i>	5	6	ns
Rotschenkel	<i>Tringa totanus</i>	2	9	ns
Austernfischer	<i>Haematopus ostralegus</i>	6	7	ns
Kiebitz	<i>Vanellus vanellus</i>	11	18	ns
Feldlerche	<i>Alauda arvensis</i>	15	15	ns
Wiesenpiper	<i>Anthus pratensis</i>	15	7	ns
Schafstelze	<i>Motacilla flava</i>	7	3	ns
Bachstelze	<i>Motacilla alba</i>	4	4	ns
Braunkehlchen	<i>Saxicola rubetra</i>	2	6	ns
Schwarzkehlchen	<i>Saxicola torquata</i>	5	1	ns
Amsel	<i>Turdus merula</i>	5	4	ns
Zaunkönig	<i>Troglodytes troglodytes</i>	5	1	ns
Fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>	4	2	ns
Zilpzalp	<i>Phylloscopus collybita</i>	4	2	ns
Schilfrohrsänger	<i>Acrocephalus schoenobaenus</i>	8	0	0,05
Teichfrohrsänger	<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	6	1	ns
Sumpfrohrsänger	<i>Acrocephalus palustris</i>	6	4	ns
Dorngrasmücke	<i>Sylvia communis</i>	8	4	ns
Blaumeise	<i>Parus caeruleus</i>	4	3	ns
Goldammer	<i>Emberiza citrinella</i>	4	5	ns
Rohrhammer	<i>Emberiza schoeniclus</i>	10	2	0,05
Hänfling	<i>Carduelis cannabina</i>	2	6	ns
Aaskräh	<i>Corvus corone</i>	6	2	ns
Amsel	<i>Turdus merula</i>	5	4	ns
Außerhalb der Brutzeit				
Graureiher	<i>Ardea cinerea</i>	5	1	ns
Pfeifente	<i>Anas penelope</i>	0	9	0,01
Stockente	<i>Anas platyrhynchos</i>	3	7	ns
Reiherente	<i>Aythya fuligula</i>	2	6	ns
Rotmilan	<i>Milvus milvus</i>	3	4	ns
Mäusebussard	<i>Buteo buteo</i>	10	10	ns
Turmfalke	<i>Falco tinnunculus</i>	13	7	ns
Großer Brachvogel	<i>Numenius arquata</i>	11	19	ns
Austernfischer	<i>Haematopus ostralegus</i>	4	3	ns
Kiebitz	<i>Vanellus vanellus</i>	12	29	0,05
Goldregenpfeifer	<i>Pluvialis apricaria</i>	8	21	0,05
Sturmmöwe	<i>Larus canus</i>	3	5	ns
Silbermöwe	<i>Larus argentatus</i>	2	4	ns
Lachmöwe	<i>Larus ridibundus</i>	14	5	ns
Ringeltaube	<i>Columba palumbus</i>	1	6	ns
Feldlerche	<i>Alauda arvensis</i>	4	2	ns
Wachholderdrossel	<i>Turdus pilaris</i>	1	5	ns
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>	17	5	0,05
Aaskräh	<i>Corvus corone</i>	12	7	ns
Gänse		1	12	0,01

Bestandserhöhung im Bereich von WKA einige Jahre nach deren Bau), und der Zahl der Fälle gegenübergestellt, die nicht auf eine Gewöhnung schließen ließen. Bezüg-

lich der Brutvögel überwogen die Fälle fehlender Gewöhnung (46 gegenüber 38), bei den Rastvögeln war es umgekehrt (13 gegenüber 25). Keines der Ergebnisse

weicht jedoch statistisch signifikant von einer Gleichverteilung ab, so dass die Gewöhnung an WKA jedenfalls kein weitverbreitetes Phänomen ist.

Tab. 2: Minimalabstände verschiedener Vogelarten zu Windkraftanlagen. Auswertung verschiedener Studien. SD: Standardabweichung.

Art		Anzahl Studien	Median	Mittelwert	SD
Brutzeit					
Stockente	<i>Anas platyrhynchos</i>	8	113	103	56
Uferschnepfe	<i>Limosa limosa</i>	5	300	436	357
Austernfischer	<i>Haematopus ostralegus</i>	8	25	85	113
Kiebitz	<i>Vanellus vanellus</i>	13	100	108	110
Rotschenkel	<i>Tringa totanus</i>	6	188	183	111
Feldlerche	<i>Alauda arvensis</i>	20	100	93	71
Wiesenpieper	<i>Anthus pratensis</i>	9	0	41	53
Schafstelze	<i>Motacilla flava</i>	7	50	89	107
Amsel	<i>Turdus merula</i>	5	100	82	76
Fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>	5	50	42	40
Zilpzalp	<i>Phylloscopus collybita</i>	5	50	42	40
Schilfrohrsänger	<i>Acrocephalus schoenobaenus</i>	7	0	14	24
Teichrohrsänger	<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	11	25	56	70
Sumpfrohrsänger	<i>Acrocephalus palustris</i>	9	25	56	68
Dorngrasmücke	<i>Sylvia communis</i>	9	100	79	65
Rohrhammer	<i>Emberiza schoeniclus</i>	13	25	56	70
Hänfling	<i>Carduelis cannabina</i>	5	125	135	29
Außerhalb der Brutzeit					
Graureiher	<i>Ardea cinerea</i>	6	30	65	97
Pfeifente	<i>Anas penelope</i>	9	300	311	163
Schwäne		8	125	150	139
Gänse		13	300	373	226
Stockente	<i>Anas platyrhynchos</i>	9	200	161	139
Tauchenten		12	213	219	122
Mäusebussard	<i>Buteo buteo</i>	15	25	50	53
Turmfalke	<i>Falco tinnunculus</i>	14	0	26	45
Großer Brachvogel	<i>Numenius arquata</i>	24	190	212	176
Austernfischer	<i>Haematopus ostralegus</i>	6	15	55	81
Kiebitz	<i>Vanellus vanellus</i>	32	135	260	410
Bekassine	<i>Gallinago gallinago</i>	5	300	403	221
Goldregenpfeifer	<i>Pluvialis apricaria</i>	22	135	175	167
Ringeltaube	<i>Columba palumbus</i>	5	100	160	195
Sturmmöwe	<i>Larus canus</i>	6	50	113	151
Lachmöwe	<i>Larus ridibundus</i>	15	0	97	211
Feldlerche	<i>Alauda arvensis</i>	6	0	38	59
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>	16	0	30	54
Aaskrähe	<i>Corvus corone</i>	16	0	53	103

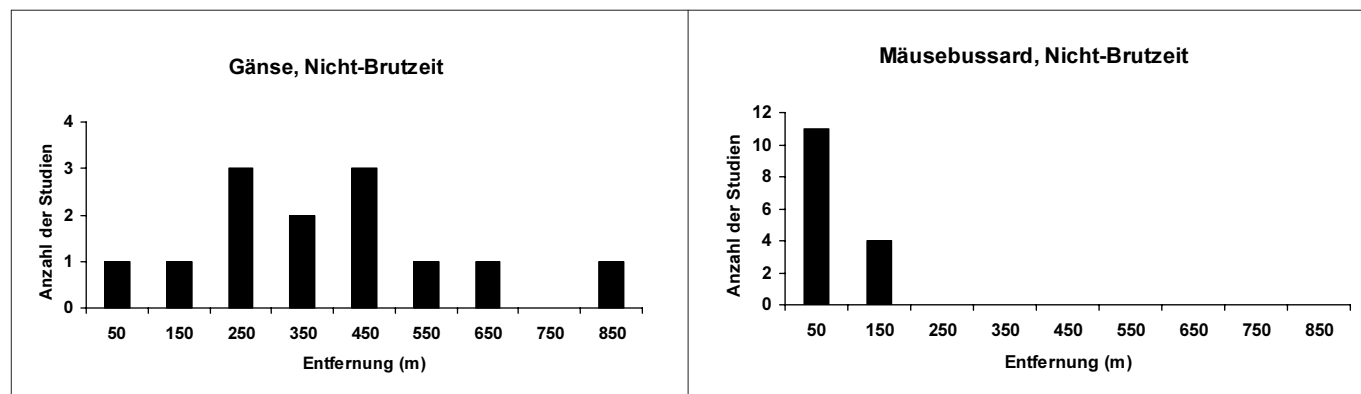


Abb. 1 [Teil 1, Fortsetzung nächste Seite]: Minimalabstände von Brut- bzw. Rastvorkommen verschiedener Vogelarten zu Windkraftanlagen. Angegeben sind jeweils die Anzahl der Studien (Ordinate), bei denen die auf der Abszisse markierte Minimalentfernungen bzw. Wirkungsabstände für die Störung festgestellt wurden.

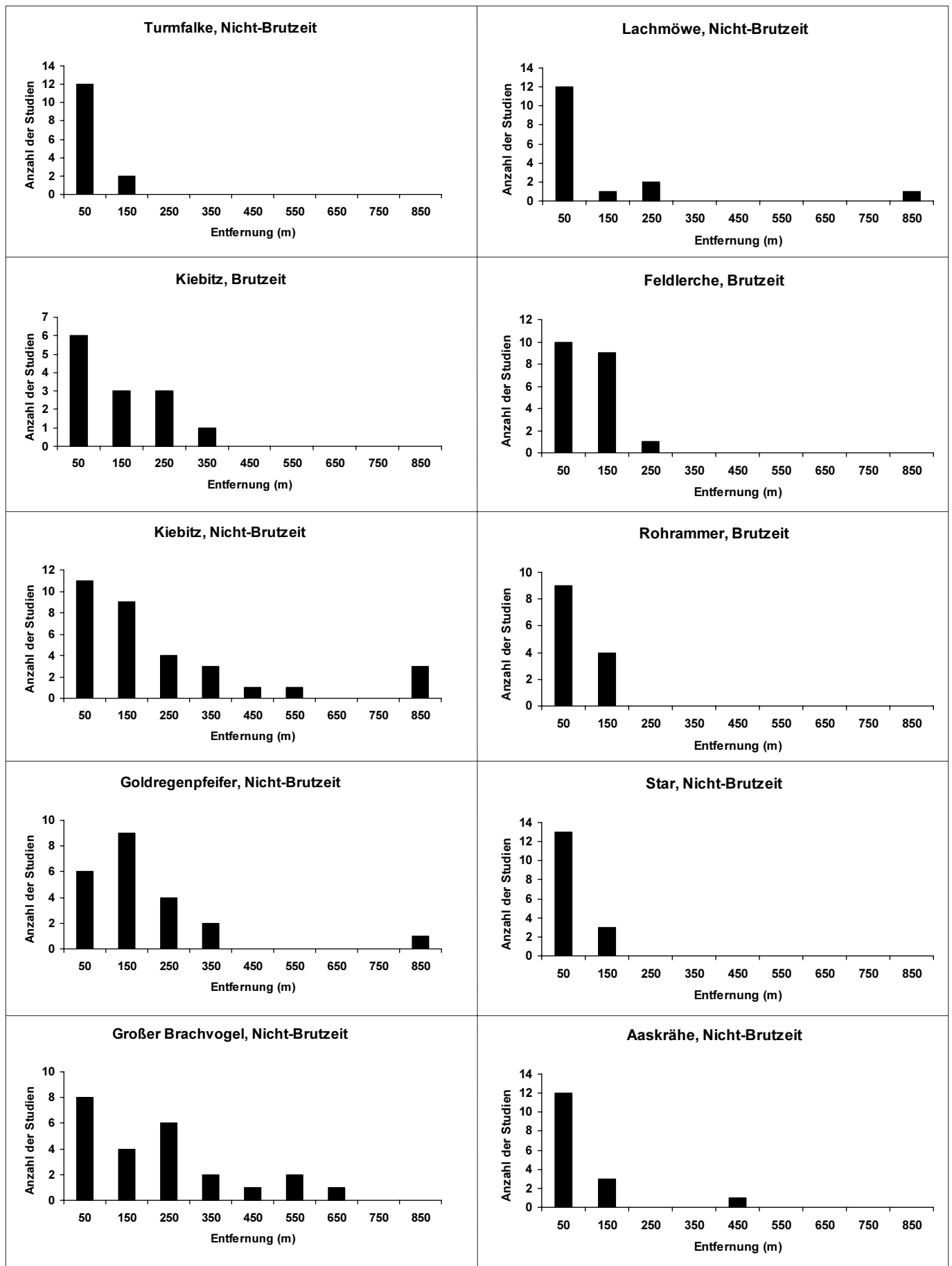


Abb. 1 [Teil 2, ersten Teil siehe vorherige Seite]: Minimalabstände von Brut- bzw. Rastvorkommen verschiedener Vogelarten zu Windkraftanlagen. Angegeben sind jeweils die Anzahl der Studien (Ordinate), bei denen die auf der Abszisse markierte Minimalentfernungen bzw. Wirkungsabstände für die Störung festgestellt wurden.

Für einige Vogelarten konnten die Beziehungen zwischen der Größe der WKA (hier ausgedrückt als Nabenhöhe) und den Minimalabständen berechnet werden (Tab. 3). Bis auf den Kiebitz außerhalb der Brutzeit (Abb. 2) ließ sich keines der Ergebnisse statistisch absichern. Kiebitze außerhalb der Brutzeit reagieren offensichtlich sehr empfindlich auf besonders große WKA. Die in Tab. 3 dargestellten Ergebnisse zeigen in ihrer Gesamtheit ein klares Ergebnis. Für viele Brutvögel wirkten höhere WKA weniger abschreckend als kleinere. Lediglich für Kiebitze und Uferschnepfen zeigte sich eine stärkere Meidung größerer Anlagen. Für die Rastvögel hingegen stiegen mit wenigen Ausnahmen die Minimalabstände mit der Anlagenhöhe.

3.2 Kollisionen mit WKA

Nur relativ wenige Untersuchungen wurden so dauerhaft und systematisch (z. B. unter Beachtung des in den USA üblichen Untersuchungsprotokolls mit u. a. Berücksichtigung der Aktivität von Aasfressern (ANDERSON et al. 1999, MORRISON 2002)) durchgeführt, dass sich eine Kollisionsrate (getötete Vogelindividuen pro Jahr und Turbine) errechnen ließ (Tab. 4). Die Kollisionsraten unterscheiden sich erheblich zwischen den Windparks. Vielerorts gab es kaum Opfer; in anderen Windparks traten Kollisionen mit einer Häufigkeit von mehr als 30 pro Jahr und Turbine auf. Massenkollisionen an einzelnen Turbinen wie sie von Leuchttürmen oder ähnlichen Bauwerken bekannt sind (MANVILLE 2001, UGORETZ 2001), wurden an WKA nicht festgestellt. In knapp der Hälfte der Untersuchungen lagen die Opferraten unter einem Vogel pro Turbine pro Jahr, der Median betrug 1,7 Opfer und im Mittel waren es 8,1 Opfer pro Turbine und Jahr.

Für die Vogelschlagrate war die Lage der WKA bedeutsam. In den USA und Spanien kam es zu vielen Opfern an WKA auf kahlen Gebirgsrücken bzw. an Geländekanten. In Mitteleuropa waren eindeutig WKA an Feuchtgebieten mit besonders hohen Vogelschlagzahlen belastet. Opferzahlen von mehr als zwei Individuen pro WKA und Jahr traten nur an Feuchtgebieten oder Gebirgsrücken auf. Der Einfluss des Lebensraumes (Kategorien Feuchtgebiet, Gebirgsrücken, Sonstiges) auf die Kollisionsraten war statistisch signifikant (Kruskal-Wallis-Test; $\chi^2=7,27$; $df=2$; $p<0,05$). Die Größe der WKA übte einen schwachen, statistisch nicht signifikanten Einfluss auf die Kollisionsrate aus ($y=0,29x$; $r^2=0,08$).

Tab. 3: Zusammenhang von Mindestabständen von Vögeln zu WKA und der Nabenhöhe der WKA. In der Spalte „Achsensteigung“ ist angegeben, um wie viel Meter sich der durchschnittliche Mindestabstand der Art zu WKA verändert, wenn sich die Größe der WKA um einen Meter erhöht. Nur der Zusammenhang für den Kiebitz außerhalb der Brutzeit ist signifikant ($p<0,001$).

Art		n	Achsensteigung
Brutzeit			
Stockente	<i>Anas platyrhynchos</i>	7	0,09
Uferschnepfe	<i>Limosa limosa</i>	5	3,67
Austernfischer	<i>Haematopus ostralegus</i>	8	-2,64
Kiebitz	<i>Vanellus vanellus</i>	12	1,78
Rotschenkel	<i>Tringa totanus</i>	6	-2,64
Feldlerche	<i>Alauda arvensis</i>	19	-1,60
Wiesenpieper	<i>Anthus pratensis</i>	9	-1,17
Schafstelze	<i>Motacilla flava</i>	6	-0,02
Amsel	<i>Turdus merula</i>	4	-1,07
Fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>	5	-0,32
Zilpzalp	<i>Phylloscopus collybita</i>	5	-0,32
Schilfrohrsänger	<i>Acrocephalus schoenobaenus</i>	6	-0,95
Teichfrohrsänger	<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	9	-0,51
Sumpfrohrsänger	<i>Acrocephalus palustris</i>	6	-1,67
Dorngrasmücke	<i>Sylvia communis</i>	8	-1,47
Rohrhammer	<i>Emberiza schoeniclus</i>	12	-3,41
Hänfling	<i>Carduelis cannabina</i>	4	0,66
Außerhalb der Brutzeit			
Graureiher	<i>Ardea cinerea</i>	6	-1,64
Pfeifente	<i>Anas penelope</i>	7	0,41
Gänse	Gänse	6	6,22
Stockente	<i>Anas platyrhynchos</i>	7	0,95
Tauchenten		10	-1,64
Mäusebussard	<i>Buteo buteo</i>	12	1,29
Turmfalke	<i>Falco tinnunculus</i>	10	0,88
Großer Brachvogel	<i>Numenius arquata</i>	19	1,95
Austernfischer	<i>Haematopus ostralegus</i>	6	-2,79
Kiebitz	<i>Vanellus vanellus</i>	25	9,59
Bekassine	<i>Gallinago gallinago</i>	5	-4,55
Goldregenpfeifer	<i>Pluvialis apricaria</i>	15	3,12
Ringeltaube	<i>Columba palumbus</i>	4	1,20
Lachmöwe	<i>Larus ridibundus</i>	12	1,33
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>	9	1,54
Rabenkrähe	<i>Corvus corone</i>	12	1,61

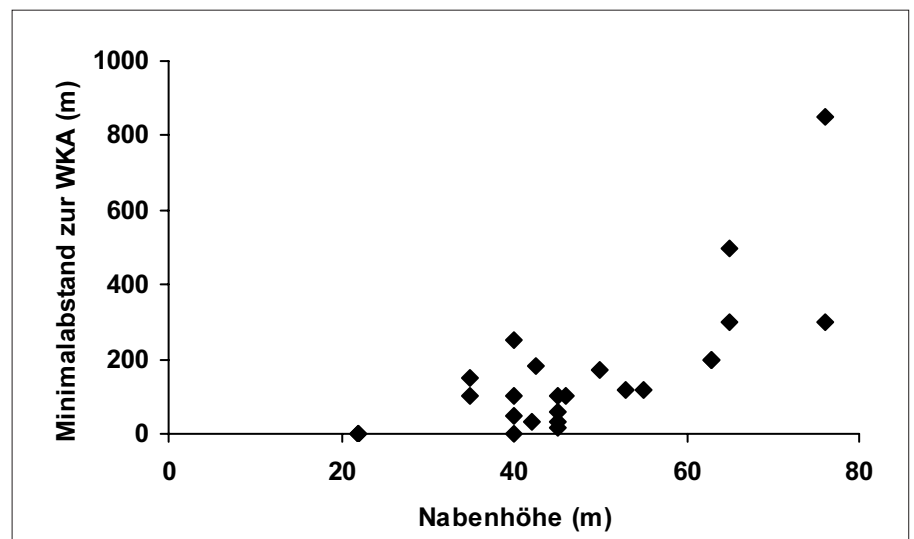


Abb. 2: Zusammenhang von Minimalabständen, die Kiebitze außerhalb der Brutzeit zu WKA einhalten und der Nabenhöhe der WKA. Die Beziehung ist signifikant ($n=24$; $r^2=0,53$; $p<0,001$).

Tab. 4: Kollisionsraten für alle Vögel und Greifvögel (jeweils durchschnittliche Anzahl der Opfer pro Turbine und Jahr) in verschiedenen Windparks.

Land	Windpark	Habitat	Vögel	Greifvögel
Belgien	Oostdam te Zeebrugge	Feuchtgebiet	24	
Belgien	Boudewijnkanaal te Brugge	Feuchtgebiet	35	
Belgien	Elektriciteitscentrale te Schelle	Feuchtgebiet	18	
Dänemark	Tjaereborg	Feuchtgebiet	3	
Deutschland	Bremerhaven-Fischereihafen	Feuchtgebiet	9	
Niederlande	Kreekraak sluice	Feuchtgebiet	3,7	
Niederlande	Oosterbierum	Grünland	1,8	
Niederlande	Urk	Küste	1,7	
Schweden	Näsudden	Grünland	0,7	
Spanien	PESUR, Parque Eólico del Sur und Parque und Parque Eólico de Levantera	Gebirgsrücken	0,36	0,36
Spanien	E3, Energia Eólica del Estrecho	Gebirgsrücken	0,03	0,03
Spanien	Salajones	Gebirgsrücken	21,69	8,33
Spanien	Izco-Albar	Gebirgsrücken	22,63	0,93
Spanien	Alaiz-Echague	Gebirgsrücken	3,56	0,62
Spanien	Guennda	Gebirgsrücken	8,47	0,2
Spanien	El Perdón	Gebirgsrücken	64,26	0,36
Spanien	Tarifa	Gebirgsrücken	0,03	0,03
UK	Bryn Tylli	Moor, Grünland	0	
UK	Burgar Hill, Orkney	Moor, Grünland	0,15	
UK	Haverigg, Cumbria	Moor, Grünland	0	0
UK	Blyth	Feuchtgebiet	1,34	
UK	Ovenden Moor	Moor, Grünland	0,04	0
UK	Cemmaes	Moor, Grünland	0,04	0
USA	Buffalo Ridge	Grünland	0,98	0,012
USA	Foote Creek Rim	Prärie	1,75	0,036
USA	Vansycle	Acker, Grünland	0,63	0
USA	Altamont	Gebirgsrücken	0,87	0,24
USA	Nine Canyon Wind Project	Prärie	3,59	
USA	Green Mt, Searsburg	Gebirgsrücken	0	0
USA	IDWGP, Algona	Gebirgsrücken	0	0
USA	Somerset County	Gebirgsrücken	0	0
USA	San Gorgino	Gebirgsrücken	2,31	
USA	Solano County	Gebirgsrücken	54	
Australien	Tasmania	Küste	1,86	0

Tab. 5: Kollisionsraten für Fledermäuse (jeweils durchschnittliche Anzahl der Opfer pro Turbine und Jahr) in verschiedenen Windparks.

