



BMVBS-Online-Publikation, Nr. 27/2010

## Globale und regionale Verteilung von Biomassepotenzialen

Status-quo und Möglichkeiten der Präzisierung

### Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im  
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Bearbeitung

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH (DBFZ)  
Dr.-Ing. Daniela Thrän, Marcel Buchhorn, Katja Bunzel,  
Ulrike Seyfert, Vanessa Zeller

Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.  
Prof. Dr. Klaus Müller, Dr. Bettina Matzdorf, Nadin Gaasch,  
Kristian Klöckner, Inga Möller, Anja Starick, Juliane Brandes

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Dr. Kurt Günther, Markus Tum

Institut für landwirtschaftliche Betriebslehre (ILB)  
Prof. Dr. Jürgen Zeddies, Dr. Nicole Schönleber,  
Wilhelm Gamer

Johann Heinrich von Thünen Institut (vTI)  
Dr. Jörg Schweinle, Dr. Holger Weimar

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Berlin  
Nilgün Parker

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Bonn  
Alexander Wacker

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Zitierhinweise

BMVBS (Hrsg.): Globale und regionale Verteilung von Biomassepotenzialen.  
Status-quo und Möglichkeiten der Präzisierung. BMVBS-Online-Publikation 27/2010.

Die vom Auftragnehmer vertretene Auffassung ist nicht unbedingt mit der  
des Herausgebers identisch.

ISSN 1869-9324

© BMVBS November 2010

Ein vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) gefördertes  
und vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bau-  
wesen und Raumordnung (BBR) betreutes Projekt.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>0</b>	<b>Executive Summary</b> .....	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>Hintergrund</b> .....	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>Zielstellung</b> .....	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>Definitionen</b> .....	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>Szenarienansatz</b> .....	<b>22</b>
4.1	<i>Szenarien für die Potenzialermittlungen</i> .....	23
4.1.1	Szenarientreiber .....	23
4.1.2	Szenarienbeschreibung .....	24
4.2	<i>Szenarien zur räumlichen Verteilung der Biomasseproduktion in Westsachsen</i> ..	26
<b>5</b>	<b>Regionale Biomassepotenziale</b> .....	<b>27</b>
5.1	<i>Stoffstrombasierte Potenzialberechnungen</i> .....	27
5.1.1	Landwirtschaftliche Biomasse .....	27
5.1.2	Forstwirtschaftliche Biomasse .....	31
5.1.3	Reststoffe .....	32
5.1.4	Technische Brennstoffpotenziale für Deutschland und IEKP-Ziele .....	35
5.2	<i>Raumverträgliche Bioenergiebereitstellung – Steuerungsmöglichkeiten auf der Ebene der Regionalplanung</i> .....	37
5.2.1	Methodischer Ansatz .....	38
5.2.2	Steuerungsbedarf der Bioenergiebereitstellung am Beispiel der Planungsregion Westsachsen .....	40
5.2.3	Räumliche Steuerung der Bioenergiebereitstellung – Möglichkeiten und Grenzen der Regionalplanung .....	46
5.2.4	Übertragbarkeit der angewandten Methode und der Untersuchungsergebnisse sowie weiterer Forschungsbedarf .....	52
5.3	<i>Handlungsempfehlungen zur Erhöhung der theoretischen Steuerungswirkung auf regionaler Ebene</i> .....	54
<b>6</b>	<b>Globale Biomassepotenziale</b> .....	<b>59</b>
6.1	<i>Landwirtschaftliche Biomassen</i> .....	60
6.1.1	Allgemeine Vorgehensweise .....	60
6.1.2	Ergebnisse .....	61
6.1.3	Fazit .....	69
6.2	<i>Forstwirtschaftliche Biomassen</i> .....	71
6.2.1	Problemstellung .....	71
6.2.2	Vorgehensweise .....	72
6.2.3	Szenarien .....	72
6.2.4	Ergebnisse .....	73
6.2.5	Diskussion und Zusammenfassung .....	78
6.3	<i>Reststoffe</i> .....	80
6.3.1	Stroh .....	81
6.3.2	Exkrememente aus der Nutztierhaltung .....	82
6.3.3	Waldrestholz .....	83
6.3.4	Siedlungsabfall .....	84
6.3.5	Industrierestholz .....	86

---

6.3.6	Produktionsspezifische Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle .....	87
6.3.7	Fazit .....	88
6.4	<i>Importbiomassen für Deutschland</i> .....	89
6.5	<i>Fernerkundung von Biomasseressourcen</i> .....	93
6.5.1	Hintergrund und Zielstellungen .....	93
6.5.2	Methodik .....	95
6.5.3	Ergebnisse .....	97
6.5.4	Gesamtbewertung und Schlussfolgerungen .....	105
6.5.5	Handlungsempfehlungen .....	105
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>107</b>
<b>8</b>	<b>Handlungsempfehlungen</b> .....	<b>110</b>

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

(A)ATSR	(Advanced) Along Track Scanning Radiometer
Abb.	Abbildung
Abschn.	Abschnitt
AEP	Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung
AFP	Agrarfachplanung
AGr	Ackergras
AL	Ackerland
AUM	Agrarumweltmaßnahme
B	Bioenergie-Szenario
BA	Burnt Area
BAU	Business as usual - Szenario
BauGB	Baugesetzbuch
BAU&U+E	Business as usual mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen und Ernährungswandel - Flächenszenario
BEF	Biomasseexpansionsfaktor
BEK	Biomasseentwicklungskonzept
BEPS	Boreal Ecosystem Productivity Simulator
BETHY/DLR	Biosphere Energy Transfer Hydrology Model modified and expanded by DLR
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
bspw.	beispielsweise
BtL	Biomass to Liquid
BWI <sup>2</sup>	Zweite Bundeswaldinventur
bzgl.	bezüglich
B&U	Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen - Szenario
ca.	circa
CCI	Climate Change Initiative
CF	Continuous Field
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CYCLOPES	Carbon cycle and Change in Land Observational Products from an Ensemble of Satellites, Name eines EU-FP5 Projekts
DFD	Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum
d. h.	das heißt
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
e. V.	eingetragener Verein
ebd.	ebenda
ECMWF	European Center for Medium-Range Weather Forecast
ECV	Essential Climate Variable
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFP	Energiefachplanung
EJ	Exajoule
ESA	European Space Agency
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
evt.	eventuell
EW	Einwohner
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FK	Flächenkonkurrenzen
GBA2000	Global Burnt Area 2000, Initiative der Europäischen Kommission
gfP	gute fachliche Praxis
ggf.	gegebenenfalls
GIS	Geoinformationssystem
GL	Dauergrünland
GLC2000	Global Landcover Characteristics 2000

---

GlobCarbon	Name eines ESA Projekts
GLOBSCAR	GLObal Burn SCAR, Name eines ESA Projekts
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GOME	Global Ozone Monitoring Experiment
GPP	Gross Primary Productivity (Gesamte-Primär-Produktion)
GPS	Ganzpflanzensilage
GUS	Gemeinschaft Unabhängiger Staaten
GVE	Großvieheinheiten
ha	Hektar
HA	Harmonische Analyse
i. d. R.	in der Regel
IEKP	Integriertes Klima- und Energieprogramm
IKONOS	Name eines kommerziellen Erdbeobachtungssatellit der Firma GeoEye
ILE	Richtlinie „Integrierte Ländliche Entwicklung“
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in the European Community
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
KUP	Kurzumtriebsplantage
L3JRC	Global VGT burnt area product 2000 - 2007
LAG	Lokale Aktionsgruppe
LAI	Leaf Area Index
LANDSAT	Name für eine amerikanische Satellitenreihe der NASA
LCCS	Land Cover Classification System
LCLU	Land Cover and Land Use
LEADER	Liaison entre actions de développement de l'économie rurale
LRP	Landschaftsrahmenplan
m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
MARS	Meteorological Archival and Retrieval System
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer
Mio.	Million
MJ	Megajoule
MKRO	Ministerkonferenz für Raumordnung
mm	Millimeter
MMK	Mittelmaßstäblichen Landwirtschaftlichen Standortkartierung
MOD44B	Bezeichnung für das MODIS-CF Produkt
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MODIS-CF	MODIS - Continuous Field
Mrd.	Milliarde
MW	Megawatt
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NawaRo	nachwachsende Rohstoffe
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
nFKWe	nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum
NKGCF	Nationales Komitee für Global Change Forschung
NPP	Net Primary Productivity (Netto-Primär-Produktion)
NUTS	Nomenclature des unités territoriales statistiques
nZP	Durchschnittlicher jährlicher Zuwachs in Plantagen
nZW	durchschnittlicher jährlicher Nettozuwachs im produktiven Wald
o. J.	ohne Jahresangabe
o. R.	ohne Rinde
PCB	PolyChlorierte Biphenyle
PF	Plantagenfläche

---

---

PJ	Petajoule
POSTEL	Pole d'Observation des Surfaces continentales par TELedetection
pWF	Produktive Waldfläche
REK	Regionale Entwicklungskonzepte
RELU	Rural Economy Landuse Programm
RMSE	Root Mean Squared Error
ROG	Raumordnungsgesetz
RP	Regionalplan
RPO	globales nachhaltiges Rohholzpotenzial
RPV	Regionaler Planungsverband
RV	Rohholzverbrauch
S.	Seite
SIR-C	Spaceborne Imaging Radar operating in the C-band
SNG	Synthetic Natural Gas
s. o.	siehe oben
s. u.	siehe unten
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre, Name eines französischen Satelliten
sog.	sogenannt
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
SUP	Strategische Umweltprüfung
SUPG	Gesetz zur Einföhrig einer Strategischen Umweltprüfung und zur Umsetzung der Richtlinie 2001/42/EG
t	Tonne
Tab.	Tabelle
TdR	Träger der Regionalplanung
THG	Treibhausgas
TM	Trockenmasse
TP	Teilprojekt
tsd.	tausend
u. a.	unter anderem
UA	Umweltauswirkungen
ÜG	Überschwemmungsgebiet
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
USD	US Dollar
uRPO	Ungenutztes Rohholzpotenzial
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
v. a.	vor allem
vgl.	vergleiche
VBG	Vorbehaltsgebiet
VEGETATION	Name eines französischen Sensors an Bord von SPOT 4 und SPOT 5
VEF	Volumenexpansionsfunktion
VRG	Vorranggebiet
WBGU	Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
WGS84	World Geodetic System 1984
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRH	Waldrestholz
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
ZKN	Zweikulturnutzung

## 0 EXECUTIVE SUMMARY

Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm (IEKP) und der nationale Biomasseaktionsplan der Bundesregierung setzen ambitionierte Ziele für den weiteren Ausbau der Bioenergie bis 2020. So soll der Anteil der Energiebereitstellung aus Biomasse am gesamten Stromverbrauch auf 8 % und an der gesamten Wärmeversorgung auf 9,7 % erhöht werden. Der Anteil der Biokraftstoffe am gesamten Kraftstoffverbrauch soll bis 2020 auf 12 % (energetisch) steigen.

Ziel dieses Projektes ist es, die Möglichkeiten zur Umsetzung der IEKP-Ziele im regionalen und globalen Kontext einzuschätzen. In unterschiedlichen Entwicklungsszenarien werden bis zum Jahr 2020 die Potenziale unterschiedlicher Biomassen sowohl im regionalen als auch im globalen Maßstab ermittelt. Es wird zudem untersucht, inwiefern die Fernerkundung zur besseren räumlichen Spezifizierung von Biomasseressourcen und als Monitoringsystem zur Früherkennung von Landnutzungsänderungen dienen könnte. Auf der regionalen Ebene werden weiterhin die räumlichen Implikationen der energetischen Biomassenutzung hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen sowie Flächenkonkurrenzen analysiert sowie Synergieeffekte für die räumliche Entwicklung ermittelt, um spezifische Aussagen zur Raumwirksamkeit der Bioenergiebereitstellung und zu den Möglichkeiten der räumlichen Steuerung zu treffen.

Im Rahmen des Projektes fand vom 31. März bis 1. April 2009 eine **internationale Tagung zum Thema „Biomass in Future Landscapes – Nachhaltige Biomassenutzung und Raumentwicklung“** mit ca. 400 internationalen politischen Entscheidungsträgern und Experten aus den Bereich des Umwelt- und Agrarsektors sowie der Umwelt- und Raumplanung statt. Im Mittelpunkt der Diskussionen standen die nachhaltige Nutzung von Biomasse im Spannungsfeld steigender Nachfrage, zunehmender räumlicher und ökologischer Auswirkungen sowie der daraus resultierende Handlungsbedarf. Die Ergebnisse der Tagung sind in Form eines Tagungsbandes veröffentlicht.

Die Inhalte der weiteren Arbeitspakete, die angewendete Methodik, die erzielten Ergebnisse sowie die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen werden im Folgenden dargestellt:

Mittels **Stoffstromanalysen auf Grundlage statistischer Daten** ergibt sich für Deutschland ein technisches Brennstoffpotenzial von land- und forstwirtschaftlichen Biomassen sowie Reststoffen für 2020 von insgesamt ca. 1,5 bis 1,8 EJ/a. Damit ist die Rohstoffbasis für die Deckung der IEKP-Ziele grundsätzlich gegeben. Unter den getroffenen Annahmen ist in allen drei untersuchten Szenarien (Business as usual, Bioenergie, Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen) eine Übererfüllung der IEKP-Ziele für Strom und Wärme mit einheimischer Biomasse zu verzeichnen (in 2020 ca. 16 – 20 %iger Anteil Biomasse am gesamten Stromverbrauch und ca. 22 – 26 %iger Anteil an gesamter Wärmeversorgung), während das Kraftstoffziel von 12 % höchstens zu zwei Dritteln erfüllt werden kann. Begründet liegt dies in der Szenarienannahme zum Anbaumix von Energiepflanzen, wodurch die Bereitstellung von Rohstoffen für die Biokraftstoffproduktion (gegenwärtig maßgeblich Raps, Getreide und Zuckerrübe) höchstens auf 1,7 Mio. ha Ackerflächen erfolgt (entspricht etwa der Hälfte der potenziellen Anbauflächen für Energiepflanzen in Deutschland). Werden die verfügbaren Potenziale weitgehend genutzt, ist für Deutschland in etwa eine Verdoppelung des heute vorhandenen Bioenergieanlagenparks sowie dessen Erweiterung um innovative Technologien (SNG, BtL etc.) möglich.

Die Umsetzung der IEKP-Ziele mit Hilfe von einheimischer Biomasse kann auf der regionalen Ebene Konflikte hervorrufen, wenn die Erfordernisse der Bioenergiebereitstellung anderen gesellschaftlichen, ökonomischen und ökologischen Zielen entgegenstehen. Die Untersuchung der **räumlichen Wechselwirkungen** am Beispiel der Planungsregion Westsachsen zeigt, dass aus der energetischen Biomassenutzung sowohl negative als auch positive Umweltauswirkungen einerseits sowie Flächenkonkurrenzen aber auch räumliche Synergien andererseits resultieren. Die Ausprägung der räumlichen Wechselwirkungen wird dabei maßgeblich von den lokalen Gegebenheiten des jeweiligen Naturraums in den einzelnen regionalen Teilräumen sowie von den technologischen Anforderungen der Bioenergiebereitstellung bestimmt. Die Definition von Gunst-, Restriktions- und Ausschlussräumen sowohl für bestimmte Fruchtarten bzw. Anbausysteme als auch Gunsträume für Anlagen erweist sich für die Regionalplanung als ein geeignetes Mittel, um die Bioenergiebereitstellung räumlich gezielt zu steuern. Einzelne regionalplanerische Fachbeiträge können diese Informationen bspw. für die Bereiche Naturschutz und Landschaftspflege, Raumnutzungen und technische Infrastruktur abbilden und in Form eines Biomasseentwicklungskonzeptes bündeln, welches wiederum Bestandteil eines regionalen Energiekonzeptes sein kann.

Die Stärken eines solchen Biomasseentwicklungskonzeptes liegen weniger in seiner Steuerungswirkung, die bei einem nicht behördenverbindlichen, informellen Instrument eher gering einzuschätzen ist, als vielmehr in der regionalspezifischen Datenaufbereitung und –verfügbarkeit und der flexiblen und handhabbaren Grundlage für die Regionalplanung zur Bewertung und Entscheidung von raumbedeutsamen Maßnahmen und Vorhaben, auf der ein gesamtträumlicher Abwägungsprozess basiert.

Die Analyse des Regionalplans Westsachsens zeigt, dass obwohl keine gesonderten textlichen oder zeichnerischen Aussagen zur Bioenergiebereitstellung getroffen werden, der Regionalplan zu wesentlichen Teilen des identifizierten Steuerungsbedarfs Aussagen trifft. Dies umfasst nicht nur Aspekte der räumlichen Steuerung von Bioenergieanlagen, sondern auch jene, welche Einfluss auf die landwirtschaftliche Nutzung in den einzelnen Teilräumen nehmen. Dennoch stößt der stark formalisierte Regionalplan an zwei Grenzen. Zum einen ist er zu statisch, als dass mit ihm kurzfristig auf „neue“ Entwicklungen (Technologien, Anbausysteme, Marktentwicklungen etc.) reagiert werden könnte. Zum anderen ist er, um seine Lesbarkeit und somit seine Handhabbarkeit zu gewährleisten, in der Zahl seiner Inhalte beschränkt.