Land	Windpark	Habitat	Kollisionsrate
Spanien	Salajones	Gebirgsrücken	13,36
Spanien	Izco-Albar	Gebirgsrücken	3,09
Spanien	Alaiz-Echague	Gebirgsrücken	0
Spanien	Guennda	Gebirgsrücken	0
Spanien	El Perdón	Gebirgsrücken	0
USA	Buffalo Ridge	Grünland	2,3
USA	Foote Creek Rim	Prärie	1,34
USA	Vansycle	Acker, Grünland	0,4
USA	Altamont	Gebirgsrücken	0,0035
USA	Mautaineer Wind Energy Facility Blackwater Falls	Wald	50
USA	Nine Canyon Wind Project	Prärie	3,21
Australien	Tasmania	Küste	1,86

Die Artenzusammensetzung der Kollisionsoffer hing vom Vorkommen der Arten in der Umgebung ab. In den USA

dominieren in den Windparks auf den Gebirgsrücken Greifvögel. Dies gilt auch für viele spanische Windparks, in denen

vor allem viele Gänsegeier verunglückten. Im mittleren und nördlichen Europa waren viele verschiedene Arten betroffen (DÜRR 2004). In Deutschland sind besonders die Funde von 41 Rotmilanen und 13 Seeadlern (Stand 01.11.2004) bemerkenswert.

Die jährlichen Kollisionsraten der Fledermäuse (Anzahl pro Turbine und Jahr) streuen etwa über die gleiche Bandbreite wie die der Vögel (Tab. 5). Der Median der Opferrate betrug 1,7, und im Mittel waren es 6,3 Opfer pro Turbine und Jahr.

Für die Fledermäuse bestand ein schwacher, statistisch nicht signifikanter Zusammenhang zwischen der Kollisionsrate und der Größe der WKA. Offensichtlich waren Fledermäuse an Waldstandorten besonders stark gefährdet. Ein statistischer Nachweis gelang – wohl auch wegen des geringen Datenmaterials – jedoch nicht (Kruskal-Wallis-Test, $\chi^2=2,57$; $df=1$; nicht signifikant). Es gibt jedoch weitere deutliche Hinweise darauf, dass Fledermäuse durch WKA in der Nähe von Gehölzen stärker gefährdet sind als durch freistehende WKA (BACH 2002, DÜRR 2003).

Alle Untersuchungen zu Fledermauskollisionen, die über einen ausreichend langen Zeitraum hinweg durchgeführt worden sind, zeigen, dass Fledermäuse ganz überwiegend im Spätsommer und Herbst verunglücken, also während ihrer Streif- und Zugphase (KEELEY et al. 2001, DÜRR 2003). Es handelt sich bei den betreffenden Arten zumeist um schnell fliegende und ziehende Arten (DÜRR 2003, JOHNSON et al. 2003). Auch bei den Fledermäusen sind mittlerweile zahlreiche verschiedene Arten als Kollisionsoffer nachgewiesen worden (DÜRR & BACH 2004).

3.3 Repowering

In nächster Zeit werden zahlreiche ältere durch größere, neuere WKA ersetzt werden (Repowering). Um die Auswirkungen dieses Vorgangs auf Vögel und Fledermäuse abzuschätzen, wurden einfache Modellrechnungen anhand von vier verschiedenen Szenarien durchgeführt. Für die Betrachtung der Scheuchwirkung von WKA auf Vögel wurden die Beziehungen zwischen Nabenhöhe der WKA und Minimalabständen (Tab. 3) sowie eine berechnete Beziehung zwischen Leistung der WKA und Nabenhöhe aus allen WKA-Fabrikaten, die in der Studie vorkamen, verwendet. Es konnten so die Bereiche ermittelt und verglichen werden, die von

Vögeln um unterschiedlich leistungsstarke WKA herum nicht mehr genutzt werden konnten. Analog wurden die jährlichen Kollisionszahlen unterschiedlich leistungsstarker WKA (Tab. 4 und 5) behandelt. Ein Repowering wurde positiv bewertet, wenn die durch die WKA gestörte

Fläche bzw. die Anzahlen verunglückter Vögel und Fledermäuse zurückgingen. Tab. 6 und 7 zeigen, dass ein reines Ersetzen kleiner durch großer WKA ohne Steigerung der Leistung des Windparks überwiegend positive Effekte hatte. Wurde die Leistung des Windparks um mehr als das

1,5-fache gesteigert, überwogen die negativen Effekte. Bei diesen Modellrechnungen ist unbedingt zu bedenken, dass sie auf nur sehr wenigen untersuchten Fällen beruhen und dass die zugrunde liegenden mathematischen Beziehungen statistisch nicht gesichert sind.

Tab. 6: Abschätzung der Störwirkungen von Repowering-Anlagen auf Vögel anhand von Modellrechnungen. Positive Auswirkungen bedeuten einen kleineren gestörten Bereich, negative Auswirkungen einen größeren gestörten Bereich nach dem Repowering. Einzelheiten siehe Text.

Szenario		1	2	3	4
Kapazitätserhöhung des Windparks		nein	nein	1,5 x	2,0 x
Austausch von Turbinen		0,15 MW durch 1,5 MW	0,5 MW durch 1,5 MW	0,5 MW durch 1,5 MW	0,5 MW durch 1,5 MW
Art					
Brutzeit					
Stockente	<i>Anas platyrhynchos</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Austernfischer	<i>Haematopus ostralegus</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Kiebitz	<i>Vanellus vanellus</i>	positiv	positiv	negativ	negativ
Uferschnepfe	<i>Limosa limosa</i>	positiv	positiv	positiv	negativ
Rotschenkel	<i>Tringa totanus</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Feldlerche	<i>Alauda arvensis</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Wiesenpieper	<i>Anthus pratensis</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Schafstelze	<i>Motacilla flava</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Amsel	<i>Turdus merula</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Zilpzalp	<i>Phylloscopus collybita</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Schilfrohrsänger	<i>Acrocephalus schoenobaenus</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Teichrohrsänger	<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Sumpfrohrsänger	<i>Acrocephalus palustris</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Dorngrasmücke	<i>Sylvia communis</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Rohrhammer	<i>Emberiza schoeniclus</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Hänfling	<i>Carduelis cannabina</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Außerhalb der Brutzeit					
Graureiher	<i>Ardea cinerea</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Pfeifente	<i>Anas penelope</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Gänse	Gänse	positiv	positiv	negativ	negativ
Stockente	<i>Anas platyrhynchos</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Tauchenten		positiv	positiv	positiv	positiv
Mäusebussard	<i>Buteo buteo</i>	negativ	negativ	negativ	negativ
Turmfalke	<i>Falco tinnunculus</i>	negativ	negativ	negativ	negativ
Großer Brachvogel	<i>Numenius arquata</i>	positiv	positiv	positiv	negativ
Austernfischer	<i>Haematopus ostralegus</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Kiebitz	<i>Vanellus vanellus</i>	negativ	negativ	negativ	negativ
Bekassine	<i>Gallinago gallinago</i>	positiv	positiv	positiv	positiv
Goldregenpfeifer	<i>Pluvialis apricaria</i>	positiv	positiv	negativ	negativ
Ringeltaube	<i>Columba palumbus</i>	positiv	positiv	negativ	negativ
Lachmöwe	<i>Larus ridibundus</i>	negativ	negativ	negativ	negativ
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>	negativ	negativ	negativ	negativ
Rabenkrähe	<i>Corvus corone</i>	negativ	negativ	negativ	negativ

Tab. 7: Abschätzung der Auswirkung von Repowering auf das Kollisionsrisiko von Vögeln und Fledermäusen anhand von Modellrechnungen. Positive Auswirkungen bedeuten eine geringere Kollisionsgefahr, negative Auswirkungen eine größere Kollisionsgefahr nach dem Repowering. Einzelheiten siehe Text.

Szenario	1	2	3	4
Kapazitätserhöhung des Windparks	nein	nein	1,5 x	2,0 x
Austausch von Turbinen	0,15 MW durch 1,5 MW	0,5 MW durch 1,5 MW	0,5 MW durch 1,5 MW	0,5 MW durch 1,5 MW
Vögel	positiv	positiv	positiv	negativ
Fledermäuse	positiv	negativ	negativ	negativ

4 Diskussion

Die Studie zeigt, dass Windkraftanlagen an vielen Stellen relativ geringe Auswirkungen auf Vögel und Fledermäuse haben, dass aber bestimmte Standorte sehr problematisch sind. Dazu zählen wegen der hohen Kollisionsgefahr die Umgebung von Gewässern und kahle Bergrücken mit hohem Greifvogelaufkommen (in Deutschland nicht existent) sowie Waldstandorte (Fledermäuse). Hinzu kommen die Rastgebiete empfindlicher Vogelarten, insbesondere Gänse, Pfeifenten und Watvögel. Für diese Arten(-gruppen) konnten signifikante Rückgänge lokaler Populationen nachgewiesen werden. Die hier aufgeführten Ergebnisse decken sich damit weitgehend mit den Resultaten der umfangreicheren Einzelstudien zum Thema (SCHREIBER 1993, KRUCKENBERG & JAENE 1999, SCHREIBER 1999, REICHENBACH 2003). Für die empfindlichen Arten lässt sich aus Tab. 3 ein Mindestabstand von etwa 500 m ableiten, den WKA zu Rastplätzen einhalten sollten. Bei der Beurteilung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass sie an älteren WKA und nicht an den viel größeren Anlagen der neuesten Generation gewonnen wurden. Zudem sind viele Arten bisher nicht oder kaum untersucht worden. Dies gilt besonders für solche, die in der öffentlichen Diskussion stehen (Störche, Greifvögel, Kranich). Die Liste der gegenüber WKA störepfindlichen Arten ist also keinesfalls abgeschlossen.

Neben der Verdrängung rastender Vögel können WKA auch eine Behinderung für fliegende Vögel bedeuten. Solch eine Barrierewirkung konnte mittlerweile für 81 Vogelarten nachgewiesen werden (HÖTKER et al. 2005). Besonders betroffen waren Gänse, Kraniche, Watvögel und kleine Singvögel. In welchem Maße die betroffenen Arten geschädigt werden (Störung des Zugablaufs, Beeinträchtigung des Energiehaushalts), ist allerdings nicht bekannt.

Vergleicht man die Opferzahlen der einzelnen Arten (DÜRR 2004) mit deren Reaktion auf Windkraftanlagen, lässt sich feststellen, dass die Arten bzw. Artengruppen, die eine geringe Scheu vor den WKA zeigten, eher zu den Opfern zählten als die Arten, die WKA weiträumig mieden bzw. umflogen. So verunglückten Greifvögel, Möwen und Stare relativ häufig, während Gänse und Watvögel vergleichsweise selten unter den Opfern zu finden waren. Eine Ausnahme scheinen die Krähenvögel zu sein, die kaum Scheu vor Windkraftan-

lagen zeigten, aber nur selten verunglückten.

Trotz vieler Untersuchungen bleiben noch deutliche Wissenslücken und dementsprechend ein hoher Forschungsbedarf. Dringend ist es erforderlich zu verstehen, weshalb so viele Rotmilane und Seeadler an WKA verunglücken und welche Gegenmaßnahmen eingeleitet werden müssen. Über die Reaktion vieler seltener Vogelarten (z. B. Schwarzstorch, Wiesenweihe, Kranich, Wachtelkönig) auf WKA ist zu wenig bekannt, um mit der Standortplanung von Windkraftanlagen angemessen reagieren zu können. Schließlich lassen sich bisher keine Voraussagen darüber machen, wie die sehr großen und damit aus Gründen der Flugsicherheit zu beleuchtenden WKA in den nächtlichen Vogelzug eingreifen.

Wirksame Maßnahmen zur Minimierung negativer Auswirkungen von bereits bestehenden WKA auf Vögel und Fledermäuse existieren bisher nicht (SMALLWOOD & THELANDER 2004, HÖTKER et al. 2005). Allenfalls lässt sich die Barrierewirkung von Windparks dadurch verringern, dass die einzelnen WKA parallel und nicht quer zur Hauptflugrichtung der Vögel aufgestellt werden (ISSELBÄCHER & ISSELBÄCHER 2001). Letztlich ist nur die Standortwahl geeignet, Schäden zu minimieren. In diesem Zusammenhang könnte das Repowering eine Chance bieten, ungeeignete Standorte aufzugeben und neue Anlagen an weniger problematischen Standorten zu errichten. Durch eine solche „Flurbereinigung“ der Windkraftnutzung dürfte es möglich sein, eine Reihe von Konflikten zwischen Naturschutz und Windkraftnutzung aus der Welt zu schaffen.

5 Zusammenfassung

Eine Auswertung von 127 Studien mit sehr unterschiedlichem Untersuchungsumfang aus zehn Ländern erbrachte folgende Ergebnisse:

Die Nutzung von Windkraft kann sich auf Vögel und Fledermäuse durch Störungen und Erhöhung der Mortalität auswirken. Es konnte kein statistisch signifikanter Nachweis von erheblichen negativen Auswirkungen von Windkraftanlagen (WKA) auf die Bestände von Brutvögeln erbracht werden. Mit Ausnahme von Kiebitz, Uferschnepfe und Rotschenkel nutzten die meisten Vögel zur Brutzeit auch die unmittelbare Umgebung von WKA. Viele

potenziell empfindliche Arten sind jedoch bisher nicht untersucht worden. WKA übten signifikante, negative Einflüsse auf die lokalen Rastbestände von Gänsen, Pfeifenten, Goldregenpfeifern und Kiebitzen aus. Diese und andere Arten der offenen Landschaft hielten Minimalabstände von mehreren Hundert Metern zu WKA ein. Diese Abstände nahmen in den meisten Fällen mit der Größe der WKA zu. Für den Kiebitz war dieser Zusammenhang statistisch signifikant. Eine generelle Tendenz der „Gewöhnung“ von Vögeln an Windkraftanlagen in den Jahren nach ihrer Errichtung bestand nicht.

Die Kollisionsraten (Zahl der jährlichen Opfer pro Turbine) variierten sowohl bei Vögeln als auch bei Fledermäusen zwischen den Windparks von 0 bis über 30. Besonders kollisionssträchtig für Vögel waren Windparks an Feuchtgebieten und auf kahlen Gebirgsrücken, wo insbesondere in den USA und in Spanien viele Greifvögel verunglückten. Als besonders problematisch erscheinen in Deutschland die seit Erhebungsbeginn 1989 hohen Fundzahlen von Seeadlern (13) und Rotmilanen (41, Stand 01.11.2004). Waldstandorte von WKA waren besonders risikoreich für Fledermäuse.

Nach gegenwärtigem Wissensstand dürften sich durch ein Repowering die negativen Auswirkungen von WKA auf Vögel und Fledermäuse (Störwirkung und Mortalitätsrate) dann eher verringern als verstärken, wenn die Gesamtleistung des Windparks nicht gesteigert wird. Erhöht sich die Leistung eines Windparks aber um mehr als das 1,5-fache, beginnen die negativen Auswirkungen zu überwiegen. Auf die Chance, im Rahmen des Repowering risikoreiche Standorte aufzugeben und durch weniger problematische zu ersetzen, wird hingewiesen. Die richtige Standortwahl ist zurzeit die einzige nachweislich wirksame Maßnahme zur Reduktion negativer Auswirkungen von WKA auf Vögel und Fledermäuse.

Es wird dringender Forschungsbedarf zu folgenden Themen gesehen: Kollisionen von Rotmilanen und Seeadlern mit WKA, Reaktionen bedrohter und seltener Vogelarten auf WKA, nächtlicher Vogelzug und beleuchtete WKA.

Danksagungen

Für die Unterstützung unserer Arbeit danken wir K. Ammermann, Y. André, L. Bach, T. Dürr, K.-M. Exo, B. Hälterlein, F. Igel, H.

Illner, C. Mayr, F. Musiol, H.-U. Rösner, M. Schreiber, A. Ziese und allen Mitgliedern der Projektbegleitenden Arbeitsgruppe zu diesem Projekt.

Literatur

- AG Eingriffsregelung (1996): Empfehlungen zur Berücksichtigung der Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege beim Ausbau der Windenergienutzung. - Natur und Landschaft, **71**, 381-385.
- ANDERSON, R.; MORRISON, M.; SINCLAIR, K. & STRICKLAND, D. (1999): Studying Wind Energy/Bird Interactions: A Guidance Document. Avian Subcommittee and the National Wind Coordinating Committee. - Washington, DC.
- BACH, L. (2002): Auswirkungen von Windenergieanlagen auf das Verhalten von Fledermäusen am Beispiel des Windparks „Hohe Geest“, Midlum. Bericht der Arbeitsgemeinschaft zur Förderung angewandter biologischer Forschung im Auftrag der KW Midlum GmbH & Co. KG. - Freiburg, Niederelbe.
- BMU (2004): Themenpapier Windenergie. - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Art. 2122.
- CROCKFORD, N. J. (1992): A review of the possible impacts of wind farms on birds and other wildlife. - Peterborough, 60 S.
- DÜRR, T. (2003) Windenergieanlagen und Fledermausschutz in Brandenburg - Erfahrungen aus Brandenburg mit Einblick in die bundesweite Fundkartei von Windkraftopfern. In: Kommen die Vögel und Fledermäuse unter die (Wind)räder? - Dresden.
- DÜRR, T. & BACH, L. (2004): Fledermäuse als Schlagopfer von Windenergieanlagen - Stand der Erfahrungen mit Einblick in die bundesweite Fundkartei. - Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz, **7**, 253-263.
- DÜRR, T. (2004): Vögel als Anflugopfer an Windenergieanlagen - ein Einblick in die bundesweite Fundkartei. - Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz, **7**, 221-228.
- HÖTKER, H.; KÖSTER, H. & THOMSEN, K.-M. (2005): Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse. - BfN-Skripten 142, Bad Godesberg.
- ISSELBÄCHER, K. & ISSELBÄCHER, T. (2001): Vogelschutz und Windenergie in Rheinland-Pfalz. - Oppenheim, 183 S.
- JOHNSON, G. D.; ERICKSON, W. P.; STRICKLAND, D. M.; SHEPHERD, M. F.; SHEPHERD, D. A. & SARAPPO, S. A. (2003): Mortality of Bats at a Large-scale Wind Power Development at Buffalo Ridge, Minnesota. - Am. Midl. Nat., **150**, 332-342.
- KEELEY, B.; UGORETZ, S. & STRICKLAND, M. D. (2001): Bat Ecology and Wind Turbine Considerations. In: Proceedings of National Avian - Wind Power Planning Meeting IV, 135-146.
- KRUCKENBERG, H. & JAENE, J. (1999): Zum Einfluss eines Windparks auf die Verteilung weidender Bläßgänse im Rheiderland (Landkreis Leer, Niedersachsen). - Natur und Landschaft, **74**, 420-427.
- LANGSTON, R. W. H. & PULLIAN, J. D. (2003): Wind farms and birds: an analysis of the effects of wind farms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. Report written by BirdLife International on behalf of the Bern Convention. - Sandy.
- LEKUONA, J. M. (2001): Uso del espacio por la avifauna y control de la mortalidad de aves y murciélagos en los parques eólicos de Navarra durante un ciclo anual. - Direccion General de Medio Ambiente, Gobierno de Navarra, Pamplona.
- MANVILLE, A. M. (2001): Communication Towers, Wind Generators, and Research: Avian Conservation Concerns. In: Proceedings of National Avian - Wind Power Planning Meeting IV, 152-159.
- MORRISON, M. (2002): Searcher bias and scavenging rates in bird/wind energy studies. - National Renewable Energy Laboratory NREL/SR-500-30876 (<http://www.nrel.gov/docs/fy02osti/30876.pdf>).
- ORLOFF, S. & FLANNERY, A. (1992): Wind turbine effects on avian activity, habitat use and mortality in Altamont Pass and Solano County wind resources areas 1989-1991. - California Energy Commission, Bio-Systems Analysis, Tiburon, California.
- PERCIVAL, S. M. (2000): Birds and wind turbines in Britain. - British Wildlife, **12**, 8-15.
- REICHENBACH, M. (2003): Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Vögel - Ausmaß und planerische Bewältigung. - Berlin.
- SCHREIBER, M. (1993): Windkraftanlagen und Watvogel-Rastplätze - Störungen und Rastplatzwahl von Brachvogel und Goldregenpfeifer. - Naturschutz und Landschaftsplanung, **25**, 133-139.
- SCHREIBER, M. (1999): Windkraftanlagen als Störungsquelle für Gastvögel am Beispiel von Blessgans (*Anser albifrons*) und Lachmöwe (*Larus ridibundus*). - Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz, **4**, 39-48.
- SCHREIBER, M. (2000): Windkraftanlagen als Störquellen für Gastvögel. In: WINKELBRANDT, A.; BLESS, R.; HERBERT, M.; KRÖGER, K.; MERCK, T.; NETZ-GERTEN, B.; SCHILLER, J.; SCHUBERT, S. & SCHWEPPE-KRAFT, B. (Hg.): Empfehlungen des Bundesamtes für Naturschutz zu naturschutzverträglichen Windkraftanlagen. - Münster.
- SEO (Sociedad Espanola de Ornitologia) (1995): Effects of wind turbine power plants on the Avifauna in the Campo de Gibraltar region. - Sociedad Espanola de Ornitologia SEO.
- SMALLWOOD, K. S. & THELANDER, C. G. (2004): Developing methods to reduce bird mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area. - Final report by BioResource Consultants to the California Energy Commission, 1-363.
- UGORETZ, S. (2001): Avian Mortalities at Tall Structures. In: Proceedings of National Avian Wind Power Planning Meeting IV, 165-166.
- WINKELMAN, J. E. (1992): De invloed van de Sep-proefwindcentrale te Oosterbierum (Fr.) op vogels, 4: verstoring. - RIN-rapport92/5, Arnhem.