Da das IEKP-Ziel im Bereich Biokraftstoffe voraussichtlich nur eingeschränkt mit Biomasse aus Deutschland umgesetzt werden wird, wird zukünftig die Bedeutung des **Imports von Biomassen und/oder von Bioenergieträgern** zunehmen. Entsprechend sind die künftig global zu erwartenden Biomassepotenziale wie folgt einzuordnen:

- Mittels Stoffstromanalysen basierend auf statistischen Daten und insbesondere unter Anwendung von Produkt-Reststoff-Verhältnissen und einwohnerspezifischen Anfallsraten ergibt sich für biogene Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle (kurz Reststoffe) ein globales Potenzial in der Größenordnung von etwa 30 EJ/a, wobei die Fraktionen Stroh und Waldrestholz die größten Potenziale aufweisen (ca. 13 und 10 EJ/a). Aufgrund des weltweiten Bevölkerungswachstums wird das Reststoffaufkommen tendenziell im Untersuchungszeitraum bis 2020 weiter zunehmen, allerdings wird der Import von Reststoffen bzw. reststoffbürtigen Bioenergieträgern infolge ihrer geringen Energiedichten und teilweise ungünstigen Substrateigenschaften nur eine untergeordnete Rolle spielen. Im Regelfall ist die Vor-Ort-Nutzung aus ökonomischer und ökologischer Sicht sinnvoller.



- Die Ermittlung der globalen technischen Brennstoffpotenziale landwirtschaftlicher Biomassen erfolgt mit Hilfe des GAPP-Simulationsmodells (Globales Agrar-Produktions-Potenzial) in komparativ-statistischen agrarökonomischen Modellrechnungen. In verschiedenen Szenarien bis 2020 wird deutlich, dass die globalen Flächen- und Brennstoffpotenziale im Wesentlichen von der Nahrungsmittelnachfrage einerseits und den Ertragssteigerungen auf begrenzter Ackerfläche andererseits abhängen. Während in den letzten 20 Jahren die Weltagrarmärkte durch strukturelle Überproduktion gekennzeichnet waren, könnte die zukünftige Entwicklung über kurz oder lang zu einer Umkehr hin zu Defizitmärkten führen. Die Kontinente und Teilkontinente entwickeln sich dabei szenarienübergreifend in unterschiedliche Richtungen: während Europa, Nordamerika und Südamerika erhebliche und stabile Flächenpotenziale für die Bioenergiepflanzenproduktion vorhalten können, besteht in Asien und Afrika ein zunehmender Importbedarf an Nahrungsmitteln, der unter der Annahme eines globalen Handelsausgleichs auch eine rechnerische Flächeninanspruchnahme der potenziellen Bioenergieflächen in den anderen Ländergruppen erfordert. Gleichzeitig wird die ggf. zu erwartende Verknappung zu Preiseffekten führen, die Produktionssteigerungen unterstützen. Die Quantifizierung dieser Effekte ist schwierig - nach einem entsprechenden Szenario „Bioenergie“ kann man global ein Flächenpotenzial von 200 Mio. ha/a (Ackerland für Energiepflanzenanbau) erwarten, woraus sich Importpotenziale von flüssigen bzw. gasförmigen Biokraftstoffen für 2020 mit ca. 6,5 EJ/a ableiten. Zusätzlich zu den bereits heute produzierten Biokraftstoffmengen könnten jährlich ca. 187 Mio. t Bioethanol, 31 Mio. t Biodiesel und 6,6 Mrd. m<sup>3</sup> Biomethan bereitgestellt werden (das Dreifache der in 2008 produzierten Menge). Schwerpunktländer der Produktion wären Russland, Brasilien, USA und Indonesien. Die Umsetzung weiterer Standards des Umwelt- und Naturschutzes (keine direkten Landnutzungsänderungen wie z. B. Grünlandumbruch und Rodung von Primärwäldern, weitere Umwidmung von 2 % Ackerfläche zu Naturschutzzwecken ohne landwirtschaftliche Nutzung) reduziert dieses Potenzial ggf. erheblich.
- Als weiteres Potenzial wird der Energiepflanzenanbau auf degradierten Flächen genannt. Für diese werden sehr unterschiedliche Ausdehnungen angegeben (von 6 bis zu 35 Mio. km<sup>2</sup>), und sie zeigen ein sehr breites Spektrum an Bodenqualität und Ertragserwartungen, Vornutzungen etc. Damit ist eine generelle Einordnung dieses Flächenpotenzials nicht möglich. Synergien zwischen Flächenaufwertung und Biomasseproduktion - auch zur Bereitstellung für internationale Märkte - können sehr wohl möglich sein.
- Im Bereich der forstwirtschaftlichen Biomassen zeigt die Auswertung von Statistiken und Trendfortschreibung von Datenreihen zur globalen Entwicklung der Wälder sowie regionalen und länderspezifischen Informationen, dass die weltweiten Waldflächen bis 2020 weiter abnehmen, während die Plantagenflächen weiter zunehmen. Das weltweite Rohholzpotenzial im Jahr 2020 wird in Abhängigkeit vom gewählten Szenario auf zwischen 3,2 bis 4,2 Mrd. t<sub>atro</sub> geschätzt. Beruhend auf der Verknüpfung von Zeitreihen zu Produktions- und Verbrauchsmengen mit der Entwicklung des Bruttoinlandprodukts und der Bevölkerung in den betrachteten Ländern erfolgt die Berechnung der Rohholzproduktion und des Rohholzverbrauchs. Eine Gegenüberstellung mit dem weltweiten Rohholzverbrauch zeigt, dass auch nach Abzug der stofflichen Nutzung das Rohholzpotenzial im Jahr 2020 insgesamt nicht ausgeschöpft würde und damit zusätzlich für die energetische Nutzung zur Verfügung stände. Nur in einigen afrikanischen, asiatischen und europäischen Ländern läge der Rohholzverbrauch über dem nachhaltig verfügbaren Rohholzpotenzial. Diese Länder müssten, um den für das Jahr 2020 berechneten Rohholzverbrauch decken zu können, entweder mehr Holz importieren oder mehr Rohholz aus heimischen Wäldern nutzen als nachhaltig

verfügbar wäre. Kurzfristig würde dies zu einer Absenkung des Holzvorrats führen; mittel- bis langfristig wäre eine Degradation der Wälder die Folge. Große Rohholzpotenziale in Russland, Nordamerika und Brasilien sollten auch nicht drüber hinwegtäuschen, dass deren Mobilisierung eine große Herausforderung (ökonomisch und ökologisch) darstellen würde. Je nach Szenario ergibt sich ein globales technisches Brennstoffpotenzial im Jahr 2020 zwischen 36 bis 57 EJ/a. Grundsätzlich stellen diese Brennstoffe einen aussichtsreichen Rohstoff für künftige Biokraftstoffe wie BtL oder SNG dar; wegen der noch zu erwartenden Entwicklungs- und Markteinführungszeiträume würde sich bis 2020 jedoch nur ein geringes Importpotenzial für Kraftstoffe der zweiten Generation ergeben.

Vor dem Hintergrund global knapper werdender Flächen erhält die Forderung eines nachhaltigen und effizienten Umgangs mit den vorhandenen Flächen einen höheren Stellenwert. Mit der Entwicklung von Nachhaltigkeitsstandards und Zertifizierungssystemen für Biokraftstoffe werden gegenwärtig u. a. etablierte Ansätze aus der Forstwirtschaft auf den Energiepflanzenanbau übertragen und möglicherweise die Anwendung auf die Nahrungs- und Futtermittelproduktion und die stoffliche Nutzung vorbereitet. Monitoringsysteme zur Früherkennung von Landnutzungsänderungen müssen den Ausbau globaler Biomassemärkte begleiten. Ein solches Flächenscreening im km-Maßstab könnte mit Hilfe von **Fernerkundungsdaten** und deren Verarbeitung in einem Vegetationsmodell (BETHY/DLR) realisiert werden. Nachdem in diesem Projekt in Ländergruppen lineare Zusammenhänge zwischen Fernerkundungsdaten und statistischen Informationen erreicht werden konnten (für forstwirtschaftliche Flächen von bis zu 94 % und für landwirtschaftliche Flächen bis zu 74 %) sollte die Entwicklung eines solchen Werkzeuges in den nächsten drei bis fünf Jahren möglich sein. Entsprechende Entwicklungsaktivitäten werden gegenwärtig von der European Space Agency-Climate Change Initiative auf den Weg gebracht. Weiterhin kann die Fernerkundung mittelfristig die Datengrundlage zur Abschätzung von land- und forstwirtschaftlichen Biomasseressourcen insbesondere in den Ländern verbessern, wo die statistische Datenlage lückenhaft ist (z. B. Forstdaten in Afrika und Asien) und regionale „hot spots“ der Biomasseressourcen identifiziert werden.

Die Projektergebnisse machen deutlich, dass die IEKP-Ziele der Bundesregierung bis 2020 hinsichtlich der Nutzung von Bioenergie erreicht und damit nennenswerte Klimagaseinsparungen erwartet werden können, aber auch Wechselwirkungen von globalen und regionalen Effekten induziert werden. Dies umfasst Unsicherheiten bei der Verfügbarkeit künftiger Flächenpotenziale unter dem Postulat der Ernährungssicherung, die Notwendigkeit effizienter Nutzungssysteme sowie die generelle Debatte um die Begrenztheit der Rohstoffe und der damit verbundenen Verteilungsprobleme. Für eine nachhaltige regionale Bioenergiebereitstellung ergibt sich hieraus die Notwendigkeit flexiblerer Systeme, die der Ansatz und die Instrumente von IEKP bisher nur eingeschränkt aufweisen. Dies stellt auch die Raumordnung vor neue Herausforderungen.

Da die Wirkungen der energetischen Biomassenutzung sowohl global als auch national und regional Effekte zeigen, ergeben sich **Handlungsempfehlungen** für alle drei Ebenen.

Die IEKP-Ziele für die Bioenergie bzw. das **Zielsystem der Bioenergienutzung ist weiterzuentwickeln**. Insbesondere müssen mögliche zukünftige Zielkonflikte (z. B. Beitrag zum Klimaschutz oder Versorgungssicherheit) vor dem Hintergrund knapper werdender Ressourcen in der Gesellschaft diskutiert und abgewogen werden. Auf nationaler Ebene könnte z. B. ein runder Tisch „Bioenergie“ Ausgangspunkt für einen solchen gesellschaftspolitischen Diskurs über die IEKP-Ziele sein. Der IEKP-Ansatz mit definierten Zielen für einzelne Segmente (wie Biokraftstoffe) und die

ebenfalls mit einer bestimmten Mengennachfrage einhergehende Biokraftstoffziele der EU führen zu einer fixen Nachfrage nach Rohstoffen, die absehbar auf der Basis von Nahrungsmitteln produziert werden und etwaige Verknappungsreaktionen weiter anheizen. Es sollte daher nach Steuerungsansätzen gesucht werden, die eine Stabilisierung der Nahrungsmittelversorgung unterstützen. Solche **Mechanismen zur Erreichung der IEKP-Ziele müssen angepasst sein** und auf europäischer Ebene initiiert werden. Die Weiterentwicklung etwaiger Instrumente müsste auf jeden Fall eine höhere Flexibilität beinhalten.

Die energetische Nutzung von biogenen Reststoffen geht in der Regel mit vergleichsweise günstigen Umweltauswirkungen einher, jedoch wird deren Erschließung teilweise durch den dezentralen Anfall, die heterogenen und teilweise ungünstigen Brennstoffeigenschaften und die lückenhafte Datenlage zur Verfügbarkeit erschwert. Daher müssen die **Voraussetzungen für eine umfassende Erschließung der Reststoffpotenziale** geschaffen werden. Diese könnten u. a. die Bereitstellung systematischer, räumlich aufgelöster Informationen und zielgerichteter Förderinstrumente umfassen.

Auf der regionalen Ebene könnten **regional verankerte Energiekonzepte einen wichtigen Baustein zur Versorgungssicherheit leisten**. Bei der Erstellung von Anlagenkonzepten sollte beachtet werden, dass sowohl Rohstoffproduzenten als auch Energieversorger und/oder Endenergieverbraucher beteiligt sind, so dass auf der Basis langfristiger Vereinbarungen die Kontinuität der Produktion auch bei Agrarpreisschwankungen gesichert und spekulative Mitnahmeeffekte reduziert werden können. Für die Konzeption und Umsetzung regionaler Energiekonzepte sind entsprechende Ressourcen und Informationen vorzusehen.

Die energetische Biomassenutzung in Form des Energiepflanzenanbaus erhöht den Flächennutzungsdruck landwirtschaftlicher Flächen zusätzlich zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Die sich insgesamt abzeichnende Rohstoffverknappung erfordert eine **zielgerichtete Ressourcennutzung, sowohl im Hinblick auf die Flächeninanspruchnahme als auch in Richtung Umwandlungseffizienz** von Bioenergie und Klimagasvermeidung.

Zur Umsetzung der flächenspezifischen Anforderungen der Bioenergiebereitstellung sollte die **Steuerungswirkung durch die Regionalplanung gestärkt werden**. Eine wesentliche Maßnahme ist die Ergänzung der formellen Regionalplanung durch informelle Planungsansätze. Teilkonzepte regionaler Energiekonzepte können, auch kurzfristig eingesetzt, eine geeignete Bewertungs- und Entscheidungsgrundlage bieten, um die Biomassenutzung für energetische Zwecke raum- und regionalverträglich zu gestalten. Ein partizipativ angelegter Planungsprozess kann zugleich das Handeln der Regionalplanung gesellschaftlich und politisch stärker legitimieren. Ziel sollte es schließlich sein, relevante Aussagen aus informellen Prozessen zukünftig, im Rahmen der Fortschreibung des Regionalplans, unter Abwägung bestehender Ziele und Grundsätze, zu integrieren. Mit der Institutionalisierung einer Agrarfachplanung sowie einer Energiefachplanung könnten die für die Umsetzung des beschriebenen Planungsprozesses relevanten Informationen bereitgestellt werden.

Im globalen Kontext sollten **alle Möglichkeiten einer nachhaltigen Agrarproduktion und Forstwirtschaft** unterstützt werden, um weltweit alle nachhaltigen land- und forstwirtschaftlichen Produktionspotenziale zu nutzen. Wichtige Aspekte sind hier: Intensivierung und Systematisierung der Agrarforschung zur Erzielung hoher Ertragsfortschritte, Verhinderung und Vermeidung von Entwaldung, Aufforstung degradierter Flächen, Technologietransfer sowie konsequentes Wasser-

und Flächenmanagement zur Etablierung leistungsfähiger Agrarmanagementsysteme, systematische Analyse und Reduzierung landwirtschaftlicher Klimagase, Sicherung von Landrechten und Teilhabe der Bevölkerung vor Ort sowie Ausrichtung der energetischen Nutzung von land- und forstwirtschaftlichen Biomassen an der erzielbaren Klimagaseinsparung.

Die Ansätze zur Stärkung einer nachhaltigen Landnutzung sollten auch in **internationalen Kooperationen** bilateral vorangebracht werden. Chancen für internationale Kooperationen bestehen vor allem auf dem Gebiet der Standardisierung von Biomassen, Bioenergieträgern, Transport und Logistik. Internationale Projekte sind vor allem dann förderungswürdig, wenn sich der Ausbau der Infrastruktur und Energieversorgung in ländlichen Räumen in Schwellen- und Entwicklungsländern sinnvoll koppeln lassen. Ein vielversprechendes Forschungsthema stellt die Nutzung degradierter Flächen dar (Technologie- und Wissenstransfer). Die umsichtige Erschließung dieser Ressourcen erfordert eine einzelfallspezifische Betrachtung, so dass bis 2020 vor allem möglichst vielfältige Modellprojekte für die Umsetzung der Synergien zwischen Flächenaufwertung und Biomasseproduktion zu konzeptionieren und implementieren sind. Zudem sind insbesondere Kooperationen mit Osteuropa eine interessante Option, da in dieser Ländergruppe zukünftig große landwirtschaftliche Flächenpotenziale zu erwarten sind und bereits eine geeignete Infrastruktur existiert (u. a. Gasnetze zur Biomethaneinspeisung).

International, national und regional sind zunehmende Kapazitäten zur Bioenergiebereitstellung zu erwarten. Um regionale „hot spots“ der Landnutzungsänderungen und der Biomasseproduktion zu ermitteln, sollte ein **Monitoring mittels Fernerkundung** aufgebaut werden. Regional könnten Indikatoren helfen, den Umsetzungsstand und das weitere Potenzial der Bioenergienutzung zu beschreiben und aus der Vielzahl der regional verfügbaren Informationen zielgerichtete Bewertungsparameter für die regionalen Strategien und Handlungsansätze zu erhalten.

The German Government's Integrated Energy and Climate Programme (IEKP) and the National Biomass Action Plan set ambitious targets for the further development of bioenergy until 2020. The share of energy from biomass is supposed to reach 8 % and 9.7 % of the total power consumption and of the total heat usage, respectively. The share of biofuels on the total use of fuels for transportation should rise up to 12 %.

This project aims to assess the possibilities of achieving the IEKP targets for bioenergy in a regional and global context. On a regional as well as global level, the potentials of different biomasses were determined in different development scenarios until 2020. Furthermore, it is investigated in which way remote sensing could contribute to an improved spatial specification of biomass resources and whether it could be used as a monitoring system for the early detection of land use changes. On the regional level, the spatial implications of the energetic use of biomass were analysed with regard to environmental effects and land use conflicts. In addition, synergetic effects for the spatial development were determined to make specific statements about the spatial effects of the provision of bioenergy and about the possibilities of spatial planning.

In the course of this project, an international conference took place dealing with the topic "Biomass in Future Landscapes – Sustainable Use of Biomass and Spatial Development". Around 400 international experts discussed questions concerning the sustainable use of biomass in spite of rising demand, increasing spatial and ecological impacts as well as the resulting needs for action. The results of the conference are published as a conference volume.

The contents of the other work packages, the methodology, the results, the conclusions and recommendations are presented in the following sections.

On the basis of statistical data a technical potential of 1.5 to 1.8 EJ/a results for Germany from agricultural and forestry biomasses as well as residues in the year 2020. Therefore, the resources necessary to meet the IEKP targets are, in principle, available. Under the assumptions made in this project, all three scenarios (Business as usual, Bioenergy and Bioenergy with increased restrictions due to environment and nature protection) can even exceed the objectives for power and heat using domestic biomass (in 2020 around 16 - 20 % share of biomass on the total power usage and around 22 - 26 % on the total heat consumption). The objectives for transportation fuels can only be reached up to two-thirds. This is caused by the scenario assumptions concerning the cultivation mix of energy crops. The cultivation of biomass resources for the production of biofuels (mainly rapeseed, cereals and sugar beet) takes place only on 1.7 million ha of agricultural land (this equals to approximately half of the area potentially available for the cultivation of energy crops). If these potentials are widely used, about a doubling of the today existing bioenergy production facilities would be possible. Additionally, innovative technologies like Synthetic Natural Gas (SNG) and Biomass to Liquid (BtL) could contribute to the provision of bioenergy.

On a regional level, the implementation of the IEKP targets using domestic biomass could result in conflicts if the demands of the biomass provision are opposed to other social, economic and ecological objectives. In the context of the case study "Western Saxony", the analysis of spatial interdependencies points out that the supply of bioenergy leads on the one hand to positive as well as negative environmental impacts and on the other hand to land use conflicts but also positive spatial synergies. The intensity of the spatial interdependencies is determined by the local conditions of the specific biogeographic region as well as by the technical requirements of the bioenergy provision. The definition of favouring, restricting and excluding areas for specific energy crops and

cropping systems as well as favouring areas for bioenergy plants proved to be a suitable instrument to steer the provision of bioenergy according to the aims of regional development. Specific technical contributions of spatial planning could provide information for the fields of nature and landscape conservation, land use and technical infrastructure. These could be merged into a 'Biomass Development Concept' that in turn could be part of a 'Regional Energy Concept'.

The strengths of such a 'Biomass Development Concept' are not so much its steering effects, which are considered to be low due to its non-binding, informal character, but moreover the region-specific preparation and availability of data. The concept represents a flexible and manageable basis for the assessment and decision on measures and projects relevant to regional planning which in turn could make a comprehensive weighing of spatial interests possible. By developing the concept, further information can be edited that could be considered in the update of the formal regional spatial plan and, if applicable, integrated in current aims and principles.

Although the regional plan of Western Saxony includes no specific textual or graphic information on the spatial demands of the provision of bioenergy, it contains statements to a significant number of identified needs for action. The current aims and principles of the regional spatial plans include not only aspects that are connected to bioenergy plants but also aspects that influence the agricultural use in subspaces of the planning region Western Saxony. In practice, however, the formal regional plan encounters two problems. On the one hand, the regional plan is too statical for reacting adequately on 'new' developments (technologies, cropping systems, market development etc.). On the other hand, it can only have limited content to make it easier to read and handle.

Due to the fact that the IEKP target for biofuels can probably not be achieved entirely by domestic resources from Germany, the import of biomass and/or bioenergy carriers will become increasingly important in the future. According to this development, the future global biomass potentials have to be seen in the following context:

- The global residual potential has been analysed with the help of a resource-based analysis based on statistical data and the application of product-to-residue ratios and per capita production. The results add up to a global potential of organic co-products, residues and waste of about 30 EJ/a. Straw and forest residues are the largest fractions (approx. 13 and 10 EJ/a). Due to the worldwide increase in population and associated consumption, the residual potential will probably increase further in the future. However the import of residues or residue-derived bioenergy carrier will be of low importance due to low energy density and less favourable substrate characteristics. From an economic and ecological point of view, the decentralised utilisation makes more sense.
- The global technical potential of agricultural biomass is calculated with the help of the GAPP simulation model (Global Agro Production Potential) which is using statistical agro-economic modelling. Different scenarios until 2020 show that the global area and bioenergy potentials depend mainly on the global food demand and on increases of productivity of arable land. In the last two decades, the agricultural commodity markets were characterised by a structural surplus production. In the future, this trend could be reversed into the direction of deficit markets. In all scenarios, the continents and parts of continents are developing into different directions: Europe, North and South America show significant and constant surplus area potentials available for the cultivation of energy crops, whereas Asia and Africa have an increasing demand on food imports. Assuming that a global balance of trade will be achieved, the sur-

plus areas would arithmetically speaking be used to produce food for the deficit countries. At the same time, the possible global scarcity of resources could cause food price effects which in turn could cause an increase of productivity. The quantification of these effects is difficult. In the scenario 'Bioenergy', which assumes a strong increase in productivity, 200 million ha arable land would be available in 2020 for the production of energy crops corresponding to an import potential of liquid or gaseous biofuels of about 6.5 EJ/a. In addition to the current annual biofuel production, 187 million tons bioethanol, 31 million tons biodiesel and 6.6 billion m<sup>3</sup> biomethane could be provided (three times the production in 2008). Key production countries could be Russia, Brazil, U.S.A. or Indonesia. The implementation of further environmental or nature protection standards (e. g. no direct land use change through ploughing up of grassland or deforestation of primary forests, use of 2 % of the arable land for nature protection purpose) would possibly reduce the potentials significantly.

- A further potential could be the cultivation of energy crops on degraded lands. In the literature, a very broad range of the global expansion of degraded lands can be found (from 6 to 35 million km<sup>2</sup>). Furthermore, the quality of degraded soils, the expected yields and the uses of these areas vary significantly. Therefore, a general assessment of the potential on degraded land is not possible. Synergies between the revaluation of land and bioenergy production, even if produced for international markets, can be very likely.
- The potentials of forestry biomass were calculated by reviewing statistics and trend extrapolation of statistical series about the global development of forests as well as regional data and country-specific information. The analysis shows a global decline of forest areas, whereas the plantation areas continuously increase until 2020. Depending on the scenario, the worldwide raw wood potential for 2020 is estimated between 3.2 and 4.2 billion t<sub>dm</sub>. The raw wood production and its use have been calculated by connecting time series of production and consumption rates with the country-specific development of the gross domestic product and the population number. The comparison with the global consumption of raw wood shows that after the subtraction of material use, the resources are not yet exhausted and that a surplus would be available for energy production. Nevertheless, in some African, Asian as well as European countries the raw wood consumption would exceed the sustainable and available raw wood potential. These countries would have to increase the import of wood or use more raw wood than could be provided in a sustainable way to cover the deficit in 2020. In the short term this could lead to a decline of wood reserves, in the medium or long term it could result in a degradation of forests. Despite the large amounts of raw wood calculated for Russia, North America or Brazil, it should be kept in mind that the mobilisation of the potential is a big challenge from an economic and ecological point of view. Depending on the scenario, the global technical potential from forestry biomass lies between 36 to 57 EJ/a. In principle, these potentials are a promising feedstock for future biofuels like BtL or SNG. Nevertheless, these technologies will need time for final development and implementation in the market. Therefore, the import potential for second generation biofuels is expected to be low in 2020.

Within the context of a global reduction of agricultural areas, the need to use these existing areas in a sustainable and efficient way becomes increasingly important. Currently, sustainability standards and certification systems for biofuels are under development. Furthermore, established approaches for certification in forestry are translated into the field of energy crop cultivation and possibly further expanded on food, fodder and material production. Therefore, the expansion of global biomass market needs to be accompanied by monitoring systems to identify land cover changes as early as possible. Such a screening of areas at 1 km spatial resolution could be realised with

the help of remote sensing data and their processing in the vegetation model BETHY/DLR (Biosphere Energy Transfer Hydrology Model). In this project, linear relations between remote sensing data and statistical information have been reached (up to 94 % for forest areas and up to 74 % for agricultural areas). The development of such an instrument should be possible within the next three to five years. Currently, corresponding research activities are initiated by the Climate Change Initiative of the European Space Agency. Furthermore, remote sensing could improve the data basis for the assessment of agricultural and forestry biomass resources especially in areas with incomplete data availability (e. g. forest data on Africa and Asia) and could help to identify regional 'hot spots' of biomass resources.

Regarding the role of bioenergy, the results of the project demonstrate that the German Government's IEKP targets for bioenergy can be achieved and that significant reductions of greenhouse gas emissions can be expected. However, the energetic use of biomass can cause global and regional effects like insecurities concerning the future availability of areas potentials under the premise of securing global food supply, the need for efficient utilisation systems and the debate on limitation of resources and associated problems of distribution. Therefore, more flexible systems, which are currently not implemented in the IEKP approaches and instruments, are required to achieve a sustainable provision of regional bioenergy. This requirement is also a challenge for spatial planning.

Due to the fact, that the impacts of bioenergy use occur on the global as well as national and regional scale, there are the following **options to act** for all spatial dimensions.

The IEKP targets for bioenergy and the target system for the use of bioenergy respectively have to be developed further. Particularly, taking into consideration the scarcity of the resources, future conflicts (for example climate protection versus energy security) have to be discussed and weighed in the society. On the national scale a roundtable on bioenergy could be the initial point for such a socio-political discussion about the IEKP targets. The IEKP approach with its defined objectives for certain segments (as biofuels) and fixed quota for biofuels derived from food crops may intensify possible reactions due to food shortage. Therefore, it is important to develop steering approaches that support the stabilisation of food supply. Such mechanisms for the achievement of the IEKP targets have to be adapted and initiated on the European level. The further development has to consider more flexible instruments.

The energetic use of organic residues is associated with comparatively low environmental impacts. However, due to decentralised occurrence, less favourable substrate characteristics and lacking information, the accessibility is difficult. Therefore, the conditions for a comprehensive accessibility of the residual potential have to be established (e. g. provision of systematic and spatial information as well as target-oriented funding instruments).

On the regional scale, regionally based energy concepts could make an important contribution to ensure energy provision. For the conception of bioenergy plants, producers of the feedstock and energy supplier as well energy user should be involved. This shall ensure a continuous production based on long term agreements (even if agricultural prices are fluctuating) and simultaneously reduce speculative bandwagon effects. For the conception and implementation of regional energy concepts sufficient resources and information have to be provided.

The energetic use of biomass based on energy crop cultivation increases the pressure on agricultural areas in addition to food and fodder production. The looming shortage of resources requires



a target-oriented use of resources regarding land use as well as conversion efficiency of bio-energy and the mitigation of greenhouse gases.

The steering effect needs to be strengthened by regional planning in order to implement the area-specific demands of the provision of bioenergy. An essential measure is the amendment of the formal regional planning by informal instruments. Parts of the regional energy concepts can represent an appropriate basis for assessment and decision-making to steer the energetic use of biomass in accordance with regional spatial and socioeconomic principles. Participative structured planning processes might legitimise politically and socially the action of the regional planning authorities. The objective should be to integrate relevant information from informal processes into the formal regional spatial plan in the course of its up-date based on a comprehensive weighing of current spatial aims and principles. The institutionalisation of separate sectoral planning for energy and agriculture might contribute to provide the data that is relevant for the implementation of the planning processes described above.

In the global context all possibilities of a sustainable agricultural production and forestry should be supported in order to use all sustainable agricultural and forestry biomass potentials worldwide. Important aspects are: intensification and systematisation of the agricultural research to achieve huge yield increases, prevention of deforestation, forestation of degraded lands, transfer of technology and consequent management of water and areas for the establishment of effective agricultural management systems, systematic analysis and reduction of agricultural greenhouse gases, assurance of land rights and participation of the local habitants as well as focusing the energetic use of agricultural and forestry biomass to reduce greenhouse gas emissions.

Approaches for the support of a sustainable land use should also be developed bilaterally in international cooperation. Chances for international cooperation exist especially in the fields of standardisation of biomass, bioenergy carrier, transport and logistic. International projects should be supported if synergies can be found within the development of infrastructure and energy supply in rural regions of industrialising and developing countries. A promising subject for research is the use of degraded lands (transfer of technology and knowledge). A thoughtfully development of these resources requires a consideration in individual cases. Therefore, a wide variety of model projects should be planned and implemented until 2020 to benefit from the synergies between revaluation of land and biomass production. Furthermore, cooperation with Eastern Europe is an interesting option since presumably large agriculture areas can be used in this region for the cultivation of energy crops and an appropriate infrastructure already exists (e.g. gas grid for the bi-methane supply).

At all scales, international, national and regional, increasing capacities for the provision of bio-energy are due in the near future. Therefore, a monitoring system using remote sensing should be established in order to identify "hot spots" of land use changes and biomass production. On a regional scale, a lot of indicators can support the description of the state of change and the future potential of biomass use. Furthermore, it can help to gain target-oriented parameter to assess the regional strategy and options to act out of the multitude of available regional information.

## 1 HINTERGRUND

Ausgelöst durch spezifische Gesetzgebungen (z. B. Erneuerbare-Energien-Gesetz /12/, Marktanzreizprogramm für erneuerbare Energien /14/, Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz /15/, EU-Richtlinie 2009/28/EG /30/) und die Etablierung von politischen Förderinstrumenten, aber auch durch einen massiven Anstieg der Preise für fossile Energieträger Anfang des Jahrtausends gewinnt die energetische Biomassenutzung in den Sektoren Strom-, Wärme- und Kraftstoffbereitstellung sowohl im nationalen und europäischen als auch im weltweiten Kontext zunehmend an Bedeutung. Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm (IEKP) und der nationale Biomasseaktionsplan der Bundesregierung setzen ambitionierte Ziele für den weiteren Ausbau der Bioenergie bis 2020. So soll der Anteil der Energiebereitstellung aus Biomasse am gesamten Stromverbrauch auf 8 % und an der gesamten Wärmeversorgung auf 9,7 % erhöht werden. Der Anteil der Biokraftstoffe am gesamten Kraftstoffverbrauch soll bis 2020 auf 12 % (energetisch) steigen.

Neben dem Klimaschutz kann die Produktion von Biomasse zur energetischen Nutzung einen wesentlichen Beitrag zur Energiesicherung leisten und damit eine nachhaltige Entwicklung insbesondere auch in den ländlichen Räumen befördern. Dieser positive Beitrag ist jedoch nicht per se gegeben. Konflikte entstehen, wenn die Erfordernisse der Bioenergiebereitstellung nicht mit anderen gesellschaftlichen, ökonomischen und ökologischen Zielen in Einklang gebracht werden können. Die Bioenergiebereitstellung steht insbesondere in einer Flächen- und Nutzungskonkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion aber auch zur stofflichen Nutzung von Biomasse. Ansprüche, die durch die Energiebereitstellung aus Biomasse an den Raum entstehen und mit anderen Raumansprüchen zu koordinieren sind, betreffen zum Beispiel die Flächeninanspruchnahme sowie den Infrastruktur- und den Ressourcenbedarf für unterschiedliche Verarbeitungs- und Technologieketten. Weiterhin ergeben sich Erfordernisse aus dem Bau und dem Betrieb der Bioenergieanlage, einschließlich der betrieblichen und der Verteilungslogistik. Mit diesen heterogenen Raumansprüchen können zugleich erhebliche ökologische sowie sozioökonomische Auswirkungen verbunden sein. Dementsprechend bedarf es einer gezielten räumlichen Koordinierung, um diese negativen Auswirkungen zu minimieren aber auch Synergien, die mit der energetischen Nutzung von Biomasse einhergehen, zu fördern. Um Biomasse aus räumlicher Sicht optimal zu nutzen, sind bestehende Steuerungs- und Regelungsinstrumente der Raumplanung auf diese neuen Herausforderungen abzustimmen, gegebenenfalls sind neue zu entwickeln.

Für die energetische Biomassenutzung sind grundsätzlich eine Vielzahl unterschiedlichster Ressourcen verfügbar (u. a. Energiepflanzen, Waldholz, Stroh, Getreide, Gülle). Sie entstammen der land- und forstwirtschaftlichen Produktion bzw. den in den Sektoren nachgelagerten Industrien und der Abfallwirtschaft. Entscheidend für die Entwicklung einer langfristigen und nachhaltigen Biomassestrategie (wie z. B. die Ziele des IEKP der Bundesregierung bis 2020) sind nicht nur die gegenwärtigen, sondern vor allem die mittel- bis langfristigen Biomasseressourcen. Dabei sind folgende Aspekte zu beachten:

(1) Um die deutlich gewachsene Nachfrage nach Biomasse bzw. Bioenergieträgern kostengünstig zu decken, entstehen gegenwärtig überregionale und z. T. globale Märkte. Diese sind insbesondere im Bereich der Energiepflanzen bzw. der daraus produzierten Bioenergieträger (insbesondere Biokraftstoffe) von Bedeutung.

(2) Parallel dazu ist auf regionaler Ebene mit steigender Biomassenachfrage die räumliche Verfügbarkeit und Nutzung der Biomasse entscheidend. Diese wird von einer Vielzahl von Einflussfak-

toren bestimmt, die z. B. land-, energie- und abfallwirtschaftlicher Natur sind oder von den aktuell verfügbaren Produktions- bzw. Verwertungstechniken beeinflusst werden. Nur wenn es gelingt, die erwarteten Ressourcen und die erwartete Biomassenutzung räumlich aufgelöst darzustellen und einzuordnen (z. B. zur Unterstützung klimaschutz- und energiepolitischer Ziele, wie IEKP 2020, aber auch unter Aspekten der Raumordnung, Infrastruktur und Flächennutzung), lassen sich angepasste Strategien und Instrumente entwickeln und etablieren.