Anschrift der Verfasser:

Dr. Hermann Hötker,
Heike Jeromin & Kai-Michael Thomsen
Michael-Otto-Institut im NABU
Goosstroot 1

24861 Bergenhusen

E-Mail: NABU-Inst.Hoetker@t-online.de

Wilhelm Breuer

Anforderungen des Naturschutzes und der Landschaftspflege an den Ausbau der Windenergie

1 Vorbemerkung

Trotz aller Wissenslücken stehen die negativen Auswirkungen von Windenergieanlagen (WEA) auf bestimmte Brut- und Gastvogelarten, Fledermäuse und mehr noch Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft außer Frage. Diese Auswirkungen sind mindestens ebenso belegt wie die Gefährdung des Klimas durch Kohlendioxyd oder der Beitrag der Windenergie zum Klimaschutz.

Mag der Ausbau der Windenergie wie die Nutzung der übrigen erneuerbaren Energien auch ein Beitrag zur nachhaltigen Nutzung sein, die Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege umfassen mehr als das, nämlich auch:

- „Ungestörte Entwicklung“, d. h. sich selbst organisierende Natur möglichst auf großer Fläche. Dieses vornehmste Naturschutzziel ist in Deutschland auf nahezu 100 % der Fläche – die meisten Naturschutzgebiete eingerechnet und unter Berücksichtigung der anthropogenen Nährstoff- und Schadstoffeinträge aus der Luft oder einer möglichen anthropogenen Klimaveränderung – raumdeckend unerreicht.
- „Historische Kulturlandschaft“, d. h. dort, wo sie noch existiert, wenigstens aber in repräsentativen Ausschnitten; an ihrer Stelle keine unhistorische und vor allem keine Unkulturlandschaft.

Die umwelt-, energie- und wirtschaftspolitische Bedeutung der Windenergie wird bis heute kontrovers bewertet. Die Anforderungen des Naturschutzes und der Landschaftspflege an den Ausbau der Windenergie sind hingegen bereits vor zehn Jahren von den für Naturschutz und Landschaftspflege zuständigen Landesämtern und dem Bundesamt für Naturschutz formuliert und veröffentlicht worden und im Grunde bis heute aktuell (Landesanstalten/-ämter und Bundesamt für Naturschutz 1996).

Ziel dieser Anforderungen ist weder eine pauschale Verhinderung noch eine unkritische Förderung des Ausbaus der Windenergie, sondern die Integration der Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege, wie sie für die Nutzung auch anderer Energiequellen und jede Landnutzung erwartet werden sollte.

Es liegt in der Natur der Sache, dass diese Anforderungen landesspezifischen Bedürfnissen entsprechend in den Bundesländern näher ausgestaltet werden müssen, was gerade in Niedersachsen in den vom Niedersächsischen Landkreistag (NLT) formulierten Hinweisen zur Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege sowie zur Durchführung der Umweltprüfung und Umweltverträglichkeitsprüfung bei Standortplanung und Zulassung von Windenergieanlagen (Niedersächsischer Landkreistag 2005¹) geschehen ist.

Der NLT sah sich zu der Erarbeitung dieser Hinweise veranlasst, weil die Niedersächsischen Ministerien im Jahr 2004 die bis dahin existierenden untergesetzlichen Regelungen zum Schutz von Natur und Landschaft bei Standortplanung und Zulassung von Windenergieanlagen aufgeben hatten. Zuvor hatte der Niedersächsische Landtag festgestellt, der Ausbau der Windenergie habe „auf dem Festland einen weitgehenden Sättigungsgrad erreicht“ (Beschluss des Niedersächsischen Landtages – Drucksache 15/670 „Zukunft der Windenergie in Niedersachsen sichern – Konflikte der Windenergienutzung entschärfen“). Zu diesem Zeitpunkt gab es in Niedersachsen weniger als 4.000 WEA. Heute sind es 4.325 Anlagen (Stand 30.06.2005, DEWI 2005). Der NLT hat in die Erarbeitung dieser Hinweise den Sachverstand der Niedersächsischen Fachbehörde für Naturschutz einschließlich der Staatlichen Vogelschutzwarte, die seit dem 01.01.2005 Teil des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) sind, einbezogen.

2 Empfohlene Ausschlussgebiete

Die Anforderungen des Naturschutzes und der Landschaftspflege richten sich außerhalb der Ausschließlichen Wirtschaftszone vor allem an die Landes- und Regionalplanung, denn die Lösung der Probleme bei der Planung von Standorten für WEA erfordert die Koordination verschiedener Raumansprüche und Belange frei von Einzelinteressen und im großräumigen Zusammenhang.

Die Erfahrungen zeigen, dass es der kommunalen Bauleitplanung eher gelingt, die Berücksichtigung und objektive Abwägung aller öffentlichen und privaten Belange sicherzustellen und Konflikte zwischen Windenergiewirtschaft und Naturschutz in befriedigender Weise planerisch zu lösen, wenn eine derartige Regionalplanung beachtet werden muss. Eine solche Regionalplanung muss mehr als nur Naturschutzgebiete vor dem Ausbau bewahren, denn nur ein geringer Teil der aus Naturschutzgründen für die Errichtung von WEA ungeeigneten Gebiete ist bisher naturschutzrechtlich besonders geschützt. Den Bau von WEA sollte die Regionalplanung vielmehr in den Gebieten ausschließen, die eine besondere Bedeutung für die Erhaltung der biologischen Vielfalt sowie naturnaher und kulturhistorisch wertvoller Landschaften haben und in denen WEA deren Funktionen und Werte zerstören würden.

Der NLT hat diese Forderung in einer Liste möglicher Ausschlussgebiete konkretisiert; sie umfasst folgende Gebietskategorien:

2.1 Naturschutzrechtlich besonders geschützte oder entsprechend zu schützende Gebiete

- Naturschutzgebiete²
- Landschaftsschutzgebiete²
- Besonders geschützte Biotope
- Besonders geschütztes Feuchtgrünland
- Nationalparks
- Biosphärenreservate
- Naturparks
- Gebiete des Europäischen ökologischen Netzes Natura 2000, soweit sie zum Schutz von Vogel- oder Fledermausarten erforderlich sind.

1 Das Heft kann kostenlos bezogen werden beim: NLT, Am Mittelfelde 169, 30519 Hannover.

2 Einschließlich solcher Gebiete, die gemäß Landschaftsrahmenplan die Voraussetzung für eine solche Unterschutzstellung erfüllen.

2.2 Festlegungen in Raumordnungsprogrammen

- Vorranggebiete für Natur und Landschaft
- Vorsorgegebiete für Natur und Landschaft
- Vorranggebiete für Grünlandbewirtschaftung, -pflege und -entwicklung
- Vorsorgegebiete für Grünlandbewirtschaftung, -pflege und -entwicklung
- Gebiete zur Verbesserung der Landschaftsstruktur und des Naturhaushaltes
- Vorrang- und Vorsorgegebiete für Erholung.

2.3 Naturschutzfachlich qualifizierte Gebiete, Wald

- Feuchtgebiete internationaler Bedeutung
- Vogelbrutgebiete nationaler, landesweiter, regionaler und lokaler Bedeutung
- Gastvogellebensräume internationaler, nationaler, landesweiter, regionaler und lokaler Bedeutung
- Leitkorridore des Vogelzuges
- Leitkorridore des Fledermauszuges
- Gebiete mit besonderer Bedeutung für den Fledermausschutz
- Landschaftsbildeinheiten mit sehr hoher und hoher Bedeutung
- Waldflächen im Sinne des Landeswaldgesetzes.

Die genannten Gebietskategorien überlagern sich vielfach. Sie sind bei weitem nicht raumdeckend, auch nicht unbestimmt, sondern mehrheitlich bekannt. Eigens zu ermitteln sind lediglich bestimmte naturschutzfachlich qualifizierte Gebiete, die sich aber mit Hilfe der Bewertungsvorgaben der Landesnaturschutzverwaltung, z. B. für avifaunistisch wertvolle Bereiche oder das Landschaftsbild, mit angemessenem Aufwand identifizieren lassen.

Unter Umständen kann es sinnvoll oder erforderlich sein, eine Rangfolge dieser Gebiete zu bilden, zwischen strikten Ausschluss-, Restriktions- oder Vorbehaltsgebieten zu differenzieren. So werden bestimmte Gebietskategorien (z. B. Vorsorgegebiete für Erholung sowie Natur und Landschaft) eher für WEA in Anspruch genommen werden können als Naturschutz- oder Landschaftsschutzgebiete.

Insoweit ist diese Liste keine Liste strikter Ausschlussgebiete, sondern die legitime und gebotene Nominierung von Gebietskategorien, deren Inanspruchnahme für

die Windenergiewirtschaft nicht leichtfertig und ohne Not, sondern nur nach sorgfältiger Abwägung in der Regional- oder Flächennutzungsplanung beschlossen werden sollte.

3 Empfohlene Abstände

Das Freihalten dieser Gebiete allein genügt in vielen Fällen nicht. WEA müssen zu bestimmten Gebieten oder Artenvorkommen, die geschützt werden sollen, auch Abstände halten, um eine Zerstörung oder erhebliche Beeinträchtigung auszuschließen oder die Beeinträchtigungen zumindest zu beschränken. Die erforderlichen Abstände werden – wie die Gebiete selbst – zweckmäßigerweise in der Regionalplanung festgelegt.

Der NLT empfiehlt folgende Abstände:

3.1 Allgemeine Abstände

- 1.000 m
- Naturschutzgebiete²
 - Landschaftsschutzgebiete²
 - Nationalparks
 - Biosphärenreservate
 - Gebiete des Europäischen ökologischen Netzes Natura 2000, soweit sie zum Schutz von Vogelarten erforderlich sind
 - Feuchtgebiete internationaler Bedeutung
 - Vorranggebiete für Natur und Landschaft
 - Vorranggebiete für Erholung
 - Gastvogellebensräume internationaler Bedeutung.

- 500 m
- Gebiete des Europäischen ökologischen Netzes Natura 2000, soweit sie zum Schutz von Fledermausarten erforderlich sind
 - Vorranggebiete für Grünlandbewirtschaftung, -pflege und -entwicklung
 - Vogelbrutgebiete nationaler, landesweiter, regionaler und lokaler Bedeutung
 - Gastvogellebensräume nationaler, landesweiter, regionaler und lokaler Bedeutung.

- 200 m
- Waldflächen im Sinne des Landeswaldgesetzes.

3.2 Spezifische Abstände Brutvögel

- 3.000 m
- Brutplätze von fünf besonders störungsempfindlichen oder kollisions-

gefährdeten, zumeist sehr seltenen Vogelarten: Seeadler, Kornweihe, Wiesenweihe, Uhu, Sumpfohreule.

1.000 m

- Brutplätze von 14 besonders störungsempfindlichen oder kollisionsgefährdeten, zumeist sehr seltenen Vogelarten: Rohrdommel, Zwergdommel, Schwarzstorch, Weißstorch, Schwarzmilan, Rotmilan, Rohrweihe, Fischadler, Baumfalke, Wanderfalke, Birkhuhn, Wachtelkönig, Kranich, Goldregenpfeifer
- Brutkolonien von Kormoran, Graureiher, Möwen und Seeschwalben.

Für die meisten dieser Arten wird zusätzlich das Freihalten der Nahrungshabitate in einem artspezifisch unterschiedlich weitem Umkreis der Brutplätze (2.000 m bis 12.500 m) sowie der Flugwege dorthin empfohlen.

3.3 Spezifische Abstände Gastvögel

Neben dem generellen Abstand von 1.000 m zu international bedeutenden Rast- und Überwinterungsplätzen sollen die Interaktionskorridore zwischen den verschiedenen Habitaten freigehalten werden (z. B. Verbindungen zwischen Nahrungs- und Schlafplätzen). Dies betrifft Singschwan, Zwergschwan, Kranich, Goldregenpfeifer, Kiebitz sowie alle Gänsearten.

3.4 Spezifische Abstände Fledermäuse

- 500 m
- Fledermauswochenstuben oder Balzquartiere der Arten Großer und Kleiner Abendsegler, Zweifarbfledermaus, Rauhautfledermaus
 - Winterquartiere der Arten Großer und Kleiner Abendsegler
 - Zugkorridore der Fledermäuse.

- 200 m
- wichtige Fledermausjagdgebiete eingriffssensibler Arten der Offenlandschaft (Breitflügelfledermaus, Großer und Kleiner Abendsegler, Zweifarbfledermaus, Rauhautfledermaus, Großes Mausohr)
 - wichtige Fledermausjagdgebiete eingriffssensibler über dem Kronendach des Laubwaldes jagender Arten (Großer und Kleiner Abendsegler, Zweifarbf-, Bechstein-, Mops- und Fransenfledermaus)

² Einschließlich solcher Gebiete, die gemäß Landschaftsrahmenplan die Voraussetzung für eine solche Unterschutzstellung erfüllen.

- intensiv genutzte Flugstraßen der ein-griffssensiblen Arten Großer und Kleiner Abendsegler, Zweifarb- und Breit-flüglfledermaus.

3.5 Spezifische Abstände Landschaftsbild

Die zum Schutz des Landschaftsbildes erforderlichen Abstände sollen im Einzelfall anhand nachvollziehbarer Kriterien wie Schutzwürdigkeit der Gebiete und Schwere der Auswirkungen festgelegt werden. Im Einzelfall kann der zu Landschaftsschutzgebieten empfohlene Abstand von 1.000 m zu gering sein. Zum Beispiel wurden im Regionalen Raumordnungsprogramm für den Großraum Braunschweig Abstände zum Nationalpark Harz von 10.000 m und zum Naturpark Elm-Lappwald von 5.000 m festgelegt.

Die genannten Abstandsempfehlungen basieren auf denen des Bundesamtes für Naturschutz oder Regelungen anderer Bundesländer, die bezogen auf die Bedingungen in Niedersachsen oder aktuelle

Erkenntnisse modifiziert oder ergänzt wurden.

Die empfohlenen Abstände können unterschritten werden, wenn innerhalb der empfohlenen Abstände bereits störende bauliche Anlagen bestehen und die WEA nicht zu einer zusätzlichen Beeinträchtigung der Gebiete führen.

Im Übrigen gilt für die Abstandsempfehlungen, was schon für die Gebiete selbst gilt: Abweichungen sind möglich, wenn nur so eine geordnete Windenergienutzung gewährleistet werden kann.

Fehlt eine entsprechende Regionalplanung, wenden sich die Ausschluss- und Abstandsempfehlungen gleichermaßen an die Bauleitplanung.

Vergleichbare Anforderungen richten sich an die Planung und Zulassung von Offshore-Anlagen (hierzu treffen die NLT-Hinweise allerdings keine Aussagen). Es wird gerade bei der Ausweitung der Windenergiewirtschaft auf den Offshore-Bereich darauf ankommen, neue Fehlentscheidun-

gen zu vermeiden. Zwar soll die Windenergie auf See stufenweise und unter kontrollierten Bedingungen ausgebaut werden. Allerdings dürfte die Windenergie gerade auf See ein solches Durchsetzungsvermögen entwickeln (wirtschaftliche Gewinne verbunden mit umweltpolitischen Effekten ohne direkte negative Auswirkungen auf die Bevölkerung), dass es im Konfliktfall nicht leicht sein wird, diese Bedingungen einzuhalten.

4 Exkurs: Bedeutende Vogellebensräume

Die NLT-Hinweise empfehlen der Regional- und Bauleitplanung, die nach den Vorgaben der niedersächsischen Landesnaturschutzverwaltung (WILMS et al. 1997, BURDORF et al. 1997) als bedeutend eingestuft oder einzustufenden Vogel-lebensräume generell nicht für die Interessen der Windenergiewirtschaft in Anspruch zu nehmen – aus folgenden Gründen:



Windenergieanlagen sind in bestimmten Gebieten nicht nur ein Problem für Vögel, Fledermäuse oder den Naturhaushalt. Es gehen von Windenergieanlagen wegen ihrer Größe, Gestalt, Rotorbewegung und -reflexe auch großräumige Wirkungen aus, die das Erscheinungsbild einer Landschaft verändern und ihr bei großer Anzahl und Verdichtung den Charakter einer Industrielandschaft geben können. Die bauhöhenbedingte Dominanz wird aufgrund der Bevorzugung von Offenlandschaften und exponierten Standorten noch verstärkt. Die Geräuscentwicklung der Anlagen stellt zumindest innerhalb von Bereichen mit besonderer Bedeutung für die Erholung ein zusätzliches Problem dar. (Foto: Peter G. Schader)

4.1 Mangelnde Erkenntnisse

Bis auf weiteres lässt sich für viele Vogelarten nicht sagen, ob und wenn ja, wie empfindlich sie auf WEA reagieren. Nur so viel ist sicher: Das Ausmaß der Auswirkungen ist von Vogelart zu Vogelart unterschiedlich und hängt darüber hinaus von einer Reihe zusätzlicher Faktoren wie Jahreszeit, Aktivität, Nahrungsangebot, Flächennutzung, Witterung, Anzahl der Vogelindividuen und der Größe der Anlagen ab. Es ist sehr schwierig, alle diese Variablen in Untersuchungen einzubeziehen und diese von dem Einflussfaktor, den WEA darstellen, zu trennen. Die meisten der bisher durchgeführten Untersuchungen weisen in dieser Hinsicht Mängel auf, so dass die Ergebnisse nicht oder nur bedingt belastbar sind.

Allerdings kann nicht so getan werden, als gäbe es gar keine Hinweise auf massive Auswirkungen. Im Gegenteil: Für eine Reihe von Gast- und Brutvogelarten sind beträchtliche Auswirkungen bekannt.

4.2 NABU-Gutachten

Daran hat auch das so genannte NABU-Gutachten (HÖTKER et al. 2005, vgl. HÖTKER in diesem Heft) nichts Entscheidendes ändern können. Es beruht auf der Auswertung von 127 Einzelstudien, die der Gutachter als „sehr heterogen“ bezeichnet. So unterscheiden sich die Studien bereits hinsichtlich der herangezogenen Parameter, des Untersuchungsdesigns, Art und Umfang der Auswertungsmethoden. Die Spanne reicht von Gelegenheitsbeobachtungen bis zu mehrjährigen Untersuchungen. Zwei Drittel der Studien sind bloße Nachher-Studien; die Situation vor Errichtung der Anlagen ist unbekannt. Untersuchungen von Vergleichsgebieten fanden nur in der Minderzahl der Fälle statt. Eine Vielzahl von Arten, für welche die NLT-Hinweise spezifische Abstände empfehlen, sind in den ausgewerteten Studien gar nicht untersucht worden.

Weitere Einschränkungen, unter denen das NABU-Gutachten zu betrachten ist und die von den Gutachtern selbst gesehen und ausdrücklich herausgestellt worden sind, ließen sich anführen. Der Einfachheit halber sei hier lediglich aus der Zusammenfassung des Berichts der niedersächsischen Staatlichen Vogelschutzwarte vom 31.05.2005 zitiert:

„[Die NLT-Hinweise erweisen sich vor dem Hintergrund des NABU-Gutachtens] als fachlich solide und äußerst fundiert. Da es zu vielen Aspekten über die Auswirkun-

gen von WEA auf Vögel keine abschließenden Erkenntnisse gibt bzw. für bestimmte im Focus stehende Arten keine validen Meidungsabstände existieren, ist auch weiterhin kaum zu prognostizieren, welche Auswirkungen WEA an einem bestimmten Standort haben werden. Die Empfehlungen des NLT und deren Einhaltung sind daher fachlich geboten.“ (Niedersächsische Staatliche Vogelschutzwarte 2005, S. 8).

4.3 Optionen schützen

Regional- und Flächennutzungsplanung ermöglichen es, auch solche Gebiete zu schützen, die sich langfristig für die Wiederherstellung von Natur und Landschaft eignen oder in denen diese Wiederherstellung besonders geboten ist. Wir alle wissen, wie dramatisch die Bestände vieler Offenlandarten abgenommen haben und wie dringend für diese Arten Lebensräume wiederhergestellt oder neu entwickelt werden müssen. Deshalb kann es auch gerechtfertigt sein, solche Gebiete nicht als Vorrangstandorte oder Sondergebiete für Windenergie darzustellen, in denen heute vielleicht nur noch Schafstelze, Braunkehlchen und Neuntöter in großer Dichte leben, in denen aber morgen zweifellos störungsempfindliche Arten wie Großer Brachvogel, Rotschenkel und Kampfläufer wieder Brutvögel sein sollen.

Wer hätte sich vor nur einem Jahrzehnt vorstellen können, dass es in Niedersachsen nach jahrzehntelanger Abwesenheit im Jahre 2005 wieder 24 See- und Fischadlerpaare gibt? Dies war nur möglich, weil noch geeignete Lebensräume für eine Wiederbesiedlung zur Verfügung standen.

5 Exkurs Landschaftsbild

Die Forderung nach Ausschlussgebieten und Abständen zum Schutz von Avifauna und Fledermäusen mag noch akzeptabel erscheinen. Aber gilt das auch für den Schutz des Landschaftsbildes?

Sollten wir die Heimatfilmkulissen der 1950er Jahre nicht bereitwillig aufgeben für „sauberen“ Strom? Ist das Landschaftsbild nicht ohnehin nur Ansichts- oder Geschmackssache? Sind nicht auch WEA schön? Verliert sich der Naturschutz nicht im „ästhetizistischen Ekel gegen Windräder“ wie die Wochenzeitung DIE ZEIT (Nr. 36 vom 01.09.2005) in einer fast ganzseitigen Besprechung des Buchs von Hermann Scheer „Energieautonomie – Der Durchbruch der erneuerbaren Energien“ schrieb? Nein! Der Schutz des Landschaftsbildes

ist gesetzliche Aufgabe, und diese Aufgabe ist vom gleichen Rang wie der Schutz des Naturhaushaltes: Dies ist in der aktuellen, verstärkt ökologisch ausgerichteten Naturschutzstrategie offenbar aus dem Blickfeld geraten, obwohl in einer Vielzahl von Landschaften die Auflösung oder Verfremdung von Typ und Struktur des Landschaftsbildes droht oder schon eingetreten ist. Der Schutz des Landschaftsbildes ist angesichts der Traditionsverschüttungen und Kontinuitätsbrüche wichtiger denn je.