(3) Die gesamte Bioenergie-Diskussion entwickelt sich gegenwärtig sehr dynamisch und teilweise kontrovers (z. B. leerer Teller - voller Tank - Debatte). Eine geeignete Standortbestimmung bzw. ein umfassender Erfahrungsaustausch der Experten aus den Gebieten Biomassenutzung, Raumordnung, Fernerkundung und Politik kann hier zur Ermittlung der Handlungspotenziale beitragen und die Entwicklung angepasster Instrumente unterstützen.

## 2 ZIELSTELLUNG

Vor diesem Hintergrund erfolgt die Bearbeitung des Projektes in drei Teilprojekten. Während in Teilprojekt 1 der Fokus auf den regionalen Biomassepotenzialen in Deutschland liegt, werden in Teilprojekt 2 die weltweiten Biomassepotenziale analysiert (siehe Abb. 1). Zur Erreichung der Projektziele fand vom 31. März bis 1. April 2009 eine internationale Tagung zum Thema „Biomass in Future Landscapes – Nachhaltige Biomassenutzung und Raumentwicklung“ mit ca. 400 internationalen politischen Entscheidungsträgern und renommierten Experten aus den Bereich des Umwelt- und Agrarsektors sowie der Umwelt- und Raumplanung statt (TP 3). Im Mittelpunkt der Diskussionen standen die nachhaltige Nutzung von Biomasse im Spannungsfeld steigender Nachfrage sowie zunehmender räumlicher und ökologischer Auswirkungen sowie dem daraus resultierenden Handlungsbedarf. Die Ergebnisse der Tagung sind in Form eines Tagungsbandes veröffentlicht.



Abb. 1: Darstellung der Teilprojekte und deren Verknüpfung (Quelle: DBFZ)

In unterschiedlichen Entwicklungsszenarien bis 2020 werden die technischen Brennstoffpotenziale von land- und forstwirtschaftlichen Biomassen und Reststoffen sowohl im regionalen als auch im globalen Maßstab ermittelt (siehe Abschn. 5.1 und 6.1 bis 6.4). In Teilprojekt 1 werden weiterhin die räumlichen Implikationen der energetischen Biomassenutzung auf Fragen der raumordnerischen Erfordernisse und auf mögliche Umweltauswirkungen untersucht, um spezifische Aussagen zur Raumwirksamkeit und zu den Möglichkeiten der räumlichen Steuerung zu treffen (siehe Abschn. 5.2).

Auf Grundlage der Ergebnisse in Teilprojekt 2 lassen sich potenzielle Lieferanten (Länder, Ländergruppen) ermitteln, von denen nachhaltig erzeugte (ggf. zertifizierte) Biomasse zur Erreichung der klima- und energiepolitischen Ziele Deutschlands bezogen bzw. importiert werden können. In der hier verfolgten Methodik wird der Verwendung landwirtschaftlicher Biomassen für die Welternährungssicherung grundsätzlich Vorrang gegenüber anderen Verwendungen eingeräumt. Daher berücksichtigen die globalen Potenzialermittlungen den jeweiligen länderspezifischen Eigenbedarf an Nahrungsmitteln (siehe Kapitel 6). Im Arbeitspaket „Fernerkundung“ wird zudem untersucht, welche Möglichkeiten die Fernerkundung zur besseren räumlichen Spezifizierung von Biomasseressourcen bietet (siehe Abschn. 6.5).

In einem letzten Schritt werden die Ergebnisse aus allen Teilprojekten zusammengefasst, um die Möglichkeiten zur Umsetzung der IEKP-Ziele 2020 der Bundesregierung im regionalen und globalen Kontext einzuschätzen (siehe Kapitel 7 und 8).

Der Endbericht besteht aus diesem Hauptteil und sechs thematischen Anhängen:

- Anhang I: Stoffstrombasierte Potenzialberechnungen für Deutschland
- Anhang II: Raumverträgliche Biomasseenergiebereitstellung
- Anhang III: Globale landwirtschaftliche Biomassepotenziale
- Anhang IV: Globale forstwirtschaftliche Biomassepotenziale
- Anhang V: Globale Reststoffpotenziale
- Anhang VI: Fernerkundung von Biomasseressourcen

Die Anhänge liegen als Einzeldokumente vor. Während sich dieser Endbericht auf die wesentlichen Ergebnisse und daraus abgeleitete Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen konzentriert, erläutern die Anhänge ausführlich die angewandten Methodiken sowie die Ergebnisse und Schlussfolgerungen.

Neben dem Hauptbericht und den Anhängen werden im Rahmen dieses Projektes die folgenden Produkte angefertigt und in Form einer CD dem Endbericht beigelegt:

- GIS-Datenbank zu den Aspekten der a) regionalen und b) globalen Biomassepotenziale
- Übersicht über die Technologieketten
- ACCESS-Datenbank zu Steuerungsmöglichkeiten der Raumordnung
- Ergebnisse der schriftlichen bundesweiten Befragung der Träger der Regionalplanung

### 3 DEFINITIONEN

Grundlegend für die energetische Nutzung von Biomasse ist deren prinzipielle Verfügbarkeit. Diese wird ausgedrückt durch das Biomassepotenzial, das - je nach Betrachtungsebene - unterschiedlich definiert wird. So wird zunächst anhand der Ebene unterschieden, in welcher die Potenzialbestimmung stattfindet: Flächen-, Rohstoff-, Brennstoff- oder Bioenergiepotenzial (siehe Abb. 2).

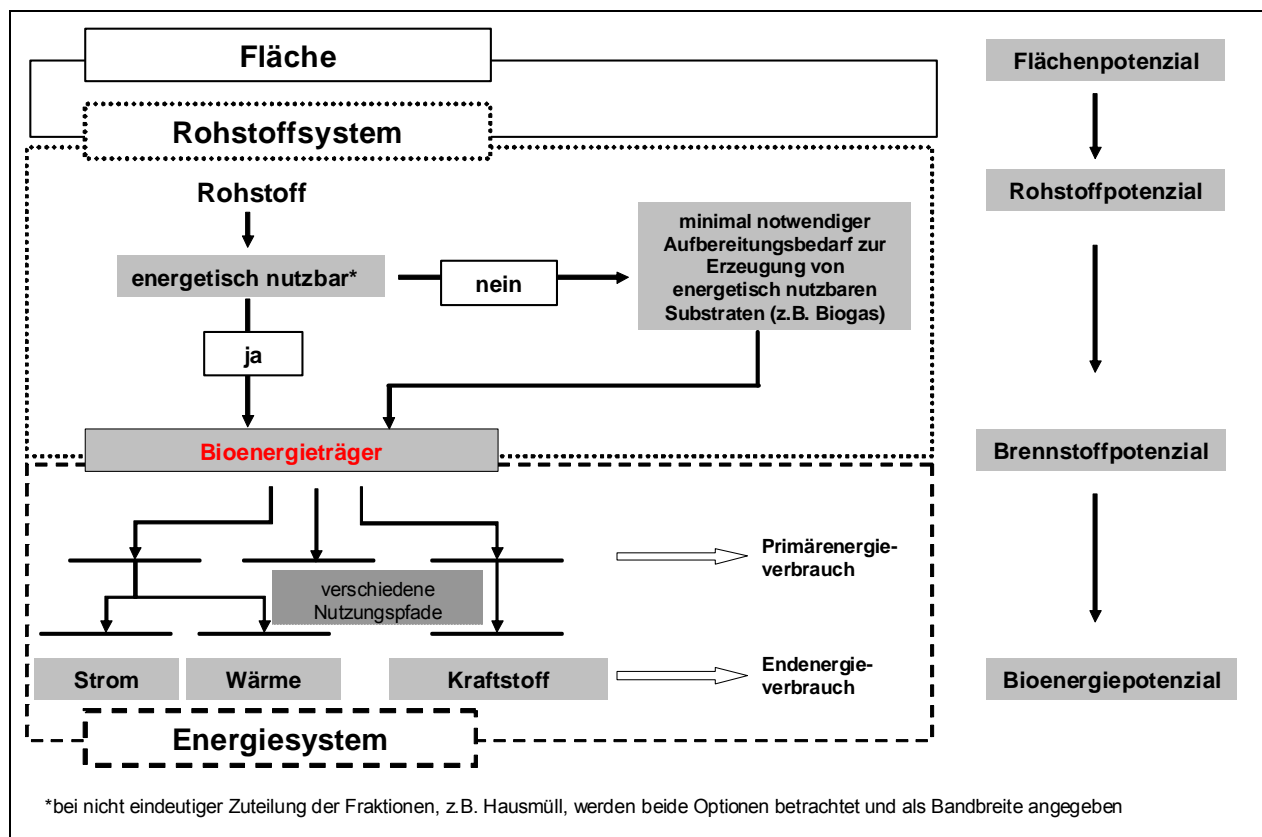


Abb. 2: Darstellung der verschiedenen Ebenen des Nutzungspfades und der entsprechenden Potenzialbegriffe (Quelle: DBFZ)

Die Bestimmung von Potenzialen bedarf der Definition von Systemgrenzen und Randbedingungen. Daher verwendet die Mehrzahl der bisherigen Untersuchungen Potenzialbegriffe, die durch Adjektive wie „theoretisch“, „technisch“ oder „wirtschaftlich“ konkretisiert werden. So beschreibt z. B. das „theoretische“ Potenzial das in einer gegebenen Region innerhalb eines bestimmten Zeitraumes theoretisch physikalisch nutzbare Energieangebot (z. B. die in der gesamten Pflanzenmasse gespeicherte Energie). Es ist allein durch die gegebenen physikalischen Nutzungsgrenzen bestimmt und markiert damit die Obergrenze des theoretisch realisierbaren Beitrags zur Energiebereitstellung. Da das theoretische Potenzial aufgrund bestimmter Restriktionen meist nur in sehr geringen Teilen erschlossen werden kann, kommt ihm zur Beurteilung der tatsächlichen Nutzbarkeit der Biomasse keine praktische Relevanz zu.

Dieses Projekt beschäftigt sich daher vorwiegend mit technischen Potenzialen. Während der Begriff des theoretischen Potenzials in der Literatur relativ einheitlich gehandhabt wird, variieren die bei der Ermittlung des technischen Potenzials zugrunde gelegten Kriterien in den einzelnen Studien. Technische, strukturelle und ökologische Restriktionen sowie gesetzliche Vorgaben werden

hierbei zum Teil berücksichtigt. Die Höhe des technischen Potenzials der verschiedenen Biomassefraktionen ist demnach kein scharf definierter Wert, sondern von zahlreichen Randbedingungen und Annahmen abhängig. Bei entsprechenden plausiblen Annahmen können mit Hilfe des technischen Potenzials plausible Aussagen über die Realitätsnähe bestimmter politischer Ziele getroffen werden.

Im Folgenden wird das Vorgehen in diesem Projekt skizziert. Das technische Potenzial beschreibt den Teil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Restriktionen nutzbar ist. Zusätzlich dazu werden die gegebenen strukturellen, ökologischen, administrativen und gesellschaftlichen Begrenzungen sowie gesetzlichen Vorgaben berücksichtigt, da sie letztlich auch - ähnlich den technisch bedingten Eingrenzungen - als „unüberwindbar“ anzusehen sind (z. B. technisch: Wirkungsgrade bei der Konversion, ökologisch: Naturschutzziele, administrativ: Cross-Compliance-Regelungen, gesellschaftlich: Vorrang der Nutzung aus dem Food-Sektor).

Je nach Systemgrenze, Fragestellung und betrachteter Biomassefraktion kommen die Restriktionen in unterschiedlichem Umfang zum Tragen. So erfolgt z. B. im globalen Kontext aufgrund des Vorrangs der Nahrungsmittelproduktion der Anbau von Energiepflanzen nur auf Überschuss- bzw. Non-Food-Flächen, während in den Szenarien für die Beispielregion alle landwirtschaftlichen Flächen für die energetische Biomassenutzung zur Verfügung stehen. Die „Unüberwindbarkeit“ der Begrenzungen orientiert sich dabei an der jeweiligen Fragestellung, der zu untersuchenden Region und gegebenenfalls der verwendeten Szenarien. Zudem werden nur quantifizierbare Faktoren einbezogen.

Das technische Potenzial kann wiederum in das technische Rohstoffpotenzial, das technische Brennstoffpotenzial und das technische Bioenergiepotenzial unterteilt werden.

Das technische Rohstoffpotenzial gibt dabei die Mengen an Biomasse an, die zur energetischen Nutzung auf einer bestimmten Fläche zur Verfügung stehen. Die Biomasse kann direkt als primärer Energieträger, wie Holz vorliegen, oder aber als Rohstoff, der zunächst noch zu einem sekundären Energieträger umgewandelt werden muss, wie Mais zu Biogas. Einige Rohstoffe wie z. B. Gülle sind zudem nicht direkt energetisch nutzbar, sondern bedürfen zuvor eines gewissen Aufbereitungsaufwandes (siehe Abb. 2).

Das technische Brennstoffpotenzial gibt den Energiegehalt, i. d. R. den unteren Heizwert, der zur Verfügung stehenden Bioenergieträger an. Es stellt damit den Gesamtenergiegehalt der energetisch nutzbaren Biomasse dar. Das technische Bioenergiepotenzial wiederum spiegelt den Endenergiegehalt wieder, der nach der Verwendung in den einzelnen Nutzungspfaden (Umwandlung in Strom, Wärme und Kraftstoffe) erzielt wird. Aufgrund der starken Abhängigkeit des Bioenergiepotenzials von den Nutzungspfaden fokussiert dieses Projekt auf die Betrachtung der am wenigsten verarbeiteten Energieträgerstufe, die schon energetisch nutzbar ist (Ermittlung des technischen Brennstoffpotenzials).

Begriff Planungsregion: Planungsregionen sind nach funktionalen Kriterien abgegrenzte Teilräume der Bundesländer. Diese planerisch administrativen Abgrenzungen werden durch die Landesplanung bestimmt und unterliegen demnach nicht allen Bundesländern identischen Kriterien. Teilweise stimmen sie mit administrativen Grenzen wie Kreisen oder Regierungsbezirken überein oder setzen sich aus diesen zusammen, so z. B. im Freistaat Sachsen /107/.

## 4 SZENARIENANSATZ

Die Arbeiten im Projekt stützen sich auf die Erstellung von Szenarien zur künftigen energetischen Nutzung von Biomasse. Da im Projekt verschiedene räumliche Ebenen zu untersuchen sind, werden skalenspezifische Ansätze verfolgt (siehe Abb. 3). Während für den globalen und deutschlandweiten Szenarienansatz ein quantitatives Verfahren ausgewählt wird, werden für die Entwicklung der Szenarien zur räumlichen Verteilung der Biomasseproduktion in der Beispielregion Westsachsen, neben der quantitativen Ermittlung des landwirtschaftlichen Potenzials, im Wesentlichen qualitative Ansätze in Form verbal-argumentativer Verfahren eingesetzt. Diese eignen sich für komplexe Fragestellungen wie denen der vorliegenden Untersuchung, die ausgeprägten Diskussions- und Aushandlungsprozessen unterliegen.

Die Planungsregion Westsachsen zeigte sich nach einer Vorprüfung der räumlichen und instrumentellen Gegebenheiten als besonders geeignet für die Wahl als Beispielregion u. a. aufgrund eines aktuellen Regionalplans, inklusive Fachbeitrag Naturschutz und Landschaftspflege, Strategischer Umwelt- und FFH-Verträglichkeitsprüfung, eines fortschrittlichen Landesumweltinformationssystems und einer breiten Datenbasis der Regionalen Planungsstelle, die jeweils unkomplizierten Zugriff auf georeferenzierte Umweltdaten ermöglichte, eines hinlänglichen Spektrums standörtlicher Potenziale und somit räumlicher Entwicklungsanforderungen, des hohen Interesses der Träger der Regionalplanung sowie des Auftrages des Freistaates Sachsen an die Planungsregionen, Regionale Energiekonzepte zu erstellen.

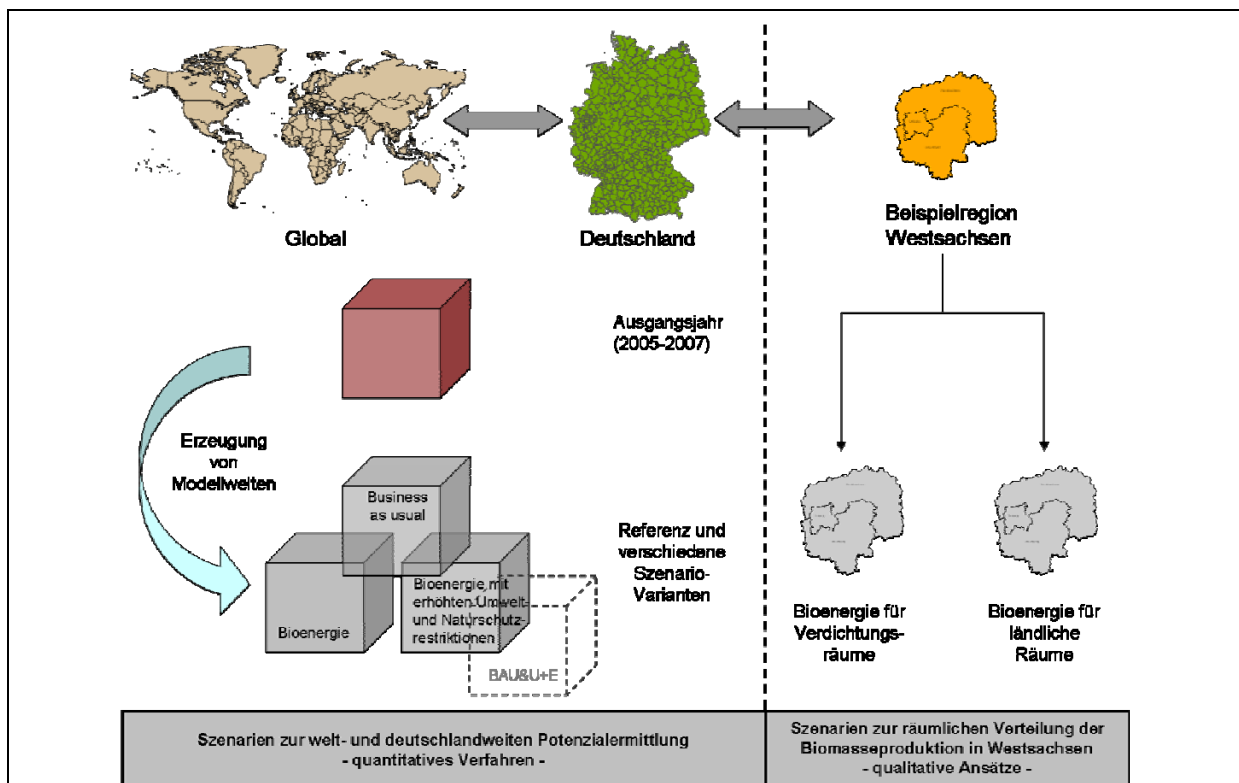


Abb. 3 Darstellung der verschiedenen Szenarienansätze für die globalen und deutschlandweiten Betrachtungen sowie für die Beispielregion Westsachsen (Quelle: DBFZ)



## 4.1 Szenarien für die Potenzialermittlungen

Die zukünftige Entwicklung der Biomassepotenziale ist von vielen Einflussfaktoren abhängig. So werden die energetischen Potenziale auf nationaler und besonders auf globaler Ebene von land-, energie- und abfallwirtschaftlichen Entwicklungen sowie dem technischen Fortschritt bestimmt. Daher erscheint zur qualifizierten Abschätzung zukünftiger Potenziale ein szenarienorientierter Ansatz unumgänglich. Mit Hilfe verschiedener Szenarien wird ein Korridor aufgespannt, in dem sich die Entwicklung mit großer Wahrscheinlichkeit widerspiegelt. Es ist dabei zu beachten, dass Szenarien keine gesicherten Prognosen darstellen, sondern von den speziellen Rahmenbedingungen und ausgewählten Kennwerten abhängig sind und mit Hilfe von *wenn-dann*-Aussagen Modellwelten abbilden. Sie beruhen auf getroffenen Annahmen und sind daher nur Möglichkeiten, wie die Entwicklung bis z. B. 2020 verlaufen könnte. Die Referenz-Entwicklung schreibt den kurz- und mittelfristigen Trend fort, während in Szenario-Varianten angenommene Maßnahmen diese Entwicklung ändern können.

### 4.1.1 Szenarientreiber

Nachfolgend werden die wesentlichen Einflussfaktoren der Flächen- und Brennstoffpotenziale genannt und in ihren Grundlagen und Szenarienausprägungen kurz erläutert. Die Szenarientreiber können je nach Betrachtungsebene (regional oder global) in ihrer Bedeutsamkeit variieren.

**Bevölkerungsentwicklung:** Die Bevölkerungsentwicklung ist einer der wesentlichen Szenarientreiber, da sie die Nachfrage nach Nahrungsmitteln und damit die verfügbare Fläche für den Energiepflanzenanbau bestimmt. Weiterhin beruht auch die Nachfrage nach Nahrungsmitteln und Konsumgütern und somit das Aufkommen an Abfällen auf der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung. Die statistische Datenbasis bilden auf globaler Ebene Daten der Vereinten Nationen. Die regionalen Betrachtungen in Deutschland berücksichtigen die Bevölkerungsvorausrechnungen der statistischen Landesämter.

**Pro-Kopf-Verbrauch:** Neben der Bevölkerungsentwicklung ist im globalen Szenarioansatz der Pro-Kopf-Verbrauch an Nahrungsmitteln ebenfalls ein wichtiger Treiber der Agrarentwicklung und somit der Flächenpotenziale.

**Ertragsentwicklungen:** Zur Berechnung der Biomassepotenziale ist die Ertragsentwicklung eine wichtige Einflussgröße. Zum einen bestimmt sie die Entwicklung der Flächenpotenziale: Bei hohen Erträgen in einer intensiven Landwirtschaft ist der Flächenbedarf geringer als bei niedrigen Erträgen (z. B. bei hohem Anteil von Ökolandbau). Zum anderen beruhen auch die Erträge der Energiepflanzen und damit die Biomassepotenziale auf der Entwicklung dieses Faktors.

**Änderungen im Anbaumix:** Die Biomassebereitstellung kann durch ein Spektrum von unterschiedlichen Pflanzen abgedeckt werden. Die Auswahl des Anbaumixes erfolgt für die globalen Betrachtungen regionsbezogen. So werden pro Land oder Ländergruppe die drei bis vier Hauptpflanzen/-fruchtarten festgelegt und anschließend szenarienabhängig sinnvolle Modifikationen der regionalen Anbaustrukturen entwickelt.

**Flächendegradierung:** Flächen- oder Landdegradierung wird verstanden als eine Abnahme der Ökosystemfunktionen und der -produktivität über einen bestimmten Zeitraum. Flächen, die Degradierungsprozessen wie Versalzung, Erosion etc. ausgesetzt sind, werden entweder eingeschränkt landwirtschaftlich genutzt oder scheiden bei sehr starken Degradierungen gänzlich aus der land-



wirtschaftlichen Produktion aus. Die Berücksichtigung der Entwicklung der degradierten Flächen ist in den globalen Szenarien durch die Entwicklung der Erträge bzw. durch die Entwicklung der Brachflächen berücksichtigt.

**Entwicklung der Naturschutzflächen:** Die Entwicklung der Naturschutzflächen ist abhängig von den politischen Rahmenbedingungen und bestimmt die Verfügbarkeit von Ackerflächen für die Produktion von Biomasse bzw. eventuelle Ertragsminderungen auf Flächen verschiedener Schutzkategorien.

**Klimawandel:** Die land- und forstwirtschaftlichen Potenziale verändern sich unter dem Einfluss des Klimawandels. Sofern dieser bisher schon Auswirkungen auf die Potenziale bedingt hat, sind sie in den Abschätzungen der zukünftigen erfasst, denn letztere basieren auf Trendabschätzungen der Erträge aus Zeitreihen seit 1989. Es wird also berücksichtigt, dass beispielweise Australien überwiegend klimabedingt abnehmende Ertragszuwachsraten ausweist und in Zukunft wohl überhaupt nicht mehr steigende Erträge zu erwarten sind. Von einer vom Trend abweichenden Zunahme klimabedingter Ertragsdepressionen wird allerdings nicht ausgegangen, weil der Klimawandel in den hochproduktiven, in der Regel niederschlagsreichen Regionen positive Ertragsminderungen erwarten lässt, die die Ertragseffekte der negativ betroffenen Gebiete teilweise ausgleicht. Auch lassen überproportionale ertragsmindernde Klimateffekte erst zur Mitte des Jahrhunderts signifikante Auswirkungen erwarten. Im Übrigen sind Auswirkungen von Anpassungsstrategien an Klimaänderungen durch Pflanzenzüchtung (Wasserstress) und Anbaumanagement (wassersparende Bodenbearbeitung, Fruchtfolge u. a.) nicht seriös abschätzbar.

#### 4.1.2 Szenarienbeschreibung

Aus der Diskussion der wesentlichen Szenarientreiber ergeben sich drei Szenarien als Grundlage für die Berechnungen der unterschiedlichen technischen Brennstoffpotenziale. Im Szenario „Business as usual“ (BAU) werden die kurz- und mittelfristigen Trends fortgeschrieben. Um die im „BAU“-Szenario dargestellte Entwicklung durch die Veränderung der Szenarientreiber in verschiedene Richtungen variieren zu lassen, werden als Szenario-Varianten ein „Bioenergie“-Szenario und ein Szenario „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ entwickelt. Die Berechnung der globalen landwirtschaftlichen Biomassen betrachtet zusätzlich als kurzen Exkurs ein reines Flächenszenario „Business as usual mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen und Ernährungswandel“.

**Business as usual (BAU):** Das Szenario „Business as usual“ stellt die Fortschreibung der kurz- und mittelfristigen Trends und Entwicklungen dar. Als Basisjahr wird für die globalen Betrachtungen 2005 (2002 - 2005) und für die regionalen Potenzialberechnungen das Jahr 2007 gewählt. Wesentlich für das „BAU“-Szenario ist die Fortführung der Trends bezüglich der landwirtschaftlichen Entwicklung, Landnutzungsänderungen und der Bevölkerungsentwicklung.

**Bioenergie (B):** Im „Bioenergie“-Szenario werden die Annahmen so verändert, dass die energetische Nutzung von Biomasse stark forciert wird. So wird beispielsweise ein stärkerer Ertragsfortschritt in der Landwirtschaft u. a. durch eine höhere Investitionsbereitschaft erreicht. Der Anbaumix wird so verändert, dass überproportional die ertragsstärksten Kulturen angebaut werden und so der Ertrag an Biomasse und damit Bioenergie maximiert werden kann (z. B. KUP, Silomais, siehe Tab. 1).

**Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen (B&U):** Das Szenario „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ bildet eine Modellwelt ab, in der die Bedeutung von Umweltschutz und Nachhaltigkeit betont wird. Es werden daher im Vergleich zum Szenario „Bioenergie“ weitergehende Restriktionen zur stärkeren Berücksichtigung von Umwelt- und Naturschutzrestriktionen unterstellt.

**Flächenszenario - Business as usual mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen und Ernährungswandel (BAU&U+E):** Aufgrund der starken Effekte der landwirtschaftlichen Flächennutzung im globalen Maßstab werden die Betrachtungen zu den globalen landwirtschaftlichen Biomassepotenzialen um Ernährungsaspekte erweitert. Es werden sowohl Umweltbelange als auch Veränderungen der Ernährungsgewohnheiten in den Vordergrund gestellt. So wird z. B. angenommen, dass in allen mit Kalorien und Proteinen überernährten Bevölkerungsgruppen der Energieverbrauch schrittweise um bis zu 30 % reduziert wird, jedoch nicht unter ein Versorgungsniveau, das zu einer gesunden Ernährung notwendig ist. Alle noch unterernährten Bevölkerungsgruppen realisieren jedoch weiterhin einen Anstieg im Nahrungsmittel-Pro-Kopf-Verbrauch gemäß den bisherigen Trends.

In Tab. 1 werden die Annahmen für die drei globalen Szenarien und das Flächenszenario dargestellt. In allen vier Szenarien werden die gleichen Änderungen von Bevölkerung, Pro-Kopf-Verbrauch und Umwidmung von Agrarland zu Siedlungs- und Verkehrsflächen angenommen.

*Tab. 1: Darstellung der Annahmen in den einzelnen Szenarien für die globalen Betrachtungen (Quelle: Universität Hohenheim, vTI, DBFZ)*

Szenario	Ausprägung der Treiber
Business as usual (BAU)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Landnutzungsänderungen wie Waldrodung und Grünlandumbruch,</li> <li>- Ertragssteigerungen durch technische Fortschritte, z. B. für KUP und Forstplantagen 10 % in 15 Jahren,</li> <li>- Anbauanteile der Kulturen bleiben bestehen (wie in der Basis vorgefunden, vorwiegend Ausrichtung auf Nahrungsmittelproduktion),</li> <li>- Wachstum der ökologischen Landwirtschaft linear proportional wie in den letzten 18 Jahren.</li> </ul>
Bioenergie (B)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Landnutzungsänderungen wie Waldrodung und Grünlandumbruch,</li> <li>- Veränderung des Anbaumixes hin zu den ertragsreichsten Kulturen (sog. Energiefruchtfolge) → 1/3 holzartige Substrate (KUP in den gemäßigten Klimaten, Plantagen in den Tropen), jeweils die ertragsreichsten von den etablierten Kulturen der Länder oder Ländergruppen bis an standortrelevante Fruchtfolgegrenzen</li> <li>- Deutliche Steigerung der Agrarrohstoffpreise und dadurch großer Anreiz um 50 % höhere Ertragssteigerungen im Vergleich zum „BAU“-Szenario bei allen Ackerbaukulturen zu erreichen.</li> </ul>
Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktion (B&U)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Annahmen zu Anbaumix und Ertragssteigerungen wie „B“</li> <li>- Striktes Verbot von Rodung von Primärwald und Graslandumbruch,</li> <li>- 10 % der Wälder in der borealen und gemäßigten Zone aus der Nutzung genommen und für den Arten- und Biotopschutz unter Schutz gestellt,</li> <li>- 50 % der Fläche in tropischen Primärwäldern unter Schutz gestellt und nicht mehr genutzt,</li> <li>- Erweiterung der Naturschutzflächen durch Bereitstellung weiterer 2 % des Ackerlandes für Umwidmungszwecke.</li> </ul>

---

Reines Flächenszenario: Business as usual mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen und Ernährungswandel (BAU&U+E)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzierter Kalorienverbrauch bei überernährten Personen um bis zu 30 %,</li> <li>- Wandel der Nachfrage zu Produkten des ökologischen Landbaus → Überproportionale Ausdehnung des ökologischen Landbaus (Verdoppelung in 10 Jahren)</li> <li>- Geringere Ertragssteigerungen gegenüber dem „BAU“-Szenario: bis 2010 um 5 %, bis 2015 um 10%, bis 2020 um 15 % und bis 2050 um 45 % reduziert.</li> </ul>
--	--

---

## 4.2 Szenarien zur räumlichen Verteilung der Biomasseproduktion in Westsachsen

Im Gegensatz zum vorab erläuterten Vorgehen der Szenarientwicklung, bei dem Biomassepotenziale auf globaler Ebene sowie deutschlandweit berechnet und die quantitativen Ergebnisse kartographisch dargestellt werden, werden am Beispiel der Planungsregion Westsachsen quantitative Ansätze durch qualitative ergänzt. Die Verzahnung dieser Ansätze ergibt sich aus den einzelnen Phasen der Szenarientwicklung auf regionaler Ebene:

- **Vorbereitungsphase:** In Vorbereitung der Szenarientwicklung werden für jeden der zu betrachtenden Technologiepfade Potenzialkarten erstellt, die Aussagen zu den ackerbaulichen Gunstgebieten und zur infrastrukturellen Eignung der Region enthalten (vgl. Abschn. 5.2.3). Das Vorgehen ist im Wesentlichen qualitativer Natur.
- **Durchführung:** Die Szenarien wurden während eines zweitägigen, projektinternen Workshops entwickelt. Anhand der Potenzialkarten wurde die räumliche Verteilung der zu betrachtenden Technologiepfade in Westsachsen diskutiert und skizziert.
- **Reflektionsphase:** Nachdem die Szenarien für die Planungsregion entwickelt worden sind, wurden zum einen Prämissen für die räumliche Verteilung der Biomasseproduktion gewichtet und kategorisiert und zum anderen Kriterien für die Identifizierung von Gunst- und Ungunsträumen abgeleitet. Darüber hinaus wurde die Bedeutung der Szenariotechnik in ihrer Anwendung zur Unterstützung informeller Ansätze in der Regionalplanung herausgestellt, um Einfluss auf die räumliche Entwicklung der Biomasseproduktion nehmen zu können. Verbal-argumentative Verfahren bestimmen vorrangig diese Phase.

Folgende Extremszenarien wurden für Westsachsen entwickelt (vgl. Abschn. 5.2.3):

- **Szenario I: Bioenergie für Verdichtungsräume** – Der Fokus der bioenergetischen Versorgung liegt auf dem im Regionalplan ausgewiesenen Oberzentrum Leipzig, den Grundzentren im Verdichtungsraum Leipzig sowie den Mittelzentren im gesamten Planungsraum.
- **Szenario II: Bioenergie für ländliche Räume** – Der Fokus der bioenergetischen Versorgung liegt auf den im Regionalplan ausgewiesenen gemeindlichen Versorgungs- und Siedlungskernen und den Grundzentren außerhalb des Verdichtungsraums Leipzig.

Als Szenariotechnik wird das Kartoszenario gewählt, mit dem in stark generalisierenden Synthesekarten, die betrachteten Entwicklungspfade zusammenfassend dargestellt werden können /82/. Die Technik ist geeignet, um gewünschte oder auch unerwünschte Entwicklungen zu visualisieren und somit Fachwissen für nicht spezialisierte regionale Akteure aufzubereiten. Bei der Entwicklung von Kartoszenarien können regionale Akteure frühzeitig in den Planungsprozess mit einbezogen werden, was diese zugleich für mögliche räumliche Entwicklungen sensibilisiert.

## 5 REGIONALE BIOMASSEPOTENZIALE

Die Nutzung von Biomasse in Deutschland wurde in den vergangenen Jahren vor allem im Bereich der Wärme- und Kraftstoffnutzung immer weiter ausgebaut. Auch zukünftig wird dieser Trend anhalten. Zudem werden, wie bereits im Kapitel 1 erläutert, durch die EU und die Bundesregierung Ziele zur Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bis 2020 und zum Beitrag von erneuerbaren Energien zur Energieversorgung im Strom-, Wärme- und Kraftstoffbereich ausgegeben.