Der Schutz des Landschaftsbildes ist nicht subjektiven Wertmaßstäben unterworfen. Es kommt nicht darauf an, ob ein etwa von WEA verändertes Landschaftsbild nicht auch als schön empfunden werden könnte. Zu schützen ist vielmehr das Eigentliche, das Typische, der spezifische natürliche und kulturhistorische Formenschatz und Gestaltkanon einer Landschaft – das, was eine Landschaft von einer anderen unterscheidet, sie unverwechselbar und auch zur Heimat macht.

Mögen auch viele Menschen die Rotoren am Horizont als eine Bereicherung einer sonst an Höhepunkten armen Küstenlandschaft und auf den Höhenlagen der Mittelgebirge als sichtbares Zeichen für die Versöhnung von Natur und Landschaft ansehen. Es ist und bleibt ein Auftrag des Naturschutzes, das für einen Naturraum typische natürliche oder kulturhistorisch geprägte Erscheinungsbild zu schützen und dies auch unabhängig subjektiver Maßstäbe.

Der „durchschnittliche Betrachter“ von Natur und Landschaft ist zumindest als alleinige Instanz für die Beurteilung dessen, was einer Landschaft zugemutet werden kann, unzuverlässig, weil das Bewusstsein über Naturqualität heute völlig defizitär ist. Hierfür gibt es viele Belege: Wer denkt z. B. bei einem Fluss noch an einen mäandrierenden Verlauf, Auenwälder, Steilufer usw. und nicht vielmehr an ein technisch ausgebautes Gerinne?

Auch geht es im Naturschutz nicht allein um „Gewöhnungseffekte“. Wie viele Menschen haben sich an den Rhein ohne Lachse und den Harz ohne Luchse gewöhnt, und trotzdem sind diese Arten dort das Ziel des Naturschutzes. Dies gilt für die Erhaltung und Wiederherstellung des Erscheinungsbildes bestimmter Landschaften gleichermaßen.

Worauf es dem Naturschutz beim Landschaftsbild ankommt, zeigt die Reihe von Briefmarken der Deutschen Post AG „Bilder aus Deutschland“ aus den 1990er Jah-

ren. Die 18 Werte zeigen keineswegs menschenleere oder unzugängliche Landschaft, aber doch die Norddeutsche Moorlandschaft ohne die Mercedes Teststrecke, die Lüneburger Heide ohne Center-Park, die Eifelmaare ohne Gesteinsabbau, das Erzgebirge ohne WEA.

Natürlich müssen sich im Unterschied zu den wenigen verbliebenen Naturlandschaften Kulturlandschaften unter dem Einfluss des Menschen fortentwickeln dürfen. Eine kulturelle Evolution des Landschaftsbildes soll in der Kulturlandschaft keineswegs vollständig und überall ausgeschlossen werden. Die international uniformen WEA stehen aber nicht in einer uneingeschränkten Kontinuität mit den Burgen am Mittelrhein oder ostfriesischen Leuchttürmen des 19. Jahrhunderts. Sie haben in Material und Maßstäblichkeit

auch nichts mit Windmühlen gemeinsam, sondern sich nahezu von allen natürlichen Voraussetzungen und aus allen standörtlichen Begrenzungen gelöst. Daher sind „historische Kulturlandschaften“, zumal wenn sie „von besonderer Eigenart“ sind (vgl. § 2 Abs. 1 Nr. 14 BNatSchG), kein Standort für WEA, während diese in die schon unhistorischen oder modernen Kulturlandschaften leichter eingefügt werden können.

Geht es bei dem Ausbau der Windenergie um den Klimaschutz, wird man ergänzen müssen, dass das Erscheinungsbild der Landschaft einen größeren Schutz verdient, denn zu einer konsequenten Klimaschutzpolitik würde auch die Beschränkung des internationalen Touristikflugverkehrs gehören, so dass wir unsere Urlaube nicht fortwährend in den entlege-

nen Teilen der Erde, sondern eher in Ostfriesland, im Bayerischen Wald, in der Oberlausitz, im Elbsandsteingebirge und überall vor der Haustür werden realisieren müssen, wenn es so schlecht um das globale Klima steht wie gesagt wird.

Für Vielfalt, Eigenart und Schönheit bedeutende Bereiche können nicht so einfach festgelegt werden wie z. B. bedeutende Vogellebensräume. Gleichwohl ist die Abgrenzung der für das Landschaftsbild wichtigen Bereiche nicht willkürlich oder subjektiv. Vielmehr müssen hierfür bestimmte Kriterien erfüllt sein, um von solchen Gebieten ausgehen zu können. Beispielfhaft sei hier nur auf den drei- bzw. fünfstufigen Kriterienkatalog der niedersächsischen Naturschutzverwaltung hingewiesen (KÖHLER & PREISS 2000):

Bedeutung für das Landschaftsbild sehr hoch/hoch

Bereiche, die weitgehend der naturraumtypischen Eigenart entsprechen und frei sind von störenden Objekten, Geräuschen und Gerüchen, insbesondere Bereiche

- mit einem hohen Anteil natürlich wirkender Biotoptypen,
- mit natürlichem Landschaftsbild prägenden Oberflächenformen,
- in denen naturraumtypische Tierpopulationen noch häufig erlebbar sind,
- mit historischen Kulturlandschaften bzw. historischen Landnutzungsformen,
- mit einem hohen Anteil typischer kulturhistorischer Siedlungs- und Bauformen,
- mit einer hohen Dichte an naturraumtypischen Landschaftselementen.

Bedeutung für das Landschaftsbild mittel

Bereiche, in denen die naturräumliche Eigenart zwar vermindert oder überformt, im Wesentlichen aber noch erkennbar ist. Die Bereiche weisen

- eine deutliche Überprägung durch die menschliche Nutzung auf, natürlich wirkende Biotoptypen sind nur in geringem Umfang vorhanden, die natürliche Eigenentwicklung der Landschaft ist nur noch vereinzelt erlebbar,
- nur noch zum Teil Elemente der naturraumtypischen Kulturlandschaft auf, die intensive Landnutzung hat zu einer fortgeschrittenen Nivellierung der Nutzungsformen geführt,
- eine nur noch in geringem Umfang vorhandene naturraumtypische Vielfalt an Flächennutzungen und Landschaftselementen sowie
- Beeinträchtigungen sonstiger Art (Lärm, Geruch) auf.



„Bilder aus Deutschland“ – diese von Prof. Heinz Schillinger gestalteten Briefmarken aus dem Zeitraum 1993 bis 1997 zeigen, dass die typische Eigenart verschiedener Landschaften auch bei relativ starker Vereinfachung gut erkennbar ist. Was Fachleuten des Naturschutzes schwer fällt, nämlich zu erklären, worauf es beim Landschaftsbild ankommt, wird vom Künstler und beim Betrachten ohne Worte erfasst. Auch das Landschaftsbild wird hier unausgesprochen bewertet: Beeinträchtigungen wie Straßen, Hochspannungsleitungen, Gewerbegebiete, Windparks usw. kommen in solchen idealtypischen Landschaften nicht vor.

Bedeutung für das Landschaftsbild gering/sehr gering

Dies sind Bereiche, deren naturraumtypische Eigenart weitgehend überformt oder zerstört worden ist, insbesondere Bereiche

- mit einem nur noch sehr geringen Anteil oder ohne natürlich wirkende Biotop-typen, der Landschaftscharakter ist durch intensive menschliche Nutzung geprägt,
- in denen sich die historisch gewachsenen Dimensionen und Maßstäbe nicht erhalten haben, die weitgehend von technischen Strukturen dominiert werden,
- mit nur noch geringen Resten oder ohne kulturhistorische Landschaftselemente,
- der dörflichen oder städtischen Siedlungsbereiche ohne regional- oder ortstypische Bauformen,
- in denen naturraumtypische, erlebniswirksame Landschaftselemente nur noch vereinzelt oder nicht mehr vorhanden sind; ausgeräumte, monotone Landschaft,
- mit starken Beeinträchtigungen sonstiger Art (Lärm, Geruch).

6 Sachverhaltsermittlung

Die Pflicht zur Berücksichtigung von Naturschutz und Landschaftspflege löst nicht erst im immissionsschutzrechtlichen Zulassungsverfahren spezifische Untersuchungspflichten aus, sondern schon auf den vorgelagerten Ebenen, auf denen über Vorranggebiete oder Sondergebiete für Windenergie entschieden wird.

Auf der Ebene von Regional- und Flächennutzungsplanung müssen diese Informationen inhaltlich den Anforderungen genügen, die auch an den Landschaftsrahmenplan bzw. Landschaftsplan gestellt werden. Das gilt insbesondere für Informationen über Lage und Ausdehnung von Gebieten mit besonderer Bedeutung für Brut- und Gastvögel, den Vogelzug, Fledermäuse und das Landschaftsbild einschließlich erforderlicher Abstände.

Im Interesse der Planungssicherheit sollten Vorrangstandorte bzw. Sondergebiete für Windenergie nur dargestellt werden, wenn eine besondere Bedeutung dieser Gebiete für den Schutz der Avifauna, von Fledermäusen und des Landschaftsbildes nach den verfügbaren Erkenntnissen ausgeschlossen werden kann.

Artenerrassungen können insoweit auch auf der Ebene der vorbereitenden Bauleitplanung erforderlich sein: Der Schutz bedeutender Lebensräume und Arten so-

wie des Landschaftsbildes ist ein abwägungsrelevanter Belang, der entsprechend zu ermitteln, zu bewerten und in die planerische Abwägung nach § 1 Abs. 7 BauGB einzubeziehen ist.

Für das immissionsschutzrechtliche Zulassungsverfahren werden in der Regel ergänzende Informationen benötigt, insbesondere für die Prognose, Bewertung und Bewältigung der Auswirkungen des Vorhabens auf Natur und Landschaft.

Die erforderlichen Untersuchungen sind in der Regional- und Bauleitplanung Aufgabe des Trägers der Regional- bzw. der Bauleitplanung, im Raumordnungs- und Zulassungsverfahren Aufgabe des Vorhabensträgers. Alle diese Untersuchungspflichten werden längst nicht überall hinreichend erfüllt. Diese Defizite sind Hauptgrund für Fehlentscheidungen und nicht zuletzt für beträchtliche Vollzugsdefizite der Eingriffsregelung.

Die NLT-Hinweise konkretisieren die Anforderungen an Untersuchungen in einem Katalog aus dem je nach den Bedingungen der Planungsebene und des Einzelfalls bis hin zur Anwendung der Eingriffsregelung unter Beteiligung der Naturschutzbehörde ein spezifisches Anforderungsprofil festzulegen ist.

7 Eingriffsregelung

Die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung verlangt im Fall der Zerstörung oder erheblichen Beeinträchtigung von Natur und Landschaft einen Schadensausgleich. Dieser Schadensausgleich bleibt z. T. hinter den gesetzlichen Anforderungen zurück. In der Praxis zeigen sich bei der Zulassung von WEA immer wieder dieselben Mängel (s. BREUER & SÜDBECK 2002), z. B.:

- Der tatsächliche Bedarf an Kompensationsmaßnahmen wird verkannt oder sie sind sowohl nach Art als auch nach Umfang ungeeignet oder die Kompensation ist nicht von Dauer.
- Die Eignung und das „Aufwertungspotenzial“ von Flächen wird überschätzt.
- Die Maßnahmen beschränken sich auf punktuelle oder sonstige geringfügige Habitat- oder Landschaftsbildverbesserungen; sie müssten aber auf großen zusammenhängenden Flächen durchgeführt werden.
- Angaben zum aktuellen und angestrebten Zustand der Kompensationsflächen fehlen oder sind zu unbestimmt.
- Die Kompensationsmaßnahmen werden zwar in den Antragsunterlagen darge-

stellt, tatsächlich stehen die Flächen hierfür aber gar nicht zur Verfügung.

Darüber hinaus stößt die verlangte Naturalkompensation bei WEA rasch auch auf praktische Grenzen. Das gilt insbesondere für die Wiederherstellung von Rastplätzen störungsempfindlicher Gastvogelarten und generell für das Landschaftsbild.

Daher ist es nicht überraschend, dass die Aufwendungen für Reparaturen an Natur und Landschaft in der Windenergie-wirtschaft bezogen auf die Investitionssumme der Bauvorhaben schätzungsweise nur etwa 1 bis 2 % betragen, ohne dass dies auf Standorte mit minderschweren Eingriffsfolgen zurückgeführt werden könnte. Zum Vergleich: Bei den Verkehrsprojekten Deutsche Einheit liegen die Aufwendungen immerhin bei 5 bis 7 %.

Schon aufgrund der oft geringen Erfolge der Eingriffsregelung muss der Schwerpunkt der Bemühungen darin liegen, Gebiete von besonderer Bedeutung für Vögel, Fledermäuse und Landschaftsbild durchgreifend vor der Errichtung von WEA zu schützen. Das kann am ehesten in der Regional- und Flächennutzungsplanung gelingen, weshalb sich die Anforderungen des Naturschutzes vor allem an diese Ebene wenden.

Allerdings bleiben die Hinweise des NLT dort nicht stehen, sondern sie halten auch die landesweit einheitlichen Maßstäbe bereit, welche für die Abschätzung und Bewältigung von Eingriffsfolgen benötigt werden.

Die NLT-Hinweise führen insoweit die Zulassung von WEA an das Niveau der Eingriffsregelung heran, das für die übrigen Eingriffsvorhaben seit längerem ganz überwiegend selbstverständlich ist – nämlich die gute fachliche Praxis.

Zudem sind die NLT-Hinweise eine wichtige Grundlage für die in Niedersachsen in einigen Gebieten gebotene und im Zuge des Repowerings mögliche Neuordnung der Windenergielandschaft, denn es wurden auch solche Standorte für WEA in Anspruch genommen, die sich hierfür aus Vogelschutzgründen nicht eignen.

8 Schlussbemerkung

Die Anforderungen des Naturschutzes und der Landschaftspflege an den Ausbau der Windenergienutzung wenden sich notwendigerweise an die Naturschutzbehörden, die Träger der Regional- und Bauleitplanung sowie die Zulassungsbehörden.

Es sollte erwartet werden können, dass diese Anforderungen von der Wind-

energiwirtschaft unterstützt werden, denn kein anderer Teil der Energiwirtschaft stellt nach außen hin seine Verantwortung für die Umwelt so sehr heraus und möchte seine Interessen mit dieser Verantwortung legitimiert sehen wie diese. Der Leitspruch darf nicht sein „Für den Schutz der Atmosphäre ist uns kein Teil der Biosphäre zu schade“.

9 Literatur

- BREUER, W. & SÜDBECK, P. (2002): Standortplanungen von Windenergieanlagen in Niedersachsen. Anforderungen und Erfahrungen hinsichtlich des Schutzes bedeutender Vogellebensräume. - Fachtagung der TU Berlin vom 29.-30. November 2001. http://www.tu-berlin.de/fb7/ile/f_g_l_b_p/schwarzesbrett/Windkraft_II_1_Breuer.pdf (Stand 24.11.2005), 7 S.
- BURDORF, K.; HECKENROTH, H. & SÜDBECK, P. (1997): Quantitative Kriterien zur Bewertung von Gastvogellebensräumen in Niedersachsen. - Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, **17**, Nr.6, 225-231.
- DEWI Deutsches Windenergieinstitut (2005): DEWI Magazin Nr. 27, August 2005, S. 29.
- HÖTKER, H.; KÖSTER, H. & THOMSEN, K.-M. (2005): Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse. - BfN-Skripten 142, Bonn-Bad Godesberg, 83 S.
- KÖHLER, B. & PREISS, A. (2000): Erfassung und Bewertung des Landschaftsbildes. Grundlagen und Methoden zur Bearbeitung des Schutzguts „Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft“ in der Planung. - Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, **20**, Nr. 1, 1-60.
- Landesanstalten/-ämter und Bundesamt für Naturschutz (1996): Empfehlungen zur Berücksichtigung der Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege beim Ausbau der Windkraftnutzung. - Natur und Landschaft, **71**, H. 9, 381-385.
- Niedersächsischer Landkreistag (2005): Hinweise zur Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege sowie zur Durchführung der Umweltprüfung und Umweltverträglichkeitsprüfung bei Standortplanung und Zulassung von Windenergieanlagen. - Hannover, 30 S.
- Niedersächsische Staatliche Vogelschutzwarte (2005): Fachliche Beurteilung des NABU-Gutachtens in Zusammenhang mit den ornithologisch relevanten Hinweisen zur Standortplanung und Zulassung von Windenergieanlagen des Niedersächsischen Landkreistages. - Unveröff. Bericht vom 31.05.2005, 8 S.
- WILMS, U.; BEHM-BERKELMANN, K. & HECKENROTH, H. (1997): Verfahren zur Bewertung von Vogelbrutgebieten in Niedersachsen. - Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, **17**, Nr. 6, 219-224.

Anschrift des Verfassers:

Wilhelm Breuer
Niedersächsischer Landesbetrieb
für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)
Geschäftsbereich IV Naturschutz
Betriebsstelle Hannover-Hildesheim
Göttinger Chaussee 76
30453 Hannover
E-Mail: wilhelm.breuer@nlwkn-h.niedersachsen.de

Frank Musiol

Räumliche Dimension der Solarenergienutzung und Auswirkungen aus naturschutzfachlicher Sicht

Neue Dimension der Solarenergie durch EEG-Novelle

Mit der Novelle des Erneuerbare Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2004 hat die Nutzung der Photovoltaik eine neue Dimension erreicht. Anlagen, die nicht in Verbindung mit baulichen Anlagen, sondern auf freien Flächen errichtet werden, waren vorher nur bis zu Leistungen von 100 Kilowatt (kW) zulässig. Nun besteht diese Größenbegrenzung nicht mehr. Der Grund für die Erweiterung des EEG-Geltungsbereiches liegt in der Absicht, die Nachfrage nach Photovoltaikmodulen weiter zu stimulieren, um den Sprung in die Massenfertigung zu schaffen. Geeignete große Freiflächen sind hierfür sehr viel schneller zu finden als entsprechende große und unter verschiedenen Gesichtspunkten geeignete Dachflächen.

Da der Flächenverbrauch zu den größten Umweltproblemen unserer Zeit zählt, war die Freigabe von Freiflächen für die Photovoltaiknutzung – auch unter Umweltverbänden – nicht unumstritten. Das Ergebnis langer Diskussionen hierüber war eine Kompromissformulierung in der EEG-Novelle, die schließlich von fast allen Akteuren mitgetragen wurde. So ist die Errichtung von Solarparks nur auf Flächen, für die ein Bebauungsplan besteht, zulässig. Wird der Bebauungsplan für eine solche Anlage geändert oder neu aufgestellt, so müssen die Flächen entweder stark vorbelastet sein (versiegelte Flächen, Konversionsflächen) oder Ackerland, das gleichzeitig in Grünland umgewidmet wird. Eine Errichtung von Solarparks ist dort, wo heute eine grüne Wiese oder sonstige naturnahe Fläche ist, also nicht möglich.

Zudem sorgen die festgelegten Vergütungshöhen für einen Lenkungseffekt auf gebäudegebundene Anlagen, da dort gewonnener Strom deutlich höher vergütet wird, als wenn er von Freiflächenanlagen stammt.

Relativer Boom – bisherige Entwicklung

Es hat seit der Freigabe der Freiflächen einen Boom für Solarparks gegeben.

Insgesamt sind bis Mitte 2005 gut 90 Anlagen mit einer Gesamtleistung von rund 60 Megawatt (MW) errichtet worden. 50 Anlagen davon befinden sich auf ehemaligen Ackerflächen. Insgesamt wird hierfür eine Fläche von 465 ha genutzt, davon 187 ha ehemaliges Ackerland. Die derzeit größte Einzelanlage umfasst eine Fläche von 77 ha. Das klingt zunächst alles viel, es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass diese Freiflächenanlagen im Jahr 2004 nur rund 12 % der insgesamt in diesem Jahr in Deutschland neu installierten Photovoltaikleistung ausgemacht haben.

Unklare zukünftige Entwicklung

Im Sommer 2005 lagen bundesweit rund 300 weitere Anfragen für die Errichtung von Solarparks vor, die geplante Fläche umfasst etwa 2.600 ha bei einer Gesamtleistung von 650 MW. Es lässt sich aber vermuten, dass nur ein Teil dieser Pläne tatsächlich verwirklicht werden wird. Ab 2006 greift für die Freiflächen-Photovoltaik eine erhöhte Degression nach dem EEG. Anders als bei gebäudegebundenen Anlagen, für die die Vergütung für jeweils neu errichtete Anlagen jährlich um 5 % sinkt, sinkt diese bei Freiflächenanlagen ab 2006 um jährlich 6,5 %. Nach Darstellung der Solarindustrie wird es daher ab 2006 finanziell „eng“ für neue Solarparks, so dass kein weiterer oder gar größerer Boom zu erwarten wäre. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass derzeit die Nachfrage nach Modulen das Angebot übersteigt, was sich in relativ hohen Preisen niederschlägt. Sind erst einmal neue Fertigungskapazitäten geschaffen, ist durchaus ein – ja auch beabsichtigter – Preisrutsch möglich, der dann auch wieder Freiflächenanlagen etwa ab 2007 lukrativ werden lassen könnte.

Auswirkungen aus Naturschutzsicht

Welche Auswirkungen ein Solarpark auf den Naturschutz hat, hängt ganz wesentlich von der gewählten Fläche ab, also davon, was vorher auf der Fläche war und was sich mit der Photovoltaikanlage darauf zukünftig an Natur entwickeln kann.

Zwar sollten vorbelastete Flächen in der Regel bevorzugt werden, sie sind jedoch aus Sicht des Naturschutzes nicht automatisch besser geeignet. So kann sich auf einer Konversionsfläche, die lange Zeit unberührt war, der Naturhaushalt sehr viel positiver entwickelt haben als auf einer intensiv genutzten Ackerfläche. Letztlich ist also immer eine Einzelfallbetrachtung notwendig, ob eine Fläche aus Naturschutzsicht geeignet ist oder nicht. Es besteht auch kein grundsätzlicher Zusammenhang zwischen der Naturverträglichkeit und der Größe der Anlage. Klein ist nicht automatisch fein, könnte man sagen. Allerdings spielt die Größe der Anlage eine wesentliche Rolle, wenn es um die Bewertung der Auswirkungen auf das Landschaftsbild geht.

Kriterien für naturverträgliche Solarparks

Wesentlich für die Naturverträglichkeit der weiteren Entwicklung der Photovoltaik auf Freiflächen sind also sowohl die Standortwahl als auch Ausgestaltung und „Pflege“ der Anlage. Der NABU hat sich daher mit der Unternehmensvereinigung Solarwirtschaft (UVS) über eine Reihe von Kriterien verständigt, die zur naturverträglichen Entwicklung beitragen sollen. Diese werden im Folgenden dokumentiert.

Standortwahl

Ein Eingriff in Schutzgebiete ist auszuschließen. Ausnahmen hiervon sind nur in Naturparks sowie im Einzelfall in Landschaftsschutzgebieten denkbar. Im Rahmen der Aufstellung des Bebauungsplanes ist die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung abzuarbeiten, i. d. R. im Rahmen eines landschaftspflegerischen Fachbeitrags. Befindet sich der Standort in einem IBA (Important Bird Area) bzw. faktischen Vogelschutzgebiet, ist eine Verträglichkeitsprüfung in Anlehnung an die EG-Vogelschutzrichtlinie vorzunehmen.

Es sollen bevorzugt Gebiete mit hoher Vorbelastung und geringer naturschutzfachlicher Bedeutung gewählt werden. Dies können zum Beispiel Flächen mit



Solarpark Hemau (Foto: F. Musiol).

hohem Versiegelungsgrad oder hoher Bodenverdichtung sein. Werden Ackerflächen gewählt, so müssen diese zuvor intensiv bewirtschaftet gewesen sein und im Zuge der Anlagenrealisierung in extensiv bewirtschaftetes Grünland umgewidmet werden.

Die Anlagen sollen keinen landschaftsprägenden Charakter haben, exponierte Standorte auf gut sichtbaren Anhöhen sollen daher gemieden werden.

Ausgestaltung der Anlage

Der Gesamtversiegelungsgrad der Anlage darf inklusive aller Gebäudeteile nicht über 5 % liegen. Eventuell vorgenommene Entsiegelungen können gegengerechnet werden. Unter den Modulen sind extensiver Bewuchs und Pflege vorzusehen, die Aufständigung ist entsprechen zu gestalten. Der Anteil der die Horizontale überdeckenden Modulfläche darf 50 % der Gesamtfläche der Anlage nicht überschreiten.

Die Tiefe der Modulreihen beträgt maximal 5 m. Liegt sie über 3 m, ist innerhalb der Modulreihen ein Regenwasserabfluss mit ortsnaher Versickerung vorzusehen. Standortbezogen kann sich in diesem Zusammenhang die Anlage eines Feuchtbiotops anbieten. Für nachgeführte Anlagen gelten die vorgenannten Einschränkungen nicht.

Wird Holz als Baustoff für die Aufständigungen gewählt, soll vorzugsweise Holz heimischer Arten verwendet werden.

Die Einzäunung der Anlage ist so zu gestalten, dass sie für Kleinsäuger und Amphibien keine Barrierewirkung entfaltet. Dies kann durch einen angemessenen

Bodenabstand des Zaunes oder ausreichende Maschengrößen im bodennahen Bereich gewährleistet werden. Der Einsatz von Stacheldraht ist insbesondere im bodennahen Bereich zu vermeiden.

Außerhalb der Einzäunung der Anlage soll i. d. R. ein mindestens 3 m breiter Grünstreifen mit naturnah gestaltetem Heckenbewuchs vorgesehen werden.

Die Ableitung des Stromes soll nicht mit der Installation neuer Freileitungen verbunden sein.

Betrieb

Die Anlagenfläche wird extensiv mit Schafbeweidung oder Mahd gepflegt. Der Einsatz synthetischer Dünge- und Pflanzenschutzmittel sowie von Gülle ist ausgeschlossen. Auch auf den Einsatz von Chemikalien bei der Pflege von Modulen und Aufständigungen wird verzichtet.

Die Entwicklung des Naturhaushalts auf der Anlagenfläche wird mit einem geeigneten Monitoring regelmäßig dokumentiert. Der vollständige Rückbau der Anlage nach Ablauf der Lebensdauer ist zu gewährleisten.

Öffentlichkeitsbeteiligung

Örtliche Naturschutzverbände sollen bereits in einem frühen Stadium in die Planung einbezogen werden. Ihr Sachverstand kann maßgeblich dazu beitragen, das Projekt naturverträglich zu gestalten und so auch die Akzeptanz zu erhöhen. Über die gesetzlichen Vorgaben hinaus soll zudem die Öffentlichkeit frühzeitig informiert und einbezogen werden. Mit einer

freiwilligen Beteiligung der Öffentlichkeit durch den Investor können der örtlichen Bevölkerung nicht nur Informationen über die Anlage selbst, sondern auch über ihre positive Wirkung für den Klimaschutz und eine nachhaltige Energieversorgung vermittelt werden.

Zur weiteren Akzeptanzsteigerung ist zudem vorzusehen, dass sich die örtliche Bevölkerung am Finanzierungsfonds beteiligen kann.

Zusammenfassung

Bei richtiger Flächenauswahl und Ausgestaltung kann ein Solarpark ein Gewinn für den Naturschutz, d. h. insbesondere die biologische Vielfalt sein. Landschaftsästhetische Aspekte sind hiervon jedoch zu trennen, da diese zu einer völlig anderen Bewertung konkreter Projekte führen können. Die Einhaltung von Mindeststandards kann sowohl Fehlentwicklungen aus Naturschutzsicht als auch einem Akzeptanzverlust vorbeugen. Da die Zukunft der Photovoltaik jedoch insbesondere in der gebäudegebundenen Anwendung liegen muss, müssen parallel zur Entwicklung der Solarparks die Anstrengungen zur Erschließung geeigneter großer Dachflächen wesentlich intensiviert werden.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Frank Musiol
NABU Bundesgeschäftsstelle
Herbert-Rabius-Straße 26
53225 Bonn
E-Mail: frank.musiol@nabu.de

Hans Leicht

Perspektiven für die Nutzung der Solarenergie aus der Sicht des Naturschutzes

1 Einführung

Der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien liegt im Spannungsfeld von zwei zentralen ökologischen Herausforderungen. Die eine ist der Klimaschutz. Hier geht es vor allem darum, weniger fossile Energie zu verbrennen. Die andere Herausforderung liegt in der Minderung des derzeit besorgniserregenden Landschaftsverbrauchs. Letzteres bedeutet, nachhaltig mit der (noch vorhandenen) freien Landschaft umzugehen. In diesem Spannungsbereich befindet sich die Solarstromnutzung aus Anlagen in der freien Landschaft. Im Folgenden werden Perspektiven für eine Nutzung der Solarenergie aus der Sicht des Naturschutzes genannt.

2 Entwicklung der Photovoltaikanlagen

Seit mehr als 15 Jahren wird in Deutschland Strom in Photovoltaikanlagen erzeugt und in das öffentliche Stromnetz eingegeben. Anfang der 1990er Jahre betrug diese Art der Stromerzeugung ca. 1 Megawatt (MW) pro Jahr. Die Anlagen befanden sich in der Regel auf Dächern. Mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 1. April 2000 gab es erstmalig eine kostengerechte Vergütung für den erzeugten Strom. Diese bewirkte eine sehr starke Zunahme von Photovoltaikanlagen zur Stromgewinnung. 2004 wurden in Deutschland ca. 300 MW Strom aus Photovoltaikanlagen erzeugt. Das ist ca. 1 % der jährlich erzeugten Strommenge aus erneuerbarer Energie oder 0,1 % des gesamten deutschen Strombedarfs. Gemessen an der gesamten Stromerzeugung ist der Anteil der Stromerzeugung über Photovoltaikanlagen derzeit gering.

Photovoltaikanlagen, die sich nicht auf oder an Gebäuden, sondern auf Freiflächen befinden, gibt es erst seit fünf Jahren. Deren Anteil an der Gesamtmenge des erzeugten „Photovoltaik-Stroms“ betrug 2004 ca. 15 %. Relativ gesehen hat die Entwicklung der Freiflächenanlagen sprunghaft von 10,7 MW im Jahr 2003 auf 35 MW im Jahr 2004 zugenommen. Die Tendenz ist weiter steigend. Mit Stand September 2005 gab es in Deutschland 94

Freiflächenanlagen, die in Betrieb, im Bau oder im Genehmigungsverfahren waren. Davon befinden sich 53 Anlagen in Bayern (BOSCH & PARTNER 2005). Die überdurchschnittliche Entwicklung in Bayern ist damit zu erklären, dass der Süden Deutschlands eine günstigere „solare“ Strahlungsbilanz aufweist, und dass die Politik diese Entwicklung positiv befördert.

Die ersten Freiflächenanlagen waren relativ klein (unter 1 ha). Häufig war der Grundstücksbesitzer auch der Betreiber. Etliche Besitzer waren Landwirte, die sich als „Solarbauer“ ein zweites Standbein gesucht haben. Seit 2005 zeichnet sich eine Entwicklung zu sehr großen Freiflächenanlagen mit mehr als 50 ha ab. Die größte derzeit in Betrieb befindliche Anlage mit rund 75 ha Ausdehnung ist der Solarpark Gut Erlasee nördlich von Arnstein im Landkreis Würzburg. Solche großen Anlagen werden in der Regel von Investoren gebaut und betrieben. Der größte Teil der vorgenannten 94 Anlagen ist auf ehemaligen Ackerstandorten errichtet, sieben Anlagen befinden sich auf Konversionsflächen (BOSCH & PARTNER 2005).

3 Grundsätze für die Errichtung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen

Im Folgenden geht es um Photovoltaikanlagen in der freien Landschaft. Photovoltaikanlagen auf Dächern und ähnlichem stellen in der Regel kein Problem für den Naturschutz dar. Dieses kann man von Freiflächenanlagen grundsätzlich nicht sagen. Zunächst werden aus der Sicht des Naturschutzes folgende allgemeine Grundsätze für die Errichtung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen genannt:

1) Photovoltaikanlagen werden dort begrüßt, wo nicht „freie Landschaft“ entwertet wird, etwa auf und an Gebäuden, auf Deponien, an Parkplätzen und anderen technischen Einrichtungen (z. B. Lärmschutzwände). Diesen Flächen ist gemeinsam, dass sie im weitesten Sinn „versiegelt“, ökologisch „entwertet“ sind. Solche Standorte stellen theore-

tisch ein großes Potenzial dar. In der Praxis zeigt es sich aber immer wieder, wie schwierig es z. B. ist, eine große Photovoltaikanlage nachträglich auf dem Dach eines Gebäudes zu errichten.

2) Für eine Übergangszeit sind Photovoltaikanlagen in der freien Landschaft mit entsprechenden Auflagen (Leitsätze) tolerierbar. In dieser Übergangszeit kann durch die Errichtung großer Anlagen die Weiterentwicklung der Technik gefördert sowie die Nachfrage und Massenproduktion angeregt werden. Damit könnten einerseits die Stromerstellungskosten gesenkt werden und andererseits könnte die deutsche Solarenergie stärker in andere Länder liefern (Exportschlager). Das ist insofern aus ökologischer Sicht bedeutsam, als gerade in Ländern mit fehlender Stromnetzinfrastruktur und höherer Sonneneinstrahlung die Photovoltaik eine bedeutende – gerade auch ökologische – Zukunft haben kann.

3) Bei der Errichtung von Photovoltaikanlagen in der freien Landschaft sind folgende drei Leitsätze zu beachten (ökologische Standards):

- Richtiger Standort,
- wirksame Umweltprüfung,
- landschaftsgerechte Grünplanung.

4) Zur raschen Anwendung der Leitsätze wird eine freiwillige Vereinbarung zwischen Staat und Betreibern empfohlen. Selbstverpflichtungen der Industrie können vor allem zeitgerechter eine naturverträgliche Entwicklung unterstützen. Da der Solarwirtschaft Umweltethik unterstellt werden darf, sind hier positive Entwicklungen durchaus möglich.

5) Die „solare“ Zukunft wird in Deutschland, das nur wenige freie, durch technische Infrastruktur nicht beeinflusste Landschaften aufweist, bei gebäudeintegrierten Photovoltaikanlagen liegen. Die sinnvolle Berücksichtigung von Solarmodulen schon bei der Gebäudeplanung bringt gestalterische und wirtschaftliche Vorteile. In dieser Richtung ist künftig viel stärker von Industrie und Architekten eine kreative Gestaltung und Konstruktion gefordert.

4 Richtige Standortwahl

4.1 Allgemeines

Aus Naturschutzsicht stellen Photovoltaikanlagen in der freien Landschaft grundsätzlich einen Eingriff in den Naturhaushalt und in das Landschaftsbild dar. Deshalb kommt der Wahl des Standortes die entscheidende Rolle zu. Dadurch können von vornherein nachteilige Auswirkungen auf Natur und Landschaft vermieden bzw. vermindert werden. Eine erste räumliche Steuerung erfolgt mit dem Gesetz zur Neuordnung des Rechtes der Erneuerbaren Energien im Strombereich (EEG Novelle vom 21.07.2004). Gemäß § 11 Abs. 4 EEG wird Strom aus Freiflächenanlagen nur gefördert, wenn diese Anlagen gebaut werden auf

- bereits versiegelten Flächen,
- Konversionsflächen aus wirtschaftlicher oder militärischer Nutzung oder
- Grünflächen, die zum Zeitpunkt des Bebauungsplanbeschlusses als Acker genutzt waren und in Grünlandflächen umgewandelt worden sind.

4.2 Wichtige Prüfgesichtspunkte bei der Standortwahl

§ 11 Abs. 4 EEG zielt auf eine generell begrüßenswerte ökologische Ausrichtung bei der Errichtung eines Standortes für Photovoltaikanlagen ab. Trotz dieser Bestimmung kommt es in der Praxis zu Konflikten mit dem Naturschutz. Deshalb ist eine weitere räumliche Differenzierung dieser Bestimmung des § 11 Abs. 4 wichtig. Aus Naturschutzsicht werden für die Beurteilung eines Standortes nachfolgende Prüfgesichtspunkte genannt. Diese sollten in die Standortvorauswahl – lange bevor ein Genehmigungsverfahren erfolgt – unbedingt mit einfließen. Standorte in Landschaften, auf die folgende Kriterien zutreffen, sollten grundsätzlich nicht weiterverfolgt werden:

- Naturschutzrechtlich geschützte Flächen. Ausnahmen sind z. B. in Naturparks denkbar. Hier ist zu prüfen, inwieweit die Errichtung einer Photovoltaikanlage mit den Zielen des Schutzgebietes zu vereinbaren ist.
- Wertvolle Biotope. Dabei ist zu bedenken, dass es Lebensräume gibt, die nicht sofort als ökologisch wertvoll zu erkennen sind, z. B. Hamsterbiotope, Lebensräume von Wiesenweihen.
- Räume mit besonders wichtigen Funktionen im Naturhaushalt, z. B. Wasser- und Rückhaltegebiete.

- Landschaften von herausragendem Charakter (Eigenart, Schönheit, historische Bedeutsamkeit).
- Landschaften mit besonders großer Wohn- und Erholungsqualität.

5 Wirksame Umweltprüfung

5.1 Gesetzlicher Rahmen

In § 11 Abs. 3 EEG ist die Verknüpfung der Errichtung von Photovoltaikanlagen mit der Bauleitplanung festgelegt. Damit gelten für die Zulassung von Freiflächenanlagen die Grundsätze des Baugesetzbuches. Für die Errichtung einer Freiflächenanlage ist somit in der Regel ein Bebauungsplan aufzustellen und es ist meist zeitgleich der Flächennutzungsplan für den Bereich des Bebauungsplanes zu ändern.

Das Baugesetzbuch sieht in § 2 die grundsätzliche Verpflichtung zur Durchführung einer Umweltprüfung für alle Bauleitpläne vor. Somit erfolgt die Umweltprüfung für eine Photovoltaikanlage im Rahmen der Änderung des Flächennutzungsplanes und der Aufstellung des Bebauungsplanes. Die Bearbeitungstiefe der Umweltprüfung richtet sich dabei nach der jeweiligen Verfahrensebene („Abschichtung“).

5.2 Umweltauswirkungen

Prüfgesichtspunkte im Rahmen der Umweltprüfung sind mögliche Auswirkungen auf

- die Schutzgüter Boden, Wasser, Luft/Klima, Pflanzen/Tiere, Landschaft,

- Mensch (z. B. Lärm, Lufthygiene, Wohnen/Wohnumfeld, landschaftliches Erleben), kulturelles Erbe und sonstige Sachgüter sowie
- deren Wechselwirkungen.

Generell kann mit folgenden Umweltauswirkungen durch die Errichtung und den Betrieb von Photovoltaikanlagen gerechnet werden:

- Versiegelung durch Betriebswege, Gebäude, Fundamente, z. B. für die Solarmodule;
- sonstige Bodenveränderungen (z. B. Bodenverdichtung durch Maschineneinsatz bei der Errichtung);
- Überdeckungsgrad der Solarmodule (z. B. Beschattung, fehlender Regen);
- Blendwirkung durch Reflektion der Sonnenstrahlung;
- Flächenumwandlung (z. B. Wiese auf ehemaligem Acker) – positive Veränderung möglich;
- Nutzung der Vegetation unter/zwischen den Modulen (z. B. extensives Grünland/Beweidung, s. Abb. 1, keine Pflanzenschutzmittel und Dünger) – positive Auswirkungen je nach Ausgangssituation;
- Einsehbarkeit der Anlage (besondere Berücksichtigung des Erholungswertes und der Wohnqualität) – wichtiger Gesichtspunkt;
- Beeinträchtigung der Landschaft/des Landschaftsbildes durch technische Einrichtungen (Module, Stromleitung, Zäunung) – wichtiger Gesichtspunkt;
- negative Auswirkungen auf die Fauna (z. B. durch Täuschungseffekte, wie bei Wasserkäfern) – Wissensdefizit (Monitoring!).



Abb. 1: Extensive Weidenutzung unter den Modulen (Bildnachweis: Alle Photos von Voltwerk AG, „Solarpark Hemau“, Landkreis Regensburg).

Tab. 1 zeigt die allgemein verständliche Zusammenfassung der konkreten Umweltprüfung eines Bebauungsplanes mit Umweltbericht im Rahmen der Errichtung einer Photovoltaikanlage (Gemeinde Estenfeld, Landkreis Würzburg). In dieser sind neben den Umweltauswirkungen die daraus erforderlichen Vermeidungsmaßnahmen und Inhalte des Monitorings genannt. Monitoring muss nicht aufwändig sein. Es dient zunächst dazu, mögliche wesentliche Veränderungen zeitnah festzuhalten.

6 Landschaftsgerechte Grünplanung

Die Planung einer Photovoltaikanlage in der freien Landschaft stellt eine echte Herausforderung dar, wenn diese neue Form einer Landnutzung möglichst landschaftsgerecht gestaltet werden soll. Neben dem richtigen Standort und einer wirksamen Umweltprüfung ist gerade die qualifizierte Ausgestaltung der Photovoltaikanlage ein entscheidender Gesichtspunkt. Von dieser Warte aus wird es als notwendig erachtet, dass der für die Genehmigung erforderliche Bebauungs-

plan zusammen mit einem qualifizierten Grünordnungsplan erstellt wird. Das Ziel des Grünordnungsplanes sollte sein, dass es nach der Errichtung zu *keiner Verschlechterung der ökologischen Gesamtbilanz* und zu *keiner erheblichen Entwertung der Landschaft/des Landschaftsbildes* kommt.

Um dieses Ziel zu erreichen, sollte die Anlage aus grünplanerischer Sicht möglichst optimal gestaltet werden. Möglichkeiten einer guten Gestaltung von Freiflächenanlagen sind:

- Landschaftsgerechte Positionierung und Dimensionierung der einzelnen Anlagenteile (insbesondere bei großen Anlagen) z. B.:
 - Parzellierung wegen Wildwechsel,
 - dem Relief angepasste Anlagenführung,
 - Unterbrechung langer Modulreihen.
- Kompromiss zwischen geringem Gesamtflächenbedarf und vielen Zwischenräumen/Biotopstrukturen (Durchschnittswert 3,7 ha Fläche pro 1 MW Leistung).
- Gliederung der Anlage mit Biotopstrukturen (z. B. Einzelbäume, Hecken, Raine – innere Vernetzung) (vgl. Abb. 2).

- Biotopvernetzung mit der Umgebung (äußere Vernetzung).
- Effektive Einbindung in die Landschaft (Rahmenpflanzung von mindestens 3 m Breite).
- Verwendung wassergebundener Decken.
- Flächenanteil der tatsächlich versiegelten Fläche deutlich unter 5 %.
- Einbindung vorhandener versiegelter Flächen und sonstiger Infrastruktur.
- Versickerungsmulden an den Tropfkanten der Module (insbesondere bei Hangstandorten).
- Höhe der Aufständigung:
 - Abstand zum Boden über 0,5 m
 - Firsthöhe nicht über 3 m, bei nachführenden Anlagen nicht über 6 m.
- Art der Verankerung von Modulen: Betonfundamente oder Rammpfähle (vgl. Abb. 3).
- Überdeckung der Gesamtfläche durch Module weniger als 50 %.
- Tiefe der Modulreihen max. 5 m.
- Extensive Wiesenfläche unter den Modulen.
- Festschreibung der Nutzung bzw. Pflege (z. B. einmalige Mahd, Beweidung, kein Pflanzenschutz und Dünger) (vgl. Abb. 4).

Tab. 1: Umweltprüfung – allgemein verständliche Zusammenfassung (Quelle: ARC.GRÜN Landschaftsarchitekten 2005).