Vor diesem Hintergrund werden im Teilprojekt 1 zum einen die technischen Brennstoffpotenziale für verschiedene Fraktionen in Deutschland räumlich differenziert ermittelt (siehe Abschn. 5.1) und zum anderen potenzielle räumliche Auswirkungen der zu betrachtenden Biomassefraktionen für die Planungsregion Westsachsen und der damit verbundene Steuerungsbedarf durch die Regionalplanung identifiziert (siehe Abschn. 5.2).

Anhand der Ermittlungen der technischen Brennstoffpotenziale soll abgeschätzt werden, welcher Beitrag zur Energieversorgung von Biomasse im Jahr 2020 erwartet werden kann. Weiterhin sollen anhand der Ergebnisse Aussagen getroffen werden, wie stark die energetische Biomassenutzung zur Erreichung der IEKP-Ziele in Deutschland beitragen kann.

Die Untersuchungen in der Beispielregion sollen aufzeigen, welche Faktoren die Biomasseproduktion beeinflussen und wie diese im Raum wirken. Auch mögliche Nutzungskonflikte im Raum sollen überprüft und potenzielle Steuerungsbedarfe daraus abgeleitet werden. Dabei werden Steuerungsmöglichkeiten durch die aktuell vorhandenen Instrumente der Raumordnung sowie denkbare Weiterentwicklungen betrachtet.

### 5.1 Stoffstrombasierte Potenzialberechnungen

(DBFZ)

In Teilprojekt 1 werden die Biomassepotenziale in Deutschland auf regionaler Ebene untersucht. Dabei werden technische Brennstoffpotenziale für die Jahre 2007 und 2020 ermittelt. Betrachtet werden landwirtschaftliche Biomassen, also Energiepflanzen, forstwirtschaftliche Biomassen und Reststoffe. Die Reststoffe umfassen dabei landwirtschaftliche Reststoffe wie Gülle und Stroh aber auch Bio- und Grünabfälle sowie Industrierestholz und Altholz. Zur Bestimmung der Potenziale aus Energiepflanzen werden für 2020 drei Szenarien in Anlehnung an die nationalen Flächenermittlungen aus TP 2 entwickelt (siehe Abschn. 4.1).

Im Folgenden soll ein Überblick über die methodischen Ansätze und die Ergebnisse der Projektarbeit gegeben werden.

#### 5.1.1 Landwirtschaftliche Biomasse

Zu den landwirtschaftlichen Biomassen werden im Rahmen dieser Studie ausschließlich Energiepflanzen und Grünland gezählt. Energiepflanzen gehören zu den nachwachsenden Rohstoffen und werden für eine energetische Nutzung angebaut, d. h. sie liefern Biomasse zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie zur Herstellung von Kraftstoffen. Da die Berechnungen auf den Flächenszenarien aus dem Teilprojekt 2 basieren (siehe Abschn. 6.1), wird an dieser Stelle analog auch das Grünland betrachtet.

Im Rahmen der Untersuchungen wird das technische Brennstoffpotenzial der Energiepflanzen auf Kreisebene für das Jahr 2007 sowie in drei Szenarien für das Jahr 2020 in Deutschland ermittelt.

### Methodik

Die Bestimmung des Biomassepotenzials aus Energiepflanzen wird mittels einer Stoffstromanalyse auf Grundlage statistischer Daten durchgeführt. Als Ausgangsdaten werden Statistiken der statistischen Landesämter auf Kreisebene verwendet. Hierzu zählen beispielsweise Daten über die Bodennutzung, wie die Anbauflächen einzelner Fruchtarten auf der Ackerfläche und deren Erträge. Weiterhin werden Daten über die aktuelle Verwendung landwirtschaftlicher Biomassen für energetische Zwecke mit in die Betrachtungen einbezogen. Zudem wird bei der Bestimmung der Ernteerträge noch davon ausgegangen, dass ein Teil der Ackerfläche in Schutzgebieten verschiedener Kategorien liegt, z. B. Biosphärenreservat oder Wasserschutzgebiet. Aufgrund von Restriktionen im Anbau, wie geringerer Einsatz von Dünger oder Pflanzenschutzmittel, werden in diesen Gebieten verringerte Erträge angenommen.

Zur Berechnung der drei Szenarien für das Jahr 2020 werden die Non-Food-Flächen aus den Ergebnissen der globalen Flächenermittlungen verwendet. Genutzt werden hier die nationalen Flächenberechnungen ohne Handelsausgleich (siehe Abschn. 6.1). Diese stellen die Flächen dar, die nicht für die Produktion von Nahrungsmitteln benötigt werden und daher für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung stehen. Die Betrachtung der Non-Food-Ackerfläche nach dem globalen Handelsausgleich zur Sicherstellung der Welternährung erfolgt in Abschn. 6.1. Allerdings wird die Belegung dieser Flächen im Vergleich zu den globalen Szenarien verändert (siehe Tab. 2). Neben einer unterschiedlichen Flächenbelegung wird in den Szenarien auch der Anteil von Naturschutzgebieten auf der Ackerfläche variiert.

Tab. 2: Verteilung der Fruchtarten auf den Non-Food-Flächen (Quelle: DBFZ)

	Stand 2007	BAU	B	B & U
	[%]	[%]	[%]	[%]
<b>Silomais</b>	15,0	25,8	30	20
<b>KUP</b>	-	10,0	33	40
<b>Winterraps</b>	67,0	35,0	15	11
<b>Getreide</b>	17,9	29,0	12	20
<b>Zuckerrübe</b>	0,1	0,2	10	7
<b>Sonnenblume</b>	-	-	-	2

Aus den resultierenden Erntemengen der einzelnen Fruchtarten wird schließlich unter Verwendung des unteren Heizwertes das technische Brennstoffpotenzial berechnet. Für Silomais, Getreideganzpflanzensilage und Zuckerrüben werden aufgrund der hohen Wassergehalte die spezifischen Biogaserträge ermittelt und mit dem Heizwert des Biogases das technische Brennstoffpotenzial bestimmt.

Das Potenzial von den Grünlandflächen in Deutschland wird auf Basis der nationalen Flächenberechnungen aus TP 2 des Projektes bestimmt. Hier werden die im Vergleich zum Basisjahr bis 2020 freiwerdenden Grünlandflächen für Non-Food-Verwendungen bestimmt, auf deren Grundlage mit Hilfe des Hektarertrages die Menge bestimmt wird, die auf diesen Flächen an Grünlandaufwuchs geerntet werden kann.

**Ergebnisse**

In Abb. 4 sind die Ergebnisse für Deutschland dargestellt. Für das Jahr 2007 ergibt sich ein technisches Brennstoffpotenzial von Energiepflanzen von etwa 176 PJ/a. Im Szenarien „Business as usual“ können in 2020 etwa 501 PJ/a aus Energiepflanzen bereitgestellt werden und im Szenario „Bioenergie“ ca. 860 PJ/a. Das Ergebnis des Szenarios „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ liegt mit ca. 580 PJ/a dazwischen. Auf diese Ergebnisse aufsummiert sind in Abb. 4 die technischen Brennstoffpotenziale von Grünlandaufwuchs. Die Berechnungen ergeben ein Mengenaufkommen von etwa 6 Mio. t<sub>TM</sub> Grünlandaufwuchs, was einem technischen Brennstoffpotenzial von ca. 100 PJ/a im Jahr 2020 entspricht.

Die regionale Verteilung und Entwicklung ist in Abb. 5 dargestellt. Dabei wird deutlich, dass das technische Brennstoffpotenzial 2007 deutlich geringer ist, als in den Szenarien für das Jahr 2020. Die Regionen mit den größten Potenzialen liegen hauptsächlich in den Gebieten mit einem hohen Anteil an landwirtschaftlichen Flächen wie in großen Teilen Norddeutschlands, z. B. im Nordwesten von Niedersachsen und im nördlichen Mecklenburg-Vorpommern. Aber auch die mitteldeutschen Regionen in Thüringen und Sachsen bzw. Sachsen-Anhalt zeichnen sich durch große Potenziale von Energiepflanzen aus. Vereinzelt weisen allerdings auch in Süddeutschland einige Landkreise, z. B. das Gebiet um München, einen hohen Anteil an Ackerfläche und damit einen verstärkten Energiepflanzenanbau auf.

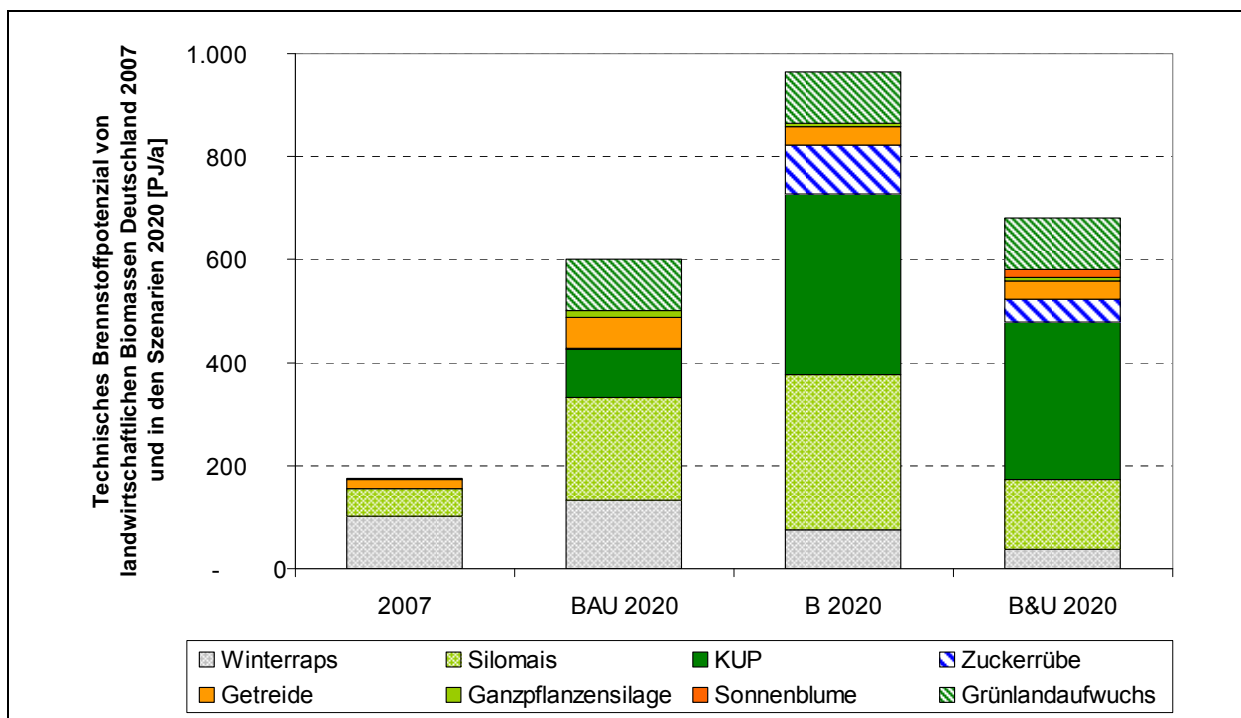


Abb. 4: Technisches Brennstoffpotenzial von landwirtschaftlichen Biomassen (Energiepflanzen und Grünlandaufwuchs) Deutschland 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: DBFZ)



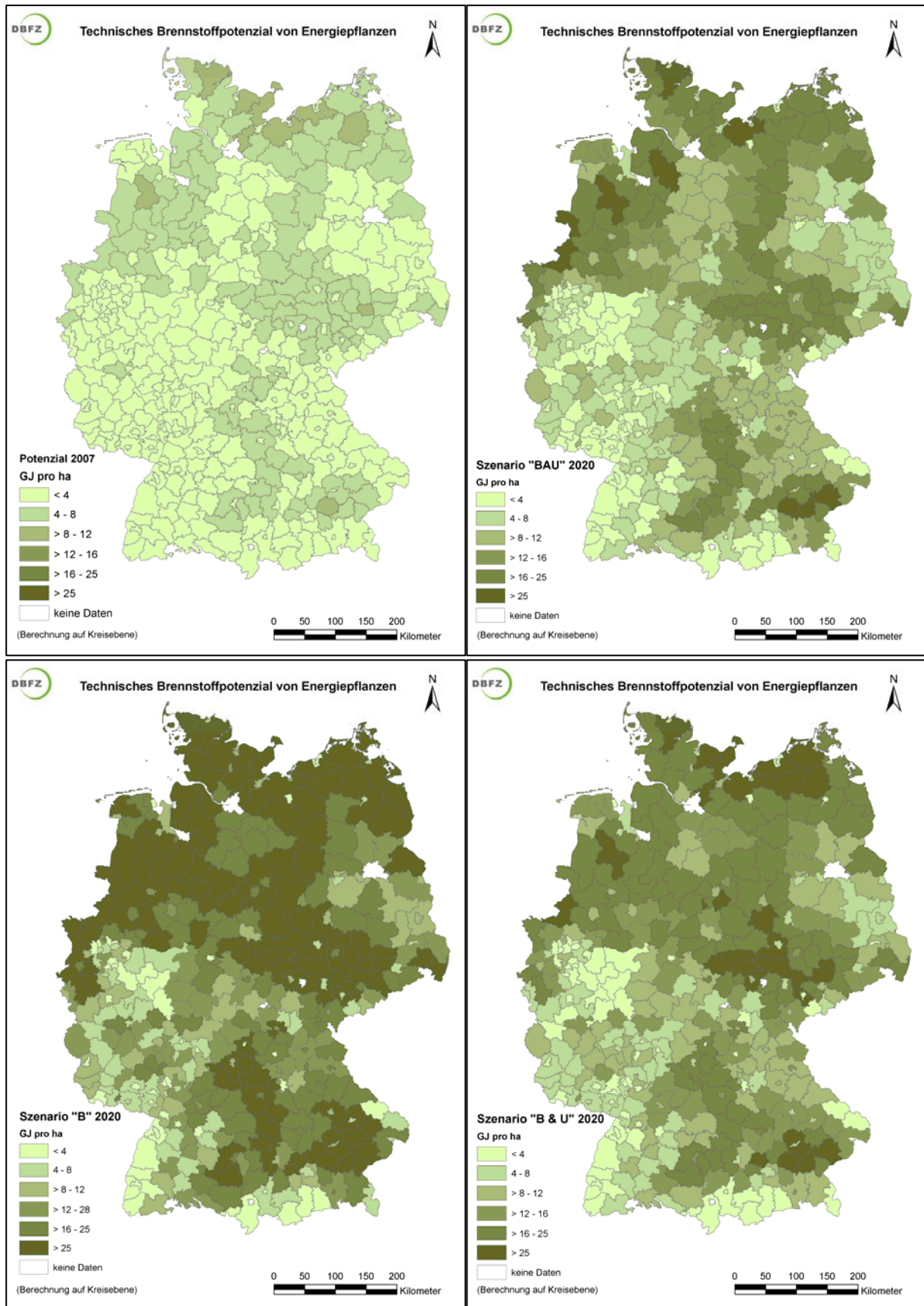


Abb. 5: Technische Brennstoffpotenziale von Energiepflanzen 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: DBFZ)

### 5.1.2 Forstwirtschaftliche Biomasse

Im Rahmen des Projektes werden die forstwirtschaftlichen Biomassen in Deutschland auf Bundeslandebene bestimmt. Zur Berechnung des technischen Brennstoffpotenzials von Waldholz wird das Waldrestholz sowie das bereits energetisch genutzte Stammholz und Rinde einbezogen.

#### Methodik

Zur Bestimmung der forstwirtschaftlichen Potenziale wurden die statistischen Daten der Bundeswaldinventur 2 sowie eigene Hochrechnungen verwendet und ein Modellwald erstellt, der die durchschnittliche Verteilung von Laub-, Nadel- und Mischwald sowie die Altersstruktur der Bäume der einzelnen Bundesländer darstellt. Mit einbezogen werden weiterhin Daten zu Naturschutzgebieten auf bewaldeter Fläche und ein Nutzungsverzicht in diesen geschützten Gebieten festgelegt. Andere Grundlagendaten sind Statistiken zum aktuellen Einschlag, Abzüge für die Sicherstellung einer nachhaltigen Forstwirtschaft und Annahmen für die Sicherstellung des Totholzanteils im Wald. Als Ergebnis resultiert das technische Brennstoffpotenzial von Waldholz auf Bundeslandebene.

#### Ergebnisse

Aus den Berechnungen zum forstlichen Potenzial in Deutschland ergibt sich insgesamt ein technisches Brennstoffpotenzial von etwa 511 PJ/a. Dieses setzt sich zusammen aus dem aktuell noch ungenutzten Zuwachs von Waldholz und Waldrestholz, was wiederum in Waldrestderbholz und Waldrestreisholz unterteilt werden kann (siehe Abb. 6). Weiterhin zählt zum Potenzial auch die Menge Waldholz, die bereits energetisch genutzt wird und zu der Stammholz und Rinde gehören.