Schutzgut	Bestand	Umweltauswirkungen in der Bauphase	Umweltauswirkungen anlagen-/projektbezogen	Vermeidungsmaßnahmen (Festsetzungen)	Inhalte des Monitorings
Mensch, Wohnumfeld, Lärm, Verkehr	Wohnbebauung 500 m nordwestlich	Baustellenbetrieb	—	Baustellenzufahrt außerhalb der Wohngebiete	—
Boden	Flachgründige lehmige Tone, ungünstige Ertragsbedingung	Temporäre Flächeninanspruchnahme Baufeld, Verdichtung Wege	Versiegelung im Bereich der Fundamente; Verlust landwirtsch. Nutzfläche	Vermeidung Geländebewegung, Nutzungsextensivierung, Erhaltung Bodenfunktionen	Flächige Bodenbedeckung durch Vegetation, Bodenerosion
Wasser	Grundwasser in 70 m Tiefe, schützende Deckschichten	Baustellenbetrieb	Überbauung, Teilbeschattung	Vollständige Versickerung, Nutzungsextensivierung	—
Arten und Lebensräume	Ackerbrache	Baustellenbetrieb	erschwerter Durchlässigkeit für Kleintiere Positive Effekte bez. auf Artenvielfalt	Durchlässigkeit Zäune, Nutzungsextensivierung, Ausgleichsflächen im Gebiet	Überprüfung des Vegetationsbestands auf der Nutzfläche nach 5-10 Jahren
Klima und Luft	Kaltluftentstehung, keine relevanten Austauschbahnen	—	Mikroklimatische Veränderung der Standortverhältnisse	Schnelle Wiederbegrünung	—
Landschaftsbild	Hecken an Hangkante, siedlungsnaher Erholungsraum, vorbelastet	Baustellenbetrieb	Optische Störung, kleinräumige Veränderung Landschaftsbild	Beschränkung der Höhe auf 4 m, Eingrünung	Dokumentation Eingrünung, Rückbau nach Nutzungsaufgabe



Abb. 2: Biotopgestaltung innerhalb einer Freiflächenanlage.



Abb. 3: Betonstreifenfundamente mit Holzaufständering.



Abb. 4: Magerrasen unter und zwischen den Modulreihen.

- Anlage von Ausgleichsflächen, z. B. Streuobstwiesen, Hecken, Teiche.
- Art der Zäunung: Durchlässigkeit für Kleinsäuger, Mindestabstand zwischen Zaun und Boden.
- Begrünung des Zaunes z. B. mit Kletterpflanzen.
- Verwertung (Recycling).
- Verpflichtung und Möglichkeiten zum Rückbau.
- Monitoring (insbesondere bei problematischen Standorten).

7 Zusammenfassung

In den letzten Jahren sind in Deutschland 94 Photovoltaikanlagen in der freien Landschaft errichtet worden. Dies führte zu einer kontroversen Diskussion nach dem Motto „Klimaschutz versus Landschaftsschutz“. Der Naturschutz hat sich dieser neuen Anforderung an die Nutzung unserer Landschaften zu stellen. Eine generelle Verweigerungshaltung ist nicht angebracht. Bezogen auf alle Landschaften Deutschlands sind die Auswirkungen von Freiflächenanlagen örtlich und gering. Im Einzelfall können sie erheblich sein. Deshalb sollten einheitlich ökologische Standards eingeführt werden. Dabei geht es um

- den richtigen Standort,
- eine wirksame Umweltprüfung und
- eine landschaftsgerechte Grünplanung.

8 Literatur

ARC.GRÜN Landschaftsarchitekten (2005): Vorhaben bezogener Bebauungsplan mit integriertem Grünordnungsplan und Umweltbericht zum Sondergebiet für Solarenergienutzung „Photovoltaikanlage Estenfeld“. – Unveröffentlichter Entwurf im Auftrag der Gemeinde Estenfeld, Landkreis Würzburg.

BOSCH & PARTNER (2005): Forschungsvorhaben „Monitoring zur Wirkung des novellierten EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Solarenergie, insbesondere der Fotovoltaik-Freiflächen“ im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. – Unveröffentlichter Zwischenbericht (1. Fachgespräch 20.09.2005).

Anschrift des Verfassers:

Hans Leicht
Regierungsdirektor
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg
E-Mail: hans.leicht@lfu.bayern.de

Ulrich Dumont

Räumliche Dimension der Wasserkraft und ihre Auswirkungen aus naturschutzfachlicher Sicht

1 Einleitung

Wasserkraft ist nach wie vor eine wichtige regenerative Energiequelle. In Deutschland beträgt ihr Anteil ca. 5 % der Stromerzeugung. Davon entfallen ca. 90 % auf große Wasserkraftanlagen, der Rest auf Kleinkraftwerke.

Wasserkraftanlagen greifen notwendigerweise in die Gewässer ein und beeinflussen damit die aquatischen Lebensräume und Populationen. Nachfolgend werden diese Auswirkungen beschrieben und neuere Erkenntnisse über Maßnahmen zur Vermeidung oder Minimierung der Schäden vorgestellt. Wichtig ist dabei, die ökologischen Grenzen für derartige Anpassungsmaßnahmen zu benennen und geeignete Instrumente für ihre Realisierung – auch im Zusammenhang mit der EG-Wasserrahmenrichtlinie – vorzustellen.

2 Der Einfluss von Querbauwerken und Wasserkraftanlagen auf die Gewässerökologie

2.1 Stromaufwärts gerichtete Wanderungen

Wasserkraftanlagen erfordern für die Ausleitung des Wassers Querbauwerke. In unseren Gewässern gibt es eine sehr große Zahl von Querbauwerken, die jedoch nicht ausschließlich wegen der Wasserkraftnutzung errichtet wurden. Vielmehr spielen historisch Wasserentnahmen für die Landwirtschaft, für die Industrie und die Trinkwassergewinnung ebenso eine wichtige Rolle wie die Schiffbarmachung der Flüsse, die Begradigung der Gewässer und die Sicherung der Sohle nach deren Umgestaltung.

Querbauwerke sind häufig der entscheidende Faktor, wenn der gute ökologische Zustand nicht erreicht wird. Alleine in Nordrhein-Westfalen wurden mehr als 13.000 Querbauwerke kartiert, beginnend bei einer Absturzhöhe von 20 cm bis hin zu Talsperren. Die durch Querbauwerke verursachten Probleme stehen also – zumindest in Ländern wie Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Hessen, Niedersachsen – nicht mehrheitlich in Verbindung mit der Wasserkraftnutzung.

Querbauwerke be- oder verhindern die stromaufwärts gerichtete Wanderung von Fischen und aquatischen Wirbellosen, wenn die durch sie bedingten hydraulischen Verhältnisse und die Gestaltung des Gewässerbetts die physiologischen Fähigkeiten der aufwanderwilligen Organismen überschreiten. Insbesondere folgende Parameter sind für die Passierbarkeit von Querbauwerken entscheidend:

- Die Fische müssen entsprechend ihrem normalen Verhalten in der fließenden Welle wandern können.
- Wirbellose benötigen eine ausreichend strukturierte, durchgehende raue Sohle.
- Die maximale Fließgeschwindigkeit an jedem Gefällesprung und die Energie, die zur Überwindung eines Wanderhindernisses insgesamt erforderlich ist, darf artspezifische Grenzwerte nicht überschreiten.

Ein Querbauwerk kann bereits bei sehr geringen Absturzhöhen (ca. 0,1 bis 0,2 m bei mittlerem Abfluss [MQ]) und glatten Sohlenabschnitten als Wanderhindernis wirken.

Die Aufwanderung wird ebenfalls beeinträchtigt, wenn eventuell bestehende Wanderkorridore nicht oder nur mit erheblichem Zeit- bzw. Energieverlust aufgefunden werden können. Die Auffindbarkeit von Wanderkorridoren kann durch konkurrierende Strömungen (z. B. durch Gewässerverzweigungen wie die Mündung des Unterwasserkanals einer Wasserkraftanlage) oder durch kleinräumige Sackgassenwirkungen in Folge falsch platzierter Einstiege in Fischaufstiegsanlagen erschwert werden. Gewässerabschnitte, die im Vergleich zu uneinflussten Strecken und gemessen an den physiologischen Anforderungen der jeweiligen Fischfauna eine zu geringe Fließtiefe und zu niedrige Fließgeschwindigkeiten aufweisen, sind nicht oder nur unzureichend durchwanderbar. Das gilt in typischer Weise für Ausleitungsstrecken von Wasserkraftanlagen, wenn sie über lange Zeiträume einen zu niedrigen Abfluss aufweisen.

In besonderem Maße von Einschränkungen der Aufstiegsmöglichkeiten betroffen sind die diadromen Arten¹, da bereits ein einziges stromaufwärts unpassierbares

Querbauwerk zum Erlöschen der Populationen führen kann.

2.2 Stromabwärts gerichtete Wanderungen

Die stromabwärts gerichtete Wanderung aquatischer Organismen wird durch Querbauwerke und Wasserkraftanlagen nicht vollständig unterbunden und ist im Gegensatz zur Aufwanderung grundsätzlich auch ohne die Installation spezieller Fischwege möglich. Somit stellt sich vor allem die Frage, ob bzw. in welchem Umfang hierbei abwandernde Exemplare geschädigt oder getötet werden.

Die Gefährdung der aquatischen Fauna hängt vor allem von der Wahrscheinlichkeit ab, mit der abwandernde Exemplare in sie gefährdende Anlagenteile gelangen, sowie von den Dimensionen und dem Konstruktionstyp des Querbauwerks, des ggf. betriebenen Wasserkraftwerks und seiner Turbinen.

Wird der Abfluss des Gewässers zu einem wesentlichen Anteil durch ein Wasserkraftwerk geleitet, folgen abwandernde Fische dieser Hauptströmung und gelangen an deren Einlassrechen. Maßgeblich ist hierbei der mittlere Abfluss MQ, da der aktuelle Kenntnisstand darauf hinweist, dass die Abwanderung von Fischen überwiegend bei mittleren oder gar niedrigen Abflüssen erfolgt.

Am Einlassrechen können verschiedene Beeinträchtigungen bzw. Schäden auftreten:

- In Abhängigkeit von der lichten Weite des Rechen und der Anströmgeschwindigkeit können Fische in Richtung Oberwasser entfliehen oder werden an den Rechen angepresst.
- Fische, die den Rechen passieren, können in die Wasserkraftmaschine gelangen und dort geschädigt werden.

Eine ungefährdete Abwanderung der Fische an Wassernutzungsanlagen ist nur

¹ Wanderfische im engeren Sinne, die im Laufe ihres Lebenszyklus zwischen Salz- und Süßwasser wechseln.

möglich, wenn sie weder am Rechen geschädigt werden noch ihn passieren, sondern einen geeigneten Bypass zum Unterwasser finden können.

Das Ausmaß der Schädigung bzw. der Mortalität ist u. a. abhängig von der Anordnung und dem Ausbaugrad des jeweiligen Wasserkraftwerks, dem Rechen- und Turbinentyp, dem aktuellen Betriebsmodus sowie den Eigenschaften und der Größe der betroffenen Arten. Eine weitere Erhöhung der Mortalitätsrisiken für abwandernde Fische ist der Prädationsdruck im Unterwasser von Wasserkraftwerken. Die Schadensraten bei abwandernden Fischen kumulieren sich in vielfach gestauten Gewässern mit Wasserkraftnutzung, da sich die Überlebensraten von über die gesamte Staukette abwandernden Fischen multiplizieren. Dies kann beispielhaft verdeutlicht werden, wenn man gleiche Überlebensraten q an jeder von n Staufstufen annimmt.

Dann ergibt sich die Gesamtüberlebensrate p aus der Beziehung: $p = q^n$ (s. Abb. 1).

2.3 Auswirkungen des Aufstaus und von Ausleitungen auf die Lebensgemeinschaften in und an Fließgewässern

In Stauräumen wird das Fließgewässer in Bezug auf eine Vielzahl von Parametern verändert. Das Ausmaß dieser Veränderungen ist abhängig von der Größe und der Betriebsweise des Querbauwerks sowie vom jeweiligen Gewässertyp bzw. der Fließgewässerregion.

Dabei kommt es zu

- hydromorphologischen Veränderungen wie Reduzierung der Fließgeschwindigkeit und der Abflussdynamik,
- chemisch-physikalischen Veränderungen wie des Temperaturregimes, pH-Wert-Schwankungen und Veränderungen im Gashaushalt.

Die Reduktion der Fließgeschwindigkeit und der Dynamik des Gewässers und die dadurch bedingte reduzierte Umlagerung des Substrates sowie die Überlagerung mit Feinsedimenten verursachen erhebliche Veränderungen des aquatischen Lebensraums.

Ausleitungsstrecken an Wasserkraftanlagen sind durch ein massiv verändertes Abflussregime gekennzeichnet: In den Zeiten, in denen der Abfluss im Gewässer weitgehend zur Energiegewinnung genutzt wird, verbleibt im Mutterbett lediglich der Mindestabfluss, falls dieser überhaupt festgelegt ist bzw. abgegeben wird. Die Auswirkungen von Ausleitungen auf den Lebensraum im Mutterbett hängen sehr stark ab von ihrem absoluten und zeitlichen Ausmaß bzw. vom verbleibenden Mindestabfluss, von der Struktur des Mutterbettes sowie dem Fließgewässertyp und der -region. Generell ist mit einer Verarmung der aquatischen Fauna und Flora zu rechnen.

Wenn es politisch gewollt ist, die Wasserkraft weiter als regenerative Energiequelle zu nutzen, müssen Strategien entwickelt werden, wie ihr negativer Einfluss auf die Gewässerökologie minimiert werden kann.

3 Strategien für die Entwicklung von Gewässern mit Querbauwerken

Nach der Durchführung von intensiven Bestandsaufnahmen z. B. in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz wurden zunächst die fachlichen Grundlagen für die Wiederherstellung der Durchgängigkeit an den Standorten von Querbauwerken und Wasserkraftanlagen erarbeitet.

Eine primäre Aufgabe ist der Rückbau von ungenutzten Querbauwerken, wann immer dies technisch-hydraulisch und hinsichtlich der Wasserrechte und der Eigentumsverhältnisse möglich ist. Durch diese Maßnahme wird die freie Fließstrecke im Gewässer vergrößert und die Gesamtzahl der Wanderhindernisse reduziert. Daraus resultiert sowohl eine Verbesserung der Gesamtdurchgängigkeit als auch eine Verminderung der Wartungskosten. Beide Effekte sind angesichts der großen Zahl der Querbauwerke sehr wichtig.

Ein Maß, welcher Lebensraumverlust in einem Gewässer aus ökologischer Sicht tolerierbar ist, wurde wissenschaftlich bisher nicht gefunden. In Nordrhein-Westfalen wird eine Begrenzung des Lebensraumverlustes durch Stau und Ausleitung aller Querbauwerke auf max. 25 % der Länge der jeweiligen Fließgewässerzone diskutiert.

Die verbleibenden Querbauwerke müssen durch den Bau von Fischaufstiegsanlagen durchgängig gestaltet werden. Dazu ist mittlerweile ein ausreichender Stand der Technik gegeben, mit dem die Anforderungen der aquatischen Fauna erfüllt werden können. Jedoch müssen insbesondere in Gewässern, in denen diadrome Fischarten zu ihren Habitaten wandern müssen, Effekte durch die kumulierte Wirkung der Querbauwerke beachtet werden. In der Regel werden nicht 100 % der aufstiegswilligen Fische die Aufstiegsanlage finden und diese in einer angemessenen Zeit passieren können. Die Folge ist ein mit der Länge des Wanderwegs zunehmender Ausdünnungseffekt, der sich ganz ähnlich wie die Gesamtüberlebensrate in Abb. 1 darstellt. Aus diesem Effekt erwächst die Anforderung an eine sehr hohe Qualität der Fischaufstiegsanlagen und an eine entsprechende Qualitätskontrolle. Das DVWK-Merkblatt „Fischaufstiegsanlagen“ wird derzeit überarbeitet, um diesen Anforderungen besser gerecht zu werden.

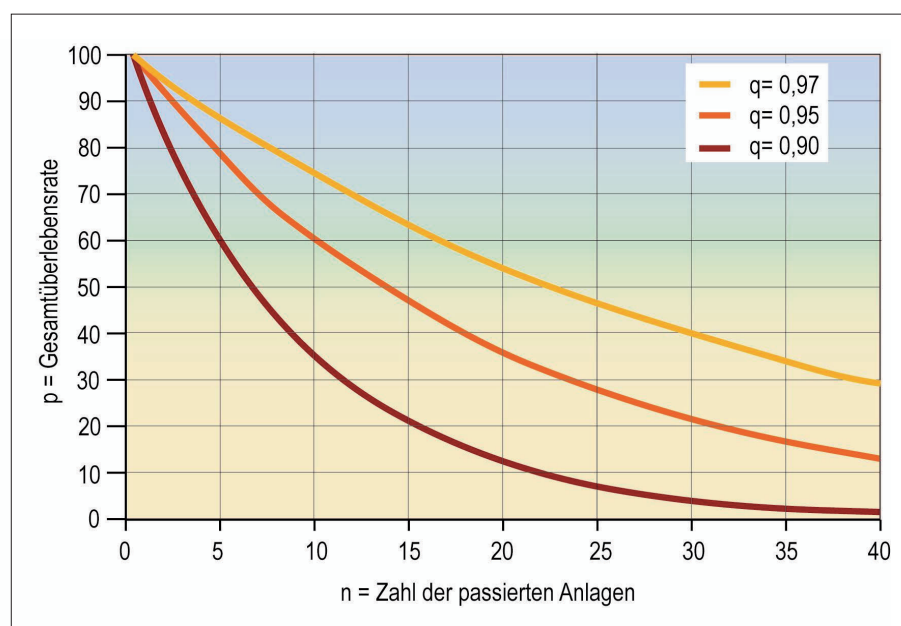


Abb. 1: Gesamtüberlebensrate p abwandernder Fische in vielfach gestauten Gewässern.

2 Arten, die ihren Lebenszyklus vollständig im Fließgewässer verbringen.

Aktuelle Hinweise zur Gestaltung von Fischeaufstiegsanlagen finden sich in DUMONT (2005).

Für Nordrhein-Westfalen wurden in den letzten Jahren für den Schutz abwandernder Fische folgende Vorschläge entwickelt:

- Wenn ausschließlich mit abwandernden potamodromen Fischarten² zu rechnen ist, sollten an allen Wasserkraftanlagen im jeweiligen Gewässer Standard-schutzmaßnahmen ergriffen werden. Aus heutiger Sicht ist es technisch nicht möglich und ökologisch nicht erforderlich, alle juvenilen Stadien potamodromer Fische vor dem Eindringen in Turbinen zu schützen. Diese Stadien sind oft sehr klein, besitzen eine hohe Überlebensrate und ihr Schutz würde sehr feine mechanische Barrieren erfordern. Falls gefährdete Arten vorkommen, müssen die erforderlichen Schutzmaßnahmen gesondert untersucht werden.

- Erhöhte Schutzmaßnahmen sind für abwandernde diadrome Fische erforderlich, da andernfalls – insbesondere wegen der beschriebenen Kettenwirkung – die Gesamtüberlebensrate der aus einem Flussgebiet abwandernden Fische sehr gering werden kann und folglich eine Gefährdung der Populationen auftritt. Wegen dieser kumulativen Wirkung, die auch mit optimalen Schutzeinrichtungen nicht umgangen werden kann, muss man erkennen, dass diadrome Arten nur in den Gewässern eine realistische Überlebenschance haben, in denen sie entlang des Wanderwegs zum Meer nur

eine begrenzte Zahl von Wasserkraftanlagen passieren müssen. Wiederansiedlungsprogramme z. B. für den Lachs müssen daher auf diese Gewässer beschränkt werden.

- Wirksame mechanische Fischschutzeinrichtungen haben enge freie Durchlässe. Für Lachssmolts³ und Blankaale⁴ können sie aus heutiger Sicht technisch-ökonomisch nur an kleinen und mittleren Wasserkraftanlagen bis ca. 20 m³/s pro Einheit eingesetzt werden. Bei großen Wasserkraftanlagen können daher nur Maßnahmen wie ein fischfreundlicheres Turbinenmanagement genutzt werden, bei dem die Maschinen während der Abwanderspitzen zu drosseln und Bypässe zu öffnen sind. Erfolg versprechende Ansätze dazu bestehen bei Blankaaalen, wenn deren Abwanderzeiten mit Frühwarnsystemen erkannt werden.

Aus den Ergebnissen von aktuellen Studien konnten wichtige Erkenntnisse zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit von Gewässern gezogen werden:

- Die Gesamtaufstiegsrate und damit die Erreichbarkeit der Habitate eines Gewässersystems ist vor allen Dingen abhängig von der Anzahl der Querbauwerke, die von den Fischen überwunden werden muss.
- Für die Gesamtüberlebensrate oder die Erreichbarkeit des Meers ist die Anzahl der Wasserkraftwerke im Wanderweg von entscheidender Bedeutung.

Gewässersanierungen, Wiederansiedlungsprogramme und eine nachhaltige Nutzung der Wasserkraft müssen diese grundsätzlichen Zusammenhänge berücksichtigen.

3 Ein ein- bis zweijähriger Junglachs, der sich anschießt, vom Laichgebiet in der Forellenregion eines Flusses in Richtung Meer abzuwandern.

4 Zum Abwandern ins Meer bereiter, geschlechtsreifer Aal.

4 Literatur

DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V.) (Hg.) (1996): Fischeaufstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. - Bonn (Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH), Merkblätter zur Wasserwirtschaft 232, 120 S.

DUMONT, U. (2005): Handbuch Querbauwerke. Herausgeber: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW. Düsseldorf.

Anschrift des Verfassers:

Dipl. Ing. Ulrich Dumont
Ingenieurbüro Floecksmühle
Bachstr. 62-64

52066 Aachen

Kontakt: www.floecksmuehle.com

Reiner Diemel

Perspektiven für die Nutzung der Wasserkraft in Übereinstimmung mit Leitbildern der Landespflege

Einleitung

Die Renaturierung von Auen und Fließgewässern bildet einen Arbeitsschwerpunkt der Oberen Naturschutzbehörde Gießen. Dies wurde zwischen der Leitung der Abteilung „Ländlicher Raum, Natur- und Verbraucherschutz“ und deren Dezernat „Eingriffs- und Ausgleichsregelung, Umweltfolgenabschätzung“ sowie dem Fischereidezernat vereinbart.

Von Bedeutung waren u. a. folgende Faktoren:

1. Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen wurden und werden zu einem erheblichen Umfang auf landwirtschaftlichen Flächen durchgeführt. Dies führt insbesondere bei Großprojekten dazu, dass Landwirte einen Verlust von landwirtschaftlicher Betriebsfläche beklagen und die Umsetzung der Kompensationsmaßnahmen an der mangelnden Flächenverfügbarkeit scheitert. Viele der durchgeführten Maßnahmen erreichen ihre volle Ausgleichsfunktion, bedingt durch fehlerhafte Planung, schlechte Ausführung bei der Biotopgestaltung, mangelnde Pflege und fehlende Akzeptanz benachbarter Landnutzer, nicht.
2. An der Wilhelmswalze in Sinn wurde eine Fischaufstiegsanlage gebaut und ihre Funktionsfähigkeit untersucht. Fische waren nach Elektrobefischung mit Transpondern versehen worden, die unter die Schuppen gespritzt wurden. Es zeigte sich, dass die Fische dieses Umgehungsgerinne für den Auf- und den Abstieg nutzen, einzelne Individuen in der Anlage sogar für mehrere Stunden verweilen. Vermutlich ist das sauerstoffreiche Wasser im Umgehungsgerinne für einzelne Fische von besonderer Bedeutung.

Seitdem setzen sich die beiden Dezernate verstärkt mit dem Themenkomplex „Beeinträchtigung von Fließgewässern durch Stauhaltungen“ und der Entwicklung von Lösungsstrategien auseinander.

Leitbilder der Landespflege

Leitbilder des Naturschutzes können eine fachliche Herleitung erfahren und sich beispielsweise an der Kulturlandschaft von

1750 bis 1850 orientieren, einem Zeitraum, in dem ein Maximum an Artenreichtum in Deutschland zu verzeichnen war, während, auch das darf nicht verschwiegen werden, die Bevölkerung bitterste Not litt. Da diese Leitbilder schnell zu Fachdiskussionen führen, die den Rahmen dieser Veranstaltung sprengen würden, orientiere ich mich an den gesetzlichen Vorgaben, beispielsweise an dem Hessischen Naturschutzgesetz (HENatG).

§ 1a Abs. 2 HENatG: „Verkehrs- und Versorgungseinrichtungen ... werden im Rahmen ihrer Zweckbestimmung so geplant und gestaltet, dass sie ... insbesondere die Lebensräume und Wanderwege von Tieren sowie die Gestalt und Nutzung der Landschaft möglichst wenig beeinträchtigen. ... Wanderwege von Tieren sollen bei Zerschneidung durch geeignete Maßnahmen wie Querungshilfen neu geschaffen werden.“

§ 1b Abs. 1 HENatG: „Das Land Hessen entwickelt und erhält einen Biotopverbund ...“

Weitere Orientierung können die veröffentlichten Aussagen der Politik geben: Bundesumweltminister *Jürgen Trittin* in der Zeitschrift *Umwelt* 4/2005, S. 265: „... Gewässer liefern nicht nur Trinkwasser und Energie und versorgen Industrie und Landwirtschaft mit einem wichtigen Betriebsmittel. Flüsse, Seen und das Meer sind stets auch Lebensraum für Flora und Fauna. Flüsse durchziehen unser Land als Lebensadern. Oberflächengewässer und Grundwasser bringen uns vielfältigen Nutzen, sie benötigen aber auch einen besonderen Schutz. Flüsse und Bäche müssen wieder eine naturnahe Gestalt erhalten, damit sie als Lebensraum funktionieren können. Die Durchgängigkeit für Fische und andere Wasserorganismen muss verbessert werden.“

Wo tangieren Wasserkraftanlagen die Leitbilder?

Behinderung der Fischwanderung

Die Wasserkraftanlagen, mit denen wir es in der Mehrzahl zu tun haben, sind solche an Fließgewässern. In der Regel werden alte Anlagen mit bestehenden Wasser-

rechten umgebaut und modernisiert. Selten werden auch neue Wasserkraftanlagen an bestehende Wehranlagen gebaut (in Mittelhessen ein Vorgang in 16 Jahren). Nicht bekannt sind mir aktuelle Vorgänge, wo im Rahmen der notwendigen Wasserrechtsverfahren auch neue Stauanlagen errichtet wurden.

Solch ein Ansinnen dürfte allerdings auch schon an dem Verschlechterungsverbot der Wasserrahmenrichtlinie scheitern. In dem Zusammenhang verweise ich auf Art. 1 Abs. a (allgemeine Zielaussage) und Art. 4 Abs. 1 der Wasserrahmenrichtlinie („... die Mitgliedstaaten führen ... die notwendigen Maßnahmen durch, um eine Verschlechterung des Zustandes aller Oberflächenwasserkörper zu verhindern ...“).

Doch Stauhaltungen in den Fließgewässern haben eins gemeinsam, sie beeinträchtigen oder unterbinden die Wanderung von aquatischen Organismen, nicht nur von Fischen.

Zu den grundsätzlichen Verhaltensweisen unserer Fische zählen mehr oder weniger ausgedehnte Wanderungen. Die bekanntesten Beispiele sind sicherlich der Lachs und der Stör, die vom Meer aus bis in die Oberläufe der Flüsse aufsteigen, um sich dort fortzupflanzen. Allgemein bekannt ist auch der Aal, dessen Fortpflanzung nicht in unseren Flüssen, sondern in der Sargassosee stattfindet. Neben diesen klassischen Wanderfischen führen auch die anderen heimischen Fischarten sowie die wirbellosen Organismen aktiven oder passiven Ortswechsel in den Fließgewässersystemen durch.

Wir kennen den *Wechsel zwischen den Teillebensräumen*, z. B. als jahresperiodischen Wechsel zwischen Nahrungs- und Ruhehabitaten über z. T. mehrere 100 km. Die Jungfische vieler Arten wechseln die Nahrungshabitate im Laufe ihrer Jugendentwicklung, da sich ihr Nahrungsverhalten mehrfach ändert. Wir kennen aber auch tagesperiodische Wanderungen, z. B. bei Barben zwischen Tag- und Nachtstation.

Auf die *Laichwanderungen* bin ich oben bereits eingegangen. Laich wird häufig in

den Oberläufen in Kiesbänken oder auch an ufernahen Wasserpflanzen abgelegt.

Viele Fische wandern im Winter in strömungsarme Bereiche (die Unterläufe der Flüsse oder Altarmbereiche), wo sie energiesparend überwintern können.

Viele Wirbellose, die z. B. bei Hochwasserereignissen abdriften, führen später eine kompensatorische Aufwanderung durch, um ihre Lebensräume wieder zu besiedeln. Ähnliches ist auch zu beobachten, wenn sich die Lebensbedingungen in einem Gewässerabschnitt vorübergehend verschlechtern (z. B. nach vorübergehenden Direkteinleitungen). Passiver Ortswechsel geschieht z. B. auch durch das Verdriften von Jungfischen, die der starken Strömung in den Flussoberläufen nicht gewachsen sind und erst mit Erreichen einer bestimmten Größe wieder in der Lage sind, diese Lebens- und Laichgebiete erneut zu besiedeln.

Bedingt durch Querbauwerke und die dadurch unterbundene Fischwanderung wurde für die Lahn 1995 ein Arealverlust von 36–55 % für Plötze, Hasel, Döbel und Gründling festgestellt.

Eingriffe in das Fließgewässerkontinuum

Die Struktur unserer natürlichen Fließgewässer verändert sich regelmäßig von den Quellbereichen bis zu den Mündungsgebieten. Dabei sind folgende Gesetzmäßigkeiten nahezu immer festzustellen: Die Wasserführung nimmt von der Quelle zur Mündung zu, das Gefälle nimmt ab, die Strömungsgeschwindigkeit reduziert sich dadurch und die Flüsse werden immer breiter. Dies wiederum führt dazu, dass sich die Schleppkräfte des Wassers reduzieren und sich das Substrat ändert. Die Quellbereiche weisen in der Regel Geröll, Steine und grobe Kiese auf. Mit zunehmender Fließstrecke wird das Substrat feiner, d. h. sandig bis tonig. Die Wassertemperatur entspricht im Quellbereich ziemlich stabil der Jahresdurchschnittstemperatur (8–10 °C). Im Unterlauf sind größere Temperaturschwankungen anzutreffen (0 °C im Winter und mehr als 20 °C im Sommer). Die Oberläufe werden stark durch Ufervegetation beschattet. Gleichzeitig wird hier vermehrt totes Pflanzenmaterial (Falllaub und Totholz) eingetragen. Dieses Material wird von vielen Wirbellosen (auch als Fischnährtiere bezeichnet) als Nahrungssubstrat genutzt. In den Unterläufen wird es in Form feinsten organischen Materials herangeführt. In den Ober-

läufen sind daher Kaltwasserfische zu finden, die sich hauptsächlich von den Wirbellosen ernähren, in den Mittelläufen kommen fischfressende Arten hinzu, während Planktonfresser vorwiegend auf die Unterläufe großer Flüsse beschränkt sind.

Die fließgewässerbesiedelnden Lebewesen haben sich diesen unterschiedlichen Lebensbedingungen angepasst und bilden charakteristische Lebensgemeinschaften. In Orientierung an diese Lebensgemeinschaften werden folgende Regionen unterschieden:

- *Obere Forellenregion* mit Bachforelle, Bachneunauge und Groppe,
- *Untere Forellenregion* mit den oben genannten Arten und Schmerle und Elritze,
- *Äschenregion* mit zusätzlich z. B. Äsche, Döbel, Plötze, Gründling,
- *Barbenregion* mit Barbe, Ukelei, Güster, Nase, Hecht und Flussbarsch,
- *Brachsenregion* mit Brachse, Schleie, Karpfen, Rotfeder, die auch in Stillgewässern zu finden sind,
- *Kaulbarsch-Flunder-Region* mit Kaulbarsch, aber auch Hering und Flunder als marine Arten.

Lösungen zur Verbesserung der Aufwanderung

Die Fische wandern z. T. nach dem Geruch auf, sind aber im Wesentlichen lockstromorientiert. Aufwandernde Fische orientieren sich am Hauptstrom. Der Einstieg in den Fischaufstieg ist entsprechend zu positionieren (am Prallhang und unterhalb

des Turbinenauslaufs, da dieser auch eine Lockströmung produziert) und so zu dimensionieren, dass eine ausreichende Lockströmung entsteht (Abb. 1). Die Strömung in der Fischaufstiegsanlage ist allerdings auch so zu dimensionieren, dass sie das Schwimmvermögen der in der Region hauptsächlich vorkommenden Fischarten nicht überfordert. Grundsätzlich unterschieden werden Fischpässe (technische Bauweise) und Umgehungsgerinne (Abb. 2) (naturnahe Bauweise) sowie Rampen. Primär hat sich aus meiner Sicht die Wahl der Bauweise an der Schaffung einer möglichst wirksamen und funktionsfähigen Anlage zu orientieren. Wenn es die räumlichen Verhältnisse zulassen, sollte natürlich eine naturnahe Bauweise z. B. aus landschaftsbildlichen Gründen bevorzugt werden. Insgesamt ist festzuhalten,

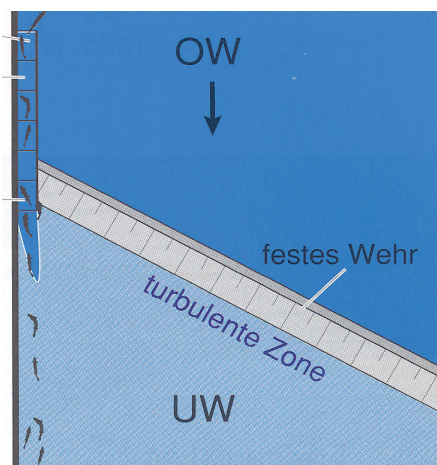


Abb. 1: Günstigste Lage für eine Fischaufstiegsanlage: Aufstiegswillige Fische sammeln sich im spitzen Winkel zwischen Wehranlage und Ufer (aus DVWK 1996).



Abb. 2: Umgehungsgerinne Hadamar (Elbbach) (Foto: W. Fricke).

dass eine Fülle gut funktionierender Aufstiegsanlantentypen zur Verfügung steht und spezialisierte Ingenieurbüros in der Lage sind, geeignete Fischaufstiege zu planen. Meine Erfahrung zeigt allerdings auch, dass die bauausführenden Firmen entsprechende Erfahrung mitbringen sollten und die Baustellen permanent begleitet werden müssen. Häufig sind im Rahmen der Bauausführung folgende Probleme aufgetreten:

- Probleme mit der Wasserhaltung,
- nicht Einhalten der Einbauhöhen,
- fehlerhafter Einbau von Bauteilen mit der Folge, dass die dauerhafte Stabilität oder die Funktionsfähigkeit in Frage gestellt sind,
- unsensibler Umgang mit der Natur.

Der Ausstieg ist soweit entfernt vom Wasserkraftanlageneinlauf zu positionieren, dass die Fische nicht in die Turbine gezogen werden.

Lösungen zur Verbesserung der Abwanderung

Die Fische wandern im Allgemeinen eher passiv ab. Die Tiere lassen sich weitgehend von der Strömung transportieren. Die Stauhaltungen in unseren Flüssen sind in der Regel so dimensioniert, dass die Tiere verletzungsfrei über die Wehrkrone ins Unterwasser gelangen können. Problematisch ist die Situation allerdings bei Wasserkraftanlagen. Diese verfügen zwar vor den Turbineneinläufen über Rechenanlagen. Diese dienen aber primär dem Schutz der Turbine vor Beschädigungen durch Treibgut. Der Stababstand der Re-

chen von in der Regel 20–40 mm schützt die Tiere nicht vor Verletzungen. Ist die Anströmgeschwindigkeit zu hoch ($> 0,8 \text{ m/s}$ bzw. $> 0,5 \text{ m/s}$ bei Aalen), können die Fische nicht mehr flüchten und werden an das Gitter gepresst. Verletzungen drohen dann noch durch die automatischen Rechenreinigungsanlagen. Rechen mit engeren Stababständen reduzieren den Energieertrag der Wasserkraftanlagen, wenn das Einlassbauwerk nicht entsprechend größer dimensioniert werden kann. Aale zeigen noch die artspezifische Verhaltenseigenschaft, dass sie versuchen, sich aktiv durch die Rechen hindurch zu quetschen.

Fische, die in die Turbine gelangen, sind der Gefahr ausgesetzt, mechanisch verletzt zu werden. Weitere Risiken bestehen in den Druckunterschieden, denen die Tiere ausgesetzt sind. Sie können zum Platzen von Blutgefäßen, Augen oder der Schwimmblase führen. Verletzte oder getötete Tiere sind dann leichte Beute für Vögel und Raubfische, die in entsprechend erhöhter Dichte im Unterwasserkanal auf Nahrung warten.

Es gibt die unterschiedlichsten technischen Lösungsansätze. In der Regel wird versucht, über Tauchwände, engere Rechen, Lochbleche oder Louven, die schräg zur Strömung stehen, die Fische in Bypässe zu spülen, die in das Unterwasser münden. Verhaltensbarrieren, wie künstliche Lichtvorhänge, Schallquellen und Elektroscheuchen, haben sich außerhalb der Labore meist als wenig wirksam erwiesen. Die Entwicklung fischschonender Turbinen wird ebenfalls betrieben.

Ferner besteht die Möglichkeit, die Betriebszeiten an die Fischwanderung anzupassen, sofern dies rechtlich im Einzelfall umsetzbar ist und sich auf den Schutz einzelner Leitarten erstreckt. Lachs-Smolts wandern z. B. zwischen Mitte April bis Ende Mai, Aale zwischen August und Januar, allerdings hauptsächlich nachts. Beim Aal besteht zudem die Möglichkeit, dessen Aktivität in Hälterbecken zu beobachten, um die Wanderaktivität der freischwimmenden Artgenossen abschätzen zu können.

Eine ungesicherte Abwanderung kann zu erheblichen Verlusten führen. Das mag folgende Modellrechnung verdeutlichen: Eine Population, z. B. von Aalen, erleidet bei jeder Wasserkraftanlage einen Verlust von nur 20 % und muss auf ihrem Weg ins Meer 20 Anlagen passieren. Bereits nach sieben Anlagen ist die Population auf 20 % reduziert, nach zehn Anlagen auf 10 %. Bei Anlage 20 ist die Population mit 1,15 % rechnerisch erloschen.

Unterbrechung des Fließgewässerkontinuums

Ein weiteres Problemfeld stellt die Unterbrechung des Fließgewässerkontinuums dar (Abb. 3). Hier ergibt sich Folgendes: Die *Stauwurzel* ist jener Bereich geringer Strömung oberhalb der Stauhaltung. Eine nur 1 m hohe Staumauer in der Barbenregion mit einem natürlichen Gefälle im Gewässer von ca. 0,2 % führt zu einer 50 m langen Stauwurzel und wird in diesem Bereich bezogen auf Strömung, Sediment, Gewässeraufweitung und Erwärmung zur

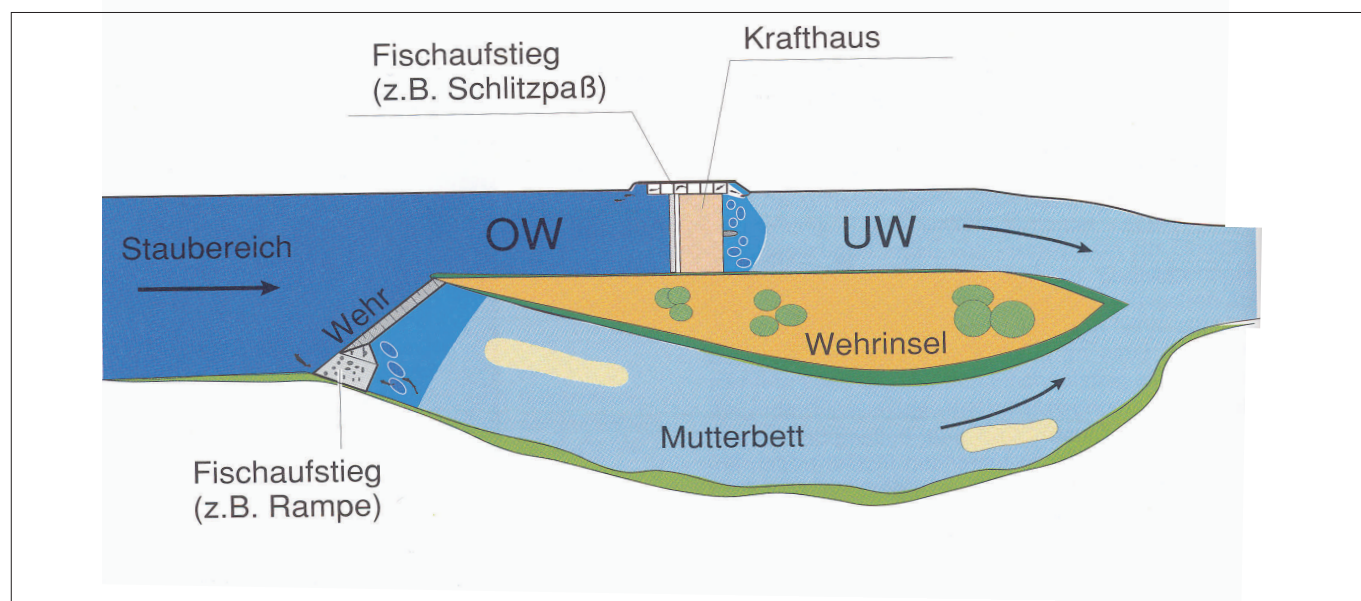


Abb. 3: Darstellung eines Umleitungskraftwerkes: Gewährleistung der linearen Durchgängigkeit durch Einbau je einer Fischaufstiegsanlage am Wasserkraftwerk sowie am Ausleitungswehr (aus DVWK 1996).

Brachsenregion. Die an diese Wasserhältnisse nur unzureichend adaptierten Fische erleiden einen gewissen Verlust ihrer Vitalität und fallen dadurch schneller Prädatoren zum Opfer. Geringfügig kompensiert werden können diese Effekte durch eine verbesserte Beschattung durch Ufergehölze und eventuell Wasserpflanzen, wie Teichrosen.

Die *Oberwasserkanäle* von Wasserkraftanlagen im Nebenschluss weisen ebenfalls ein nur stark reduziertes Gefälle auf, denn eine möglichst große Wasserspiegeldifferenz zum Unterwasser ist neben der Wassermenge die Quelle des Energieertrags. Auch hier lagern sich oft Feinsedimente ab, die mit den natürlichen Verhältnissen der Fließgewässerregion nicht übereinstimmen. In den Oberwasserkanal eingeschwommene Fische finden außerdem meist nicht mehr den Weg zurück in das Hauptgewässer und geraten dann in die Turbine (vgl. Abwanderung).

Das *Muttergewässer* führt im Bereich von dem Abzweig des Oberwasserkanals bis zur Einmündung des Unterwasserkanals weniger Wasser als unter natürlichen Verhältnissen. Dies führt zu Wasserspiegelreduzierungen und erhöhtem Prädatoren- und Vereisungsdruck. Im Winter besteht die Gefahr der Vereisung. Den hier angerissenen Problemen kann dadurch begegnet werden, dass eine ausreichende Restwassermenge festgeschrieben und das Bett so umgestaltet wird, dass eine ausreichende Wassertiefe erhalten bleibt.

Das Wehrkataster in Mittelhessen

Im Wehrkataster der Lahn von 1996 wurden 817 km Fließgewässer aufgenommen und 519 Fischwanderhindernisse kartiert (0,6 Hindernisse pro km). Nur 10 % dieser Anlagen konnten damals als passierbar bewertet werden.

In diesem Zusammenhang darf allerdings nicht verschwiegen werden, dass 66 % der Querbauwerke heute keine Nutzung mehr haben und nur 20 % dem Betrieb einer Wasserkraftanlage dienen. Nur bei einem Teil dieser Wasserkraftanlagen kommt es zu so gravierenden Umbauten, dass damit neue Eingriffe in das Fließgewässer einhergehen. In 16 Jahren Berufspraxis hat es in meinem Zuständigkeitsbereich nur einen einzigen Vorgang gegeben, wo an einem bestehenden Wehr eine neue Wasserkraftanlage gebaut wurde. Daraus lässt sich folgern, dass eine unmittelbare Anwendung der Eingriffsregelung (s. u.)

nicht dazu führt, dass das Ziel einer linearen Durchgängigkeit der Fließgewässer jemals erreicht werden könnte.

In Anbetracht der in Mittelhessen insgesamt vorhandenen Stauhaltungen war sofort klar, dass das Ziel durchgängiger Fließgewässer hier allein durch Mittel der Fischerei oder der EU nicht zu erreichen sein würde. Nur wenn die Instrumente der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung mit einbezogen würden, wäre eine mittelfristige Lösung denkbar. Die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung verpflichtet Eingreifer, die Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes gering zu halten. Unvermeidbare Beeinträchtigungen sind vorrangig gleichartig auszugleichen und nicht ausgleichbare Beeinträchtigungen durch gleichwertige Ersatzmaßnahmen zu kompensieren. Sind weder Ausgleichs- noch Ersatzmaßnahmen im ausreichenden Umfang umsetzbar, wird die naturschutzrechtliche Ausgleichsabgabe erhoben. Ferner kann derjenige, der ohne rechtliche Verpflichtungen Kompensationsmaßnahmen durchführt, von denen dauerhaft günstige Wirkungen auf den Naturhaushalt ausgehen, diese bewerten und auf einem Ökokonto anrechnen lassen. Die so gewonnenen Ökopunkte können entweder vermarktet oder für spätere Eingriffsvorhaben verwendet werden.