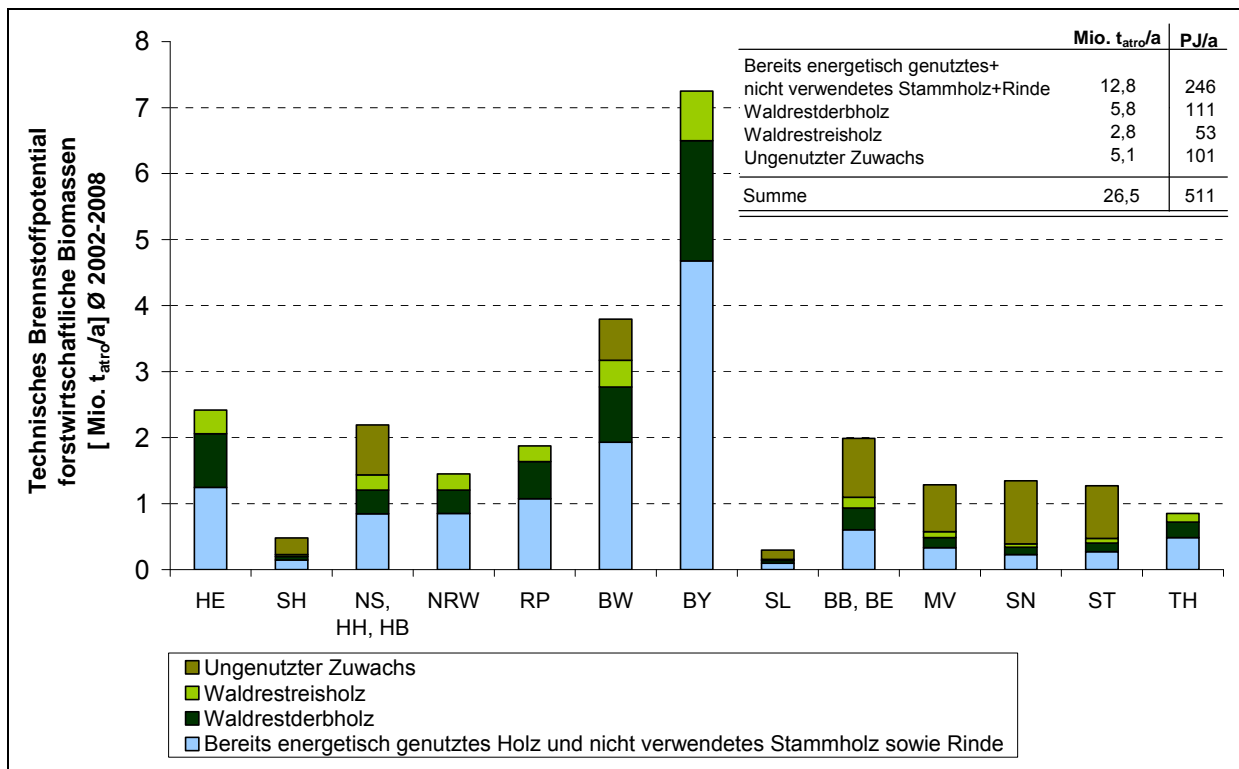


Abb. 6: Technisches Brennstoffpotenzial forstwirtschaftliche Biomassen in den Bundesländern, Ø 2002 - 2008 (Quelle: DBFZ)



Den größten Anteil am forstwirtschaftlichen Potenzial mit einem technischen Brennstoffpotenzial von ca. 246 PJ/a nehmen das bereits energetisch genutzte Waldholz und das nicht verwendete Stammholz sowie die Rinde ein. Das Waldrestholz weist ein Potenzial von 164 PJ/a auf, wobei der Derbholzanteil am Waldrestholz davon 111 PJ/a und der Reisholzanteil 53 PJ/a einnimmt. Auch der momentan noch ungenutzte Zuwachs des Waldholzes bietet mit 101 PJ/a noch ein großes Nutzungspotenzial. Die größten technischen Brennstoffpotenziale von Waldholz liegen in Bayern (ca. 7 Mio.  $t_{\text{atro}}/a$  bzw. 140 PJ/a), Baden-Württemberg (ca. 4 Mio.  $t_{\text{atro}}/a$  bzw. 70 PJ/a) und Hessen (ca. 2,5 Mio.  $t_{\text{atro}}/a$  bzw. 45 PJ/a).

### 5.1.3 Reststoffe

In diesem Abschnitt sollen die Reststoffe betrachtet werden, die für eine energetische Verwertung verwendet werden können. Hierzu zählen die landwirtschaftlichen Reststoffe wie Stroh und Gülle aber auch Industrierestholz aus der Holzverarbeitenden Industrie. Weiterhin werden die Potenziale von Bio- und Grünabfällen sowie von Altholz in die Betrachtungen einbezogen.

#### Stroh

Das technische Potenzial von Stroh wird bestimmt für das Jahr 2007 und die Szenarien für 2020 auf Landkreisebene. Dabei wird Getreidestroh und das Stroh vom Anbau von Winterraps in den Betrachtungen berücksichtigt.

Als Ausgangsdaten für die Bestimmung des technischen Brennstoffpotenzials von Stroh werden Statistiken über die Anbauflächen von Getreide und Winterraps sowie die jeweiligen Hektarerträge in den einzelnen Landkreisen verwendet. Zur Berechnung des gesamten Strohaufkommens wird schließlich die Erntemenge von Getreidekörnern bzw. von Rapssaat mit dem Korn-Stroh-Verhältnis multipliziert.

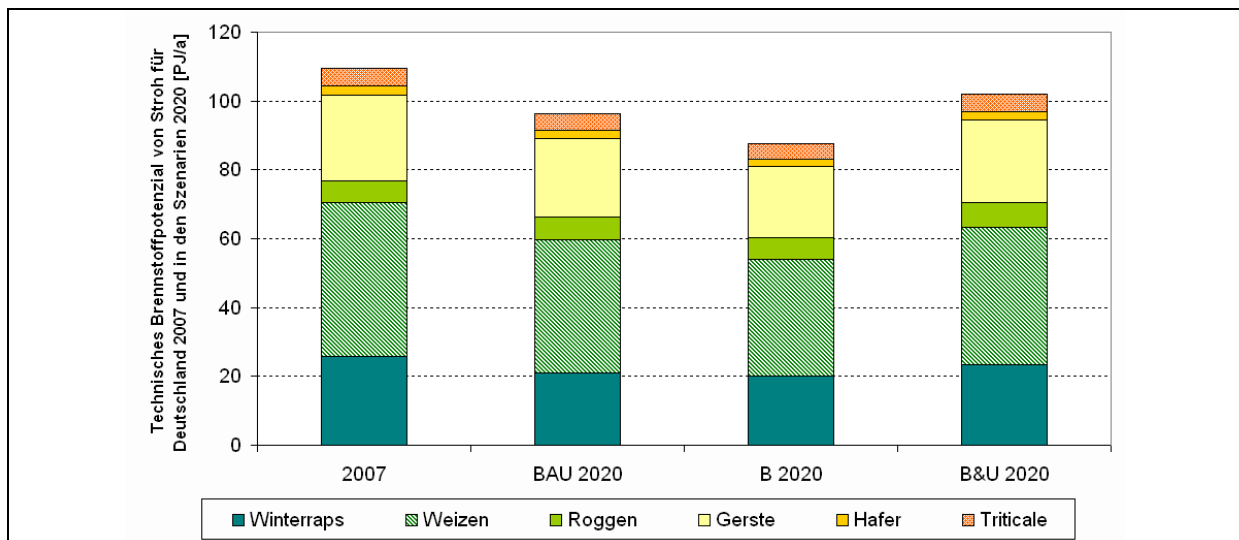


Abb. 7: Technisches Brennstoffpotenzial von Stroh Deutschland 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: DBFZ)

Aus den Berechnungen im Rahmen dieser Studie ergibt sich 2007 insgesamt ein Strohaufkommen von 32 Mio.  $t_{\text{TM}}$ . Für das Szenario „Business as usual“ liegt die Menge des anfallenden Strohs mit ca. 28 Mio.  $t_{\text{TM}}$  und für das „Bioenergie“-Szenario mit 25 Mio.  $t_{\text{TM}}$  aufgrund geringerer Getreide-

und Rapsanbauflächen etwas niedriger. Die Berechnungen aus dem Szenario „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ ergeben eine Strohmenge von 29 Mio. t<sub>TM</sub>. Es wird angenommen, dass 20 % dieser Mengen für eine energetische Nutzung verfügbar sind. Der restliche Teil wird bereits stofflich genutzt, z. B. als Einstreu in der Tierhaltung, oder verbleibt zum Erhalt der Humusbilanz auf dem Feld. Das daraus resultierende technische Brennstoffpotenzial ist in Abb. 7 dargestellt. Im Jahr 2007 ist das Potenzial am größten, während das Szenario „Bioenergie“ für 2020 das geringste Strohpotenzial aufweist. Die regionale Verteilung des Potenzials entspricht den Getreideanbaugebieten. Große Potenziale zeigen sich in Niedersachsen, im Norden Mecklenburg-Vorpommerns und in Mitteldeutschland.

### Gülle

Gülle entsteht in der Viehhaltung in relevanten Mengen vor allem bei Rindern und Schweinen und wird zur energetischen Verwertung ausschließlich in Biogasanlagen eingesetzt. Auch Einstreu, also Stroh, Sägespäne und ähnliches, eignet sich für eine energetische Nutzung. Die Potenziale werden für Rinder- und Schweineexkremate für Deutschland auf Kreisebene und für Hühnergülle und –festmist auf Bundeslandebene bestimmt. Im folgenden Abschnitt werden überblicksartig die Methodik und Ergebnisse der Potenzialermittlung von Gülle und Einstreu dargestellt. Zur Bestimmung des energetisch nutzbaren Biogaspotenzials aus Exkrementen und Einstreu werden die Nutztierarten Rinder, Schweine und Hühner berücksichtigt. Alle anfallenden Exkremate aus der Tierhaltung, die als Potenzial ausgewiesen werden, können tatsächlich energetisch verwendet werden. Dabei entstehen keine Konkurrenzen zu einer möglichen Nutzung als Dünger, da der Gärrest ebenfalls auf das Feld ausgebracht werden kann und die Nährstoffe sogar noch besser pflanzenverfügbar sind.

Aus den Berechnungen ergibt sich eine Menge an Gülle bzw. Einstreu von 139 Mio. t, die für eine energetische Nutzung verfügbar sind. Daraus ergibt sich ein Biogasertrag von insgesamt 4 Mrd. m<sup>3</sup>/a, was einem technischen Brennstoffpotenzial von ca. 90 PJ/a entspricht. Der größte Teil hiervon wird von Rinderexkrementen mit ca. 55 PJ/a eingenommen während Schweinegülle und –einstreu noch einen Anteil von ca. 30 PJ/a und Hühnerexkremate ca. 3 PJ/a am Potenzial haben. In der deutschlandweiten regionalen Verteilung finden sich die größten Potenziale im nord-östlichen Teil Niedersachsens und im südöstlichen Bayern.

### Bio- und Grünabfall

Unter Bioabfällen werden gemäß der Bioabfallverordnung Abfälle verstanden, die tierischen oder pflanzlichen Ursprungs sind. Bei biogenen Reststoffen handelt es sich um ein sehr heterogenes Stoffgemisch, das zum einen aus privaten Haushalten sowie Gewerbe stammt und in Form von Küchen- und Kantinenabfällen bzw. Abfällen der Lebensmittelindustrie anfällt. Zum anderen gehören auch Grünabfälle mit in diese Kategorie. Das Potenzial von Bio- und Grünabfällen wird im Rahmen dieser Studie für das Jahr 2007 und 2020 auf Landkreisebene ermittelt. Das Aufkommen wird in Bio- und Grünabfälle unterschieden, wobei auch Gartenabfälle mit einbezogen werden.

Das jährliche Mengenaufkommen an Bio- und Grünabfällen in Deutschland 2007 beträgt ca. 7,6 Mio. t. Werden hiervon Störstoffe, Sammelverluste und Wassergehalt abgezogen, ergibt sich ein technisches Rohstoffpotenzial von 2,9 Mio. t<sub>TM</sub>. Ein Teil der Grünabfälle wird thermisch verwertet, aus dem Rest des Materials wird Biogas produziert. So ergibt sich ein technisches Brennstoffpotenzial von ca. 23 PJ für das Jahr 2007. Aufgrund einer leichten Bevölkerungsabnah-

me bis 2020 nimmt auch das Potenzial von Bio- und Grünabfällen ab. So fallen 2020 noch insgesamt 7,5 Mio. t biogene Abfälle an, was einem technischen Brennstoffpotenzial von 22,5 PJ entspricht. Die regionale Verteilung des Potenzials ist deutlich an die bevölkerungsreichen Regionen gekoppelt. So zeigen sich beispielsweise in Berlin und dem Ruhrgebiet große Potenziale.

**Alt- und Industrierestholz**

Es werden die Brennstoffpotenziale von Altholz und Industrierestholz auf Bundeslandebene bestimmt. Das Aufkommen an Altholz wird dabei über die Auswertung von Abfallstatistiken und die entsprechenden Abfallfraktionen ermittelt. Berücksichtigt werden hier die reinen Holzfraktionen sowie die Mengen von Abfallfraktionen, in denen Holz nur als Mischfraktion auftritt. Für die Bestimmung von Industrierestholz werden die holzverarbeitenden Industrien betrachtet und deren Reststoffanteile am Rohstoffeinsatz. Auch die stoffliche Nutzung der entsprechenden Reststoffe wie Sägespäne in der Zellstoff- und Papierindustrie wird mit in die Betrachtungen einbezogen.

Insgesamt fallen in Deutschland jährlich etwa 9 Mio. t an reinen Holzfraktionen und etwa 1,5 Mio. t Holz aus gemischten Fraktionen an (Stand 2006). Für eine energetische Nutzung stehen insgesamt 7 Mio. t<sub>utro</sub> zur Verfügung. Als Ergebnis resultiert daher ein technisches Brennstoffpotenzial von Altholz von 110 PJ. Die größten Mengen fallen in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen an.

Industrierestholz hingegen fällt in einer Menge von etwa 18 Mio. m<sup>3</sup>/a an, was dem theoretischen Potenzial entspricht. Ein großer Teil dieses Aufkommens (ca. 12 Mio. m<sup>3</sup>) wird bereits stofflich in den Industrien weiterverarbeitet und steht somit einer energetischen Nutzung nicht mehr zur Verfügung. Das technische Brennstoffpotenzial entspricht damit 58 PJ/a in Deutschland. Den größten Anteil daran haben die Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg mit 23,4 bzw. 19,8 PJ/a (siehe Abb. 8). Negative Ergebnisse bei den Potenzialbestimmungen, z. B. in Sachsen-Anhalt, ergeben sich aus einer intensiven Nutzung des Materials, die das Aufkommen der Resthölzer noch übersteigt.

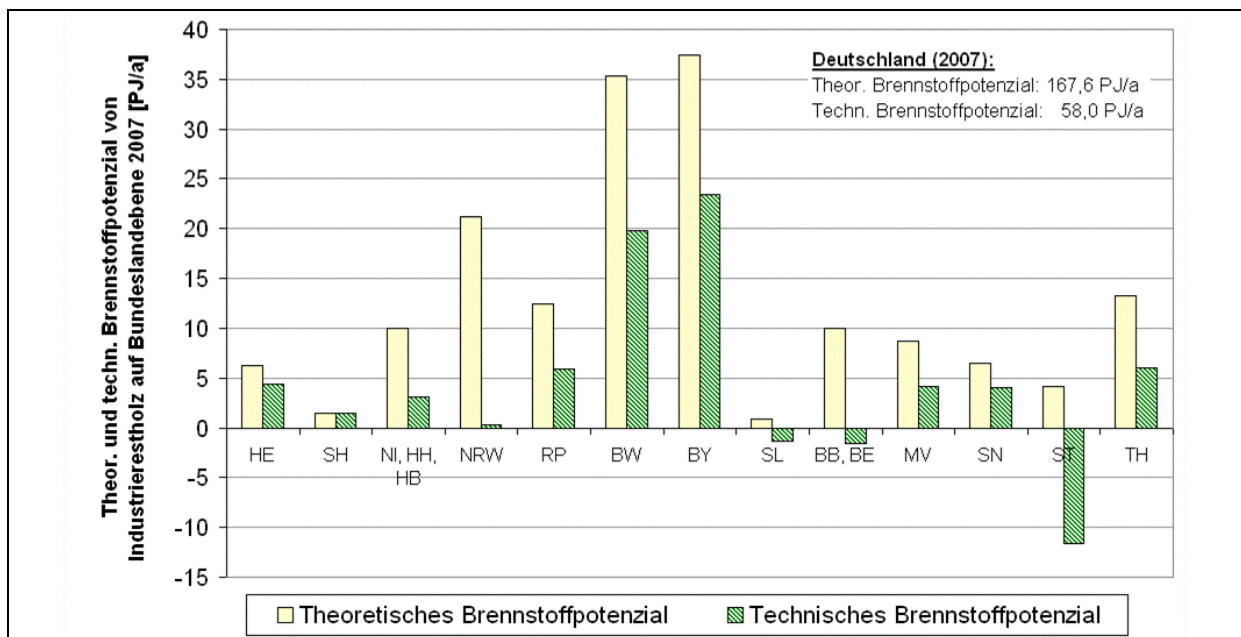


Abb. 8: Verteilung des theoretischen und technischen Brennstoffpotenzials von Industrierestholz in den Bundesländern für 2007 (Quelle: DBFZ)

### 5.1.4 Technische Brennstoffpotenziale für Deutschland und IEKP-Ziele

Werden die gesamten technischen Brennstoffpotenziale der einzelnen Biomassefraktionen aufsummiert ergibt sich eine deutliche Steigerung des Potenzials von 2007 bis 2020. Im Jahr 2007 werden insgesamt bereits etwa 1.000 PJ erreicht (siehe Abb. 9). Das Szenario „Bioenergie“ weist mit ca. 1.800 PJ/a das größte Biomassepotenzial auf, wobei das technische Brennstoffpotenzial der Energiepflanzen den größten Anteil ausmacht. Auch die Steigerung des gesamten Potenzials ist hauptsächlich auf die Zunahme des Energiepflanzenpotenzials zurückzuführen. Das forstwirtschaftliche Potenzial trägt mit 511 PJ ebenfalls einen großen Teil zum Gesamtpotenzial bei.