Das Problem bei der Anrechnung von Maßnahmen, die die lineare Durchgängigkeit von Fließgewässern verbessern, war allerdings, dass die damalige hessische Ausgleichsabgabenverordnung (AAV) an der Schaffung neuer Biotopwerte orientiert war (sog. Biotopwertverfahren). Der Bau von Fischtreppe, insbesondere wenn technische Bauweisen erforderlich sind, schafft aber keine neuen Biotoppunkte. Es musste also ein Bewertungsverfahren entwickelt werden, dass es für Eingreifer attraktiv macht, Kompensationsmaßnahmen an Fischwanderhindernissen durchzuführen. Neben der Frage, welche Relation zwischen den eingesetzten Finanzmitteln und dem Ertrag an Ökopunkten möglich ist, war für den Erfolg des in Mittelhessen eingeführten Verfahrens entscheidend, dass das Verfahren außerordentlich einfach aufgebaut und somit auch für Laien gut nachvollziehbar und leicht zu akzeptieren ist.

Beseitigung von Fischwanderhindernissen – Anrechenbarkeit innerhalb der AAV

Die zumeist kostenintensiven Anlagen zur Wiederherstellung des Fischaufstieges

wurden durch eine Zusatzbewertung nach der AAV angerechnet. Dies bedeutet, dass bis zu zehn Punkte pro m² vernetzter Fließgewässerstrecke zugeschlagen werden konnten. Als vernetzte Fließgewässerstrecke galt der Bereich vom nächstgelegenen Wehr unterhalb der zu bauenden Anlage bis zum nächstgelegenen Wehr oberhalb, unabhängig davon, ob diese Anlagen bereits passierbar waren, oder bis zur Einmündung in ein anderes Fließgewässer.

Bei der Flächenberechnung wurde der Mittelwasserstand zugrunde gelegt. Eine Anerkennung von zehn Punkten pro m² war jedoch nur möglich, wenn eine zuvor komplett unpassierbare Fischaufstiegsanlage eine 100 %-ige Durchgängigkeit für sämtliche Fischarten und Kleinlebewesen des Fließgewässers gewährleistete. Ausgehend von dieser Optimallösung waren gutachtlich Abschläge zu machen, wenn die Anlage vor dem Umbau bereits für bestimmte Fischarten oder während bestimmter Wasserstände im Fließgewässer passierbar oder die Anlage auch nach dem Umbau nicht ganzjährig zu 100 % zu passieren war.

Nach der ganz aktuell im September 2005 eingeführten Kompensationsverordnung, die die alte AAV abgelöst hat, kann zwar eine Bewertung nach dem oben genannten Verfahren weiterhin durchgeführt werden, es besteht jedoch auch die Möglichkeit, die zu erzielenden Ökopunkte durch eine Rückrechnung über die Baukosten zu ermitteln (Baukosten ohne Bodenwert: 0,35 • = 1 Punktwert).

Voraussetzung für die grundsätzliche Anerkennung ist jedoch, dass keine Verpflichtung durch die Wasserbehörde besteht (beispielsweise bei Wehrsanierung!) und dass nicht doppelt gefördert wird. Wenn die Gemeinde die Kosten nur anteilig übernimmt, werden die Punkte auch nur anteilig angerechnet.

Insgesamt wurden in den Jahren 1995–2005 durchschnittlich 67.000 • pro Anlage investiert. Unterstellt man eine durchschnittliche Vernetzung von 3.000 m bei einer Breite von 15 m, ergibt sich eine vernetzte Fläche von 45.000 m². Unterstellt man ferner eine 70 %-ige Verbesserung der linearen Durchgängigkeit, so wären durchschnittlich 0,21 • pro Punkt investiert worden

$$\left(\frac{67.000 \cdot}{45.000 \text{ m}^2 \times 7} = 0,2127 \right).$$

Unter Anwendung der neuen Regelung in der Kompensationsverordnung würden sich die meisten Bauherren nicht besser stehen. Über die Rückrechnemethode würde ein Bauherr für eine Bausumme von 67.000 • nur 191.000 Punkte angerechnet bekommen, während er für eine zu 70 % vernetzte Fließgewässerfläche von 45.000 m² 315.000 Punkte bekäme.

Beseitigung von Fischwanderhinder- nissen – Umsetzung in Mittelhessen

In Mittelhessen hat der Bau von Fischauf- und -abstiegshilfen große Resonanz nicht nur bei den Kommunen gefunden. Diese Art der Ersatzmaßnahmen wurde auch im Rahmen der Verwendung der naturschutzrechtlichen Ausgleichsabgabe oder als Ersatzmaßnahme von privaten Investoren durchgeführt. Tab. 1 listet die seit dieser Zeit durchgeführten Maßnahmen auf.

Tab. 1: Anzahl und Kosten der zwischen 1995 und 2005 durchgeführten Maßnahmen.

Jahr	Anzahl	Kosten
1995	1	37.017,71 •
1996	4	82.742,54 •
1997	7	294.04,14 •
1998	2	109.927,76 •
1999	8	454.794,13 •
2000	17	1.293.057,17 •
2001	14	665.012,60 •
2002	17	1.742.167,75 •
2003	13	1.449.440,00 •
2004	9	146.500,00 •
2005	1	?
Summe	93	6.275.163,80 •

Mehr als die Hälfte dieser Anlagen konnte unter Anwendung der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung umgesetzt werden. 38 Maßnahmen wurden aus der naturschutzrechtlichen Ausgleichsabgabe finanziert, elf als Kompensationsmaßnahmen und eine Maßnahme als Ökomaßnahme umgesetzt.

Besonders hervorheben möchte ich an dieser Stelle jene Kompensationsmaßnahmen, die im Zusammenhang mit dem Neubau der DB-Schnellbahnstrecke zwischen Köln und Frankfurt als Ersatzmaßnahmen im Elbbach und an der Lahn umgesetzt wurden bzw. werden. Im Elbbach, einem Nebengewässer der Lahn, wurden sechs Wehre in einem Zug durchgängig gemacht. Das gesamte Investitionsvolumen betrug fast 1,5 Mio. •. Alle Anlagen wurden so gebaut, dass zur Funktionsüberwachung eine genormte Fangreuse mit einem mobi-

len Kran eingehängt werden kann (Abb.4). Die Arbeiten können von zwei Personen mühelos durchgeführt werden. Diese Funktionsnachweise rechtfertigen nicht nur den Bau solcher Anlagen, sie erhöhen auch die Motivation örtlicher Fischereivereine die Anlagen zu betreuen und können zu Zwecken der Akzeptanzsteigerung und Öffentlichkeitsarbeit eingesetzt werden.

In diesem Zusammenhang ist eine weitere Ersatzmaßnahme dieser Art der DB direkt in Gießen zu nennen. Hier entsteht an einer Wasserkraftanlage an der Lahn nicht nur eine größere Fischaufstiegsanlage (Baukosten ca. 400.000 •), sondern eine Beobachtungsstation, die es Besuchern erlaubt, durch eine Glasscheibe den Fischaufstieg direkt zu beobachten. Der Standort für eine Beobachtungsstation ist nicht nur deshalb ideal, weil sie sich in der Randlage zur Giessener Innenstadt befindet, sie

ist auch unmittelbar an den Lahnfernwanderradweg R 7 angebunden. Zusätzliches didaktisches Material wird so zur Verfügung gestellt.

Fazit

- Stauhaltungen und Wasserkraftanlagen greifen in nicht unerheblichem Umfang in die natürlichen Verhältnisse eines Fließgewässers ein. Dies hat schwerwiegende Folgen für die Populationen aquatischer Lebewesen.
- Im mittelhessischen Einzugsgebiet der Lahn existiert durchschnittlich alle 0,6 km Fließgewässerstrecke ein Querbauwerk. Nur 10 % davon waren vor zehn Jahren passierbar.
- Nur 20 % dieser Stauhaltungen dienen dem Betrieb einer Wasserkraftanlage.



Abb. 4: Einlaufbauwerk.Umgehungsgerinne Hadamar (Elbbach) mit Kontrolleinrichtung (Foto: W. Fricke).

- Vorrangiges Ziel der Landespflege ist die lineare Durchgängigkeit der Fließgewässer. Dies ist nicht nur aus fachlicher Sicht wünschenswert, sondern vor dem Hintergrund der Wasserrahmenrichtlinie, die bis zum Jahr 2015 das Erreichen eines guten Gewässerzustands fordert, auch aus rechtlichen Gründen dringend geboten.
- Nur selten werden Wasserkraftanlagen komplett neu errichtet oder derart umfangreich erneuert, dass man den Betreiber verpflichten könnte, Fischwanderhilfen zu errichten.
- Fischereimittel oder sonstige öffentliche Mittel reichen nicht aus, um in absehbarer Zeit Fischwanderhilfen zu errichten. Die Finanzierung über die naturschutzrechtliche Ausgleichsabgabe, der Bau als Kompensations- oder Ökokontomaßnahme für andere Ein-

griffsvorhaben ist möglich. Dazu bedarf es eines attraktiven Anerkennungs- und Bewertungsverfahrens, des Umsetzungswillen auf allen Behördenebenen und der Bereitschaft der Wasserkraftanlagen- und Wehrbesitzer zur Kooperation.

- Während der Fischaufstieg technisch lösbar ist, gibt es bezüglich des Abstiegs noch erheblichen Umrüstungs- und Forschungsbedarf. Die Eingriffe in die biologische Fließgewässerzonierung sind nicht vermeidbar, aber durch Nebenbestimmungen und Gestaltungsmaßnahmen minimierbar.
- Im Rahmen der Umsetzung der Baumaßnahmen hat es sich gezeigt, dass es ratsam ist, Aufträge an erfahrene Planungsbüros und Baufirmen zu vergeben und auf eine plan- und fachgerechte Bauausführung zu achten.

Literatur

ATV-DVWK (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.) (2004): Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. - Hennef.

DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V.) (1996): Fischaufstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. - Merkblätter zur Wasserwirtschaft Heft 232, Bonn, 120 S.

Anschrift des Verfassers:

Reiner Diemel
Regierungspräsidium Gießen, Dezernat
53.1 „Eingriffs- und Ausgleichsregelung,
Umweltfolgenabschätzung“
Postfach 10 08 51
35338 Gießen
E-Mail: R.Diemel@rpgi.hessen.de

Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege (DRL)
- Gesamtverzeichnis -

Heft Nr. 1, September 1964	Straßenplanung und Rheinuferlandschaft im Rheingau	
Heft Nr. 2, Oktober 1964	Landespflege und Braunkohlentagebau	- vergriffen -
Heft Nr. 3, März 1965	Bodenseelandschaft und Hochrheinschifffahrt	
Heft Nr. 4, Juli 1965	Landespflege und Hoher Meißner	- vergriffen -
Heft Nr. 5, Dezember 1965	Landespflege und Gewässer	- vergriffen -
Heft Nr. 6, Juni 1966	Naturschutzgebiet Nord-Sylt	
Heft Nr. 7, Dezember 1966	Landschaft und Moselausbau	
Heft Nr. 8, Juni 1967	Rechtsfragen der Landespflege	- vergriffen -
Heft Nr. 9, März 1968	Landschaftspflege an Verkehrsstraßen	
Heft Nr. 10, Oktober 1968	Landespflege am Oberrhein	
Heft Nr. 11, März 1969	Landschaft und Erholung	- vergriffen -
Heft Nr. 12, September 1969	Landespflege an der Ostseeküste	- vergriffen -
Heft Nr. 13, Juli 1970	Probleme der Abfallbehandlung	- vergriffen -
Heft Nr. 14, Oktober 1970	Landespflege an der Nordseeküste	
Heft Nr. 15, Mai 1971	Organisation der Landespflege	- vergriffen -
Heft Nr. 16, September 1971	Landespflege im Alpenvorland	
Heft Nr. 17, Dezember 1971	Recht der Landespflege	- vergriffen -
Heft Nr. 18, Juli 1972	Landespflege am Bodensee	- vergriffen -
Heft Nr. 19, Oktober 1972	Landespflege im Ruhrgebiet	- vergriffen -
Heft Nr. 20, April 1973	Landespflege im Raum Hamburg	
Heft Nr. 21, November 1973	Gesteinsabbau im Mittelrheinischen Becken	- vergriffen -
Heft Nr. 22, Mai 1974	Landschaft und Verkehr	- vergriffen -
Heft Nr. 23, Oktober 1974	Landespflege im Mittleren Neckarraum	
Heft Nr. 24, März 1975	Natur- und Umweltschutz in Schweden	
Heft Nr. 25, April 1976	Landespflege an der Unterelbe	- vergriffen -
Heft Nr. 26, August 1976	Landespflege in England	
Heft Nr. 27, Juni 1977	Wald und Wild	
Heft Nr. 28, Dezember 1977	Entwicklung Großraum Bonn	
Heft Nr. 29, August 1978	Industrie und Umwelt	

Heft Nr. 30, Oktober 1978	Verdichtungsgebiete und ihr Umland	- vergriffen -
Heft Nr. 31, Oktober 1978	Zur Ökologie des Landbaus	- vergriffen -
Heft Nr. 32, März 1979	Landespflege in der Schweiz	
Heft Nr. 33, August 1979	Landschaft und Fließgewässer	- vergriffen -
Heft Nr. 34, April 1980	20 Jahre Grüne Charta	
Heft Nr. 35, Oktober 1980	Wohnen in gesunder Umwelt	
Heft Nr. 36, Januar 1981	Neues Naturschutzrecht	- vergriffen -
Heft Nr. 37, Mai 1981	Umweltprobleme im Rhein-Neckar-Raum	
Heft Nr. 38, Juni 1981	Naturparke in Nordrhein-Westfalen	- vergriffen -
Heft Nr. 39, September 1982	Naturpark Südeifel	
Heft Nr. 40, Dezember 1982	Waldwirtschaft und Naturhaushalt	- vergriffen -
Heft Nr. 41, März 1983	Integrierter Gebietsschutz	- vergriffen -
Heft Nr. 42, Dezember 1983	Landespflege und Landwirtschaft	- vergriffen -
Heft Nr. 43, November 1984	Talsperren und Landespflege	
Heft Nr. 44, November 1984	Landespflege in Frankreich	
Heft Nr. 45, Dezember 1984	Landschaftsplanung	- vergriffen -
Heft Nr. 46, August 1985	Warum Artenschutz?	- vergriffen -
Heft Nr. 47, Oktober 1985	Flächensparendes Planen und Bauen	- vergriffen -
Heft Nr. 48, Dezember 1985	Naturschutzgebiet Lüneburger Heide	- vergriffen -
Heft Nr. 49, März 1986	Gefährdung des Bergwaldes	- vergriffen -
Heft Nr. 50, Juli 1986	Landschaften nationaler Bedeutung	
Heft Nr. 51, Dezember 1986	Bodenschutz	- vergriffen -
Heft Nr. 52, Juli 1987	Natur- und Umweltschutz in Österreich	
Heft Nr. 53, Dezember 1987	25 Jahre Deutscher Rat für Landespflege	
Heft Nr. 54, April 1988	Zur Entwicklung des ländlichen Raumes	- vergriffen -
Heft Nr. 55, September 1988	Eingriffe in Natur und Landschaft	- vergriffen -
Heft Nr. 56, Dezember 1988	Zur Umweltverträglichkeitsprüfung	- vergriffen -
Heft Nr. 57, November 1989	Erholung/Freizeit und Landespflege	- vergriffen -
Heft Nr. 58, Dezember 1989	Wege zu naturnahen Fließgewässern	- vergriffen -
Heft Nr. 59, April 1991	Naturschutz und Landschaftspflege in den neuen Bundesländern	

Heft Nr. 60, Dezember 1991	Natur- und Umweltschutz in Italien	
HeftNr. 61, April 1992	Natur in der Stadt	- vergriffen -
Heft Nr. 62, Juni 1993	Truppenübungsplätze und Naturschutz	- vergriffen -
Heft Nr. 63, Oktober 1993	Wege zur umweltverträglichen Landnutzung in den neuen Bundesländern	- vergriffen -
Heft Nr. 64, November 1994	Konflikte beim Ausbau von Elbe, Saale und Havel	
Heft Nr. 65, Dezember 1994	Ökologische Umstellungen in der industriellen Produktion	
Heft Nr. 66, Dezember 1995	Pflege und Entwicklung der Potsdamer Kulturlandschaft	
Heft Nr. 67, April 1997	Leitbilder für Landschaften in „peripheren Räumen“	
Heft Nr. 68, Oktober 1997	Betrachtungen zur „Grünen Charta von der Mainau“ im Jahre 1997	
Heft Nr. 69, November 1998	Wege zur umwelt- und raumverträglichen Auto-Mobilität	
Heft Nr. 70, November 1999	Landschaften des Mitteldeutschen und Lausitzer Braunkohlentagebaus	
Heft Nr. 71, Juli 2000	Honorierung von Leistungen der Landwirtschaft für Naturschutz und Landschaftspflege	
Heft Nr. 72, Oktober 2001	Die Integration Polens in die EU: Herausforderungen für den Naturschutz – eine Annäherung	
Heft Nr. 73, Juni 2002	Gebietsschutz in Deutschland: Erreichtes – Effektivität – Fortentwicklung	
Heft Nr. 74, Dezember 2002	Die verschleppte Nachhaltigkeit: frühe Forderungen – aktuelle Akzeptanz	
Heft Nr. 75, Dezember 2003	Naturschutz in Deutschland – eine Erfolgsstory?	
Heft Nr. 76, Mai 2004	Der Beitrag der Waldwirtschaft zum Aufbau eines länderübergreifenden Biotopverbundes	
Sonderheft, Oktober 2004	Leitfaden für die Erarbeitung verbandlicher Stellungnahmen	
HeftNr. 77, Mai 2005	Landschaft und Heimat	
HeftNr. 78, Februar 2006	Freiraumqualitäten in der zukünftigen Stadtentwicklung	

Bestellungen von *lieferbaren* Heften unserer Schriftenreihe zum Preis von 5,50 Euro pro Exemplar zzgl. Mwst. und Versandkosten richten Sie bitte an das

Druckcenter Meckenheim

Eichelnkampstr. 2

53340 Meckenheim

Tel. 02225 / 88 93-550

Fax 02225 / 88 93-558

eMail: zentrale@druckcenter.de

Vergriffene Veröffentlichungen können bei der Geschäftsstelle entliehen werden.

Deutscher Rat für Landschaftspflege

Schirmherr:	Bundespräsident Professor Dr. Horst KÖHLER
Ehrenmitglieder:	Professor em. Dr. Dr. h. c. Wolfgang HABER, München Lehrstuhl für Landschaftsökologie der Technischen Universität München -Weihenstephan
Vorstand:	Professor Dr. Werner KONOLD, Freiburg – Sprecher Institut für Landschaftspflege der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Professor Dr. Beate JESSEL, München – Stellvertretende Sprecherin Lehrstuhl für Strategie u. Management d.Landschaftsentwicklung der Technischen Universität München Dr.-Ing. Thomas GRÜNEBAUM, Essen – Geschäftsführer Ruhrverband
Ordentliche Mitglieder:	Professor Dr. Josef BLAB, Bonn Bundesamt für Naturschutz Professor Dr.-Ing. Klaus BORCHARD, Bonn Akademie für Raumforschung und Landesplanung Professor Dr. Wilfried ERBGUTH, Rostock Juristische Fakultät der Universität Rostock Professor Dr. Günther FRIEDRICH, Krefeld Dipl.-Ing. Adrian HOPPENSTEDT, Hannover HHP Hage + Hoppenstedt Partner Professor Dr. Ulrich KÖPKE, Bonn Professur Organischer Landbau an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn Professor Dr. Hans Walter LOUIS LL.M., Hannover Niedersächsisches Umweltministerium Professor Dr. Konrad OTT, Greifswald Professur für Umweltethik, Fachrichtung Landschaftsökologie, Botanisches Institut und Botanischer Garten, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald Dipl.-Volksw. Ulrich PETSCHOW, Berlin Institut für ökologische Wirtschaftsforschung Dipl.-Forstwirt Olaf SCHMIDT, Freising Präsident der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Professor Dr. Uta STEINHARDT, Eberswalde Fachbereich Landschaftsnutzung und Naturschutz der Fachhochschule Eberswalde Professor em. Dr. Dr. h. c. Herbert SUKOPP, Berlin Institut für Ökologie der Technischen Universität Berlin
Korrespondierende Mitglieder:	Professor em. Dr. Dr. h. c. Ulrich AMMER, München Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz der Technischen Universität München Dr. Gerta BAUER, Lüdinghausen Büro für Landschaftsökologie und Umweltplanung Professor Dr. Thomas EIKMANN, Gießen Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen Professor Reinhard GREBE, Nürnberg Freier Landschaftsarchitekt BDLA Professor em. Dr. Wilhelm HENRICHSMEYER, Bonn Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn Professor Dr. Herwig HULPKE, Wuppertal Forstdirektor a. D. Volkmar Th. LEUTENEGGER, Konstanz Stellvertretender Vorsitzender der Lennart-Bernadotte-Stiftung Dr. Helmut MEUSER, Osnabrück Fachhochschule Osnabrück Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur (A&L) Universitätsprofessor em. Wolfram PFLUG, Bisingen Professor em. Dr. Manfred RENGGER, Berlin Institut für Ökologie - FB 7 der TU Berlin Dir. und Professor Dr. h. c. Johann SCHREINER, Schneverdingen Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz (NNA) Professor em. Dr. Dr. h. c. Lore STEUBING, Gießen Institut für Pflanzenökologie der Justus-Liebig-Universität Gießen Professor Dr. Michael SUCCOW, Greifswald Direktor des Instituts für Botanik und Landschaftsökologie und des Botanischen Gartens der Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald Professor Dr. Eberhard WEISE, Monheim
Geschäftsstelle:	Konstantinstr. 110 • 53179 Bonn Telefon: 0228/ 33 10 97 • Telefax: 0228/ 33 47 27 • E-Mail: DRL-Bonn@t-online.de