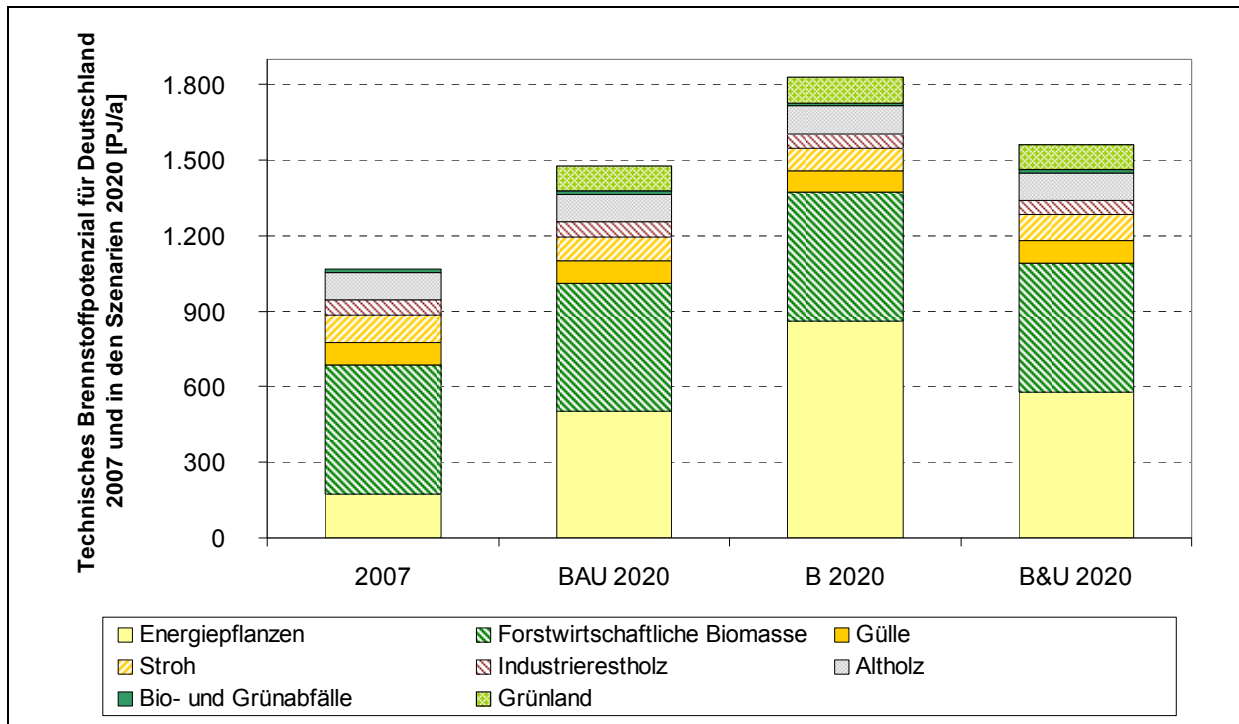


Abb. 9: Summe der technischen Brennstoffpotenziale für Deutschland 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: DBFZ)

Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung zielt im Rahmen einer nachhaltigen Klimapolitik auf einen intensiven Ausbau der erneuerbaren Energien und die Steigerung der Energieeffizienz aber auch die Gewährleistung der Versorgungssicherheit. Der Ausbau der energetischen Nutzung von Biomasse stellt dabei einen Teil der Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele dar. In Deutschland sind die Ziele im Bereich der Biomasse im Rahmen des Nationalen Biomasseaktionsplans /11/ und in der Leitstudie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) /13/ verankert. Hier sind auch die Ziele für den Ausbau der energetischen Biomassennutzung bis 2020 genau festgelegt. Im Folgenden sollen nun die Ergebnisse aus den Szenarien den Zielen gegenübergestellt werden.

Nach der Leitstudie 2008 des BMU besteht im Jahr 2020 ein gesamter Endenergiebedarf von 8.132 PJ, der sich etwa zur Hälfte aus dem Wärmebedarf, zu knapp 30 % aus dem Bedarf an Kraftstoffen und etwa 20 % aus dem Stromverbrauch zusammensetzt (siehe Tab. 3).

Die Ziele zum Anteil der Energiebereitstellung aus Biomasse sind (siehe Tab. 3):

- 8 % Anteil von Strom aus Biomasse am gesamten Stromverbrauch,
- 9,7 % Anteil von Wärme aus Biomasse an der gesamten Wärmeversorgung und
- 12 % (energetisch) Biokraftstoffe /13/.

Tab. 3: Endenergiebedarf 2020 und Anteil der Energie aus Biomasse (Quelle: DBFZ nach /13/)

	Endenergiebedarf 2020 [PJ/a]	Ziel Anteil Biomasse [PJ/a]
Strom Endenergie 2020	1.791	143,3
Wärme Endenergie 2020	4.033	391,2
Kraftstoff Endenergie 2020	2.308	277,0

Zur Bestimmung der Energiemengen, die basierend auf den Ergebnissen der Szenarien aus Biomasse bereitgestellt werden könnten, werden die Energieträger ihren entsprechenden Nutzungspfaden zugewiesen. So wird beispielsweise Biogas im Blockheizkraftwerk (BHKW) zu Strom und Wärme umgesetzt. Unter Beachtung des spezifischen mittleren Wirkungsgrades können so aus 100 PJ Biogas etwa 41 PJ Strom und 42 PJ Wärme produziert werden.

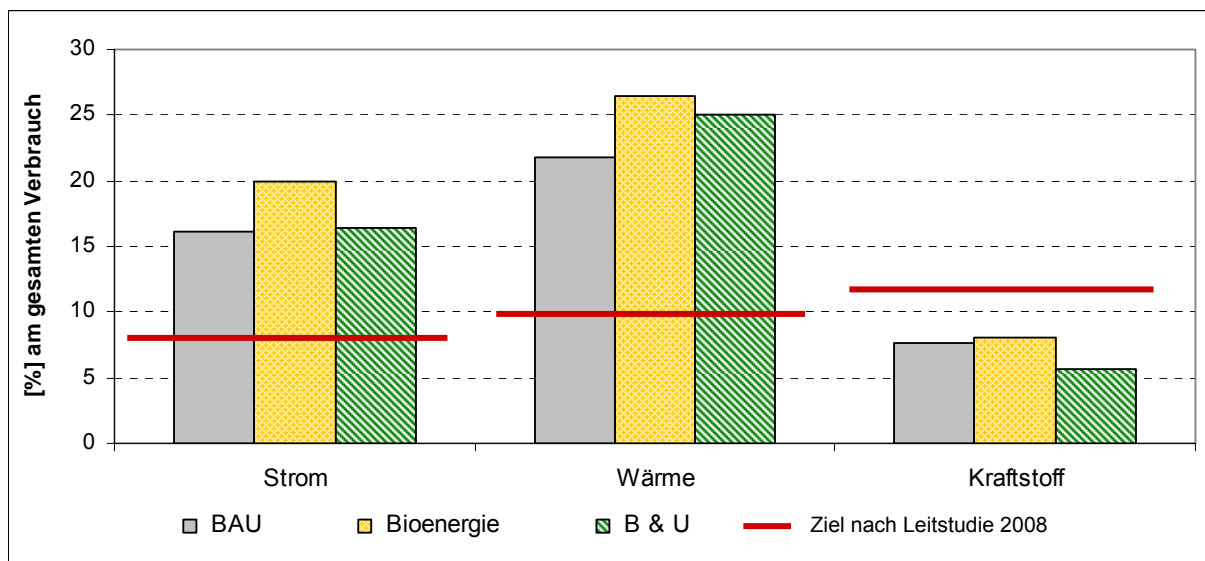


Abb. 10: Möglicher Anteil von Bioenergie am gesamten Endenergieverbrauch in den Szenarien 2020 (Quelle: DBFZ)

In Abb. 10 sind die Anteile der in den Szenarien ermittelten Endenergien am Gesamtverbrauch in Deutschland dargestellt. In allen Szenarien ist der Ertrag an Wärme deutlich höher als der von Strom und Kraftstoff, wobei im Szenario „Bioenergie“ jeweils der größte Beitrag zur Energieerzeugung leistbar ist. So kann der Strombedarf in den Szenarien „Business as usual“ und „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ zu etwa 16 % aus Biomasse bereitgestellt werden. Im Szenario „Bioenergie“ werden sogar bis zu 20 % erreicht, womit das Ziel von 8 % Strom aus Biomasse in allen drei Szenarien deutlich erfüllt wird. Der Anteil der Wärme, die aus Biomasse zur Verfügung gestellt werden könnte, liegt im Vergleich zum Strom noch höher. So können im Szenario „BAU“ 21 %, im Szenario „B“ 26 % und im Szenario „B & U“ bis zu 25 % des Wärmebedarfes aus Biomasse bereitgestellt werden. Somit wird auch das Wärmeziel von 9,7 %

aus Biomasse in allen Szenarien erreicht. Bei der Erfüllung des Kraftstoffzieles von 12 % aus Biokraftstoffen zeigt sich eine etwas andere Situation. Mit der in den Szenarien errechneten Menge an Biokraftstoffen kann die benötigte Energie nicht bereitgestellt werden. So werden im Szenario „BAU“ etwa 7 % erreicht und im Szenario „B“ können immerhin 8 % des Kraftstoffbedarfes aus Biomasse verfügbar gemacht werden. Im Szenario „B & U“ werden nur noch 5,4 % erreicht.

Tab. 4 zeigt die Anzahl von Bioenergieanlagen, die zur Umsetzung der in den Szenarien produzierten Biomasse notwendig wären. So würden beispielsweise im Szenario „Business as usual (BAU)“ 13.000 landwirtschaftliche Biogasanlagen (500 kW) zur Produktion des Biogases benötigt.

*Tab. 4: Anzahl der Bioenergieanlagen, die zur Erzeugung der Energie in den Szenarien 2020 benötigt werden (Quelle: DBFZ)*

Anlagentyp	BAU	B	B & U
Biogasanlagen (500 kW)	13.000	15.970	10.850
Waldholz-Heizkraftwerke	4.750	6.000	6.140
Biodieselanlagen	690	448	192
Bioethanolanlagen (1. Generation)	188	388	275
Bio-SNG-Anlagen	10	10	10
Bioethanolanlagen (2. Generation – lignocellulose-basiert)	1	1	1
BtL-Anlagen	3	3	3

Auch für die Planungsregion Westsachsen, die in den raumplanerischen Untersuchungen eine wichtige Rolle spielt, wurden die Biomassepotenziale bestimmt und die Erreichung der IEKP-Ziele zumindest für Strom und Wärme überprüft. Es zeigt sich in der Region um Leipzig, dass auch hier die Ziele für Strom und Wärme erreicht werden können.

## 5.2 Raumverträgliche Bioenergiebereitstellung – Steuerungsmöglichkeiten auf der Ebene der Regionalplanung

(ZALF)

Die Produktion von Biomasse zur energetischen Nutzung kann einen wesentlichen Beitrag sowohl zum Klimaschutz als auch zur Energiesicherheit leisten und somit eine nachhaltige Entwicklung insbesondere auch in den ländlichen Räumen befördern. Dieser positive Beitrag ist jedoch nicht per se gegeben. Konflikte entstehen, wenn die Erfordernisse der Bioenergiebereitstellung nicht mit anderen gesellschaftlichen oder ökonomischen Zielen in Einklang gebracht werden können. Besondere Konfliktpotenziale bestehen nicht nur zwischen dem Biomasseanbau und der Nahrungs- und Futtermittelproduktion sondern auch mit anderen Flächennutzern. Insbesondere können mit der Intensivierung der Bioenergiebereitstellung erhebliche Umweltauswirkungen verbunden sein. Diese negativen Umweltauswirkungen können sowohl durch intensive Bewirtschaftungsformen mit Monokulturen als auch durch das Mehr an Anlagen und dafür genutzter Fläche entstehen. Eine gezielte räumliche Koordination kann dazu beitragen, die vorhandenen Biomassepotenziale zu nutzen, negative Auswirkungen zu minimieren aber auch positive Entwicklungen und Synergien, die mit der energetischen Nutzung von Biomasse einhergehen, zu befördern.



### 5.2.1 Methodischer Ansatz

Konkret sind aktuelle und zukünftige Handlungs- und Steuerungsmöglichkeiten der Regionalplanung zu identifizieren, mit denen die weitere Entwicklung der Bioenergiebereitstellung räumlich gestaltet und gelenkt werden kann. Neben dem originären Instrument der Regionalplanung, dem Regionalplan, sind weitere institutionelle Regelwerke anderer Planungsebenen und Fachbereiche zu beleuchten, auf welche die Regionalplanung Einfluss nehmen kann, um eine nachhaltige Raumentwicklung zu gewährleisten. Der Komplexität des Themas und der entsprechend breit geführten fachlichen Debatte wird in diesem Projekt mit (fall-)spezifischen Untersuchungen begegnet. Sie machen sich fest an:

- neun ausgewählten **Technologieketten**, wovon zwei bereits etabliert sind und sieben sich in der Entwicklungs- bzw. Pilotphase befinden,
- der Schwerpunktsetzung der Untersuchung auf den **Anbau von Biomasse** sowie auf die **Anlagen zur Verarbeitung der Biomasse**,
- der Wahl der Untersuchung am **Fallbeispiel der Planungsregion Westsachsen**.

Ausgeklammert werden Faktoren, die jenseits regionaler Einfluss- und Wirkräume liegen. Das betrifft nationale und insbesondere internationale wirtschaftliche Bedingungen, allen voran Markt- und Preisentwicklungen sowie Subventionspolitiken (siehe Kap. 2.1. Anhang II).

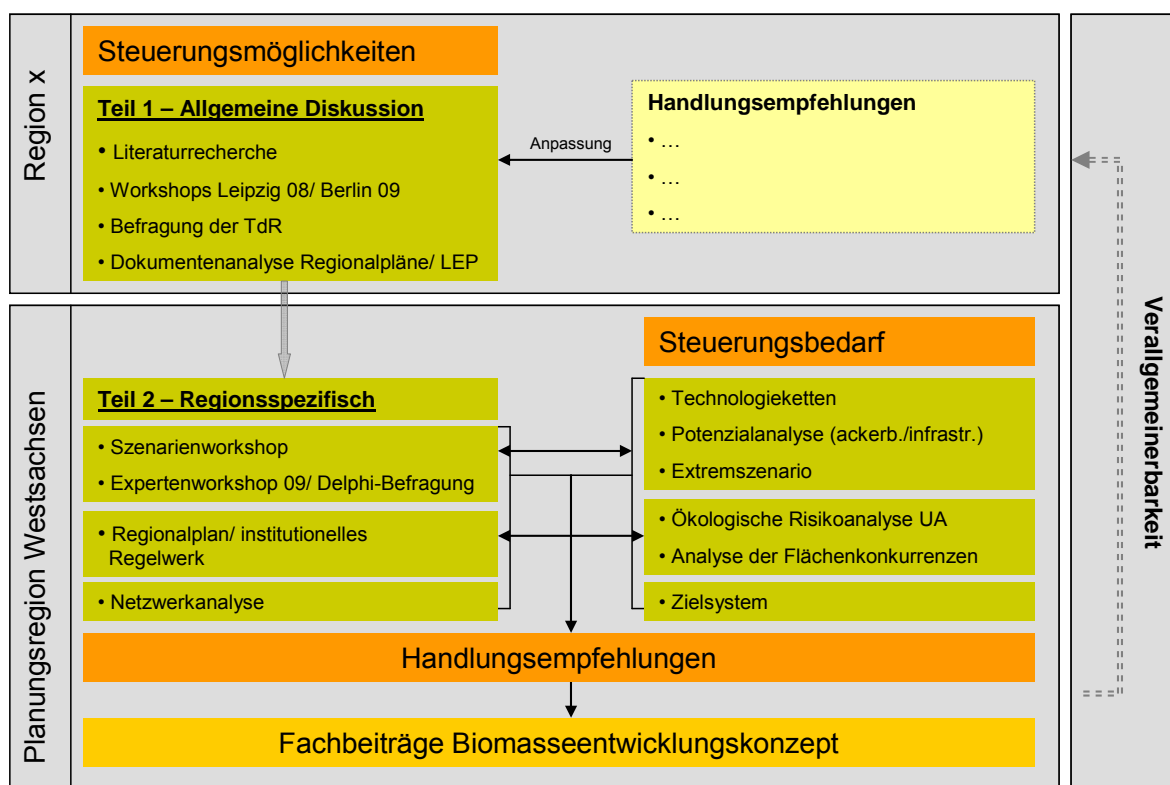


Abb. 11: Untersuchungsschritte zur Ermittlung der Steuerungsmöglichkeiten (Quelle: ZALF)

Entsprechend dem in Abb. 11 dargestellten methodischen Vorgehen setzt sich die Untersuchung aus der Analyse der **Steuerungsmöglichkeiten** einerseits und des **Steuerungsbedarfs** andererseits zusammen. Während sich die Analyse des Steuerungsbedarfs ausschließlich auf die Planungsregion Westsachsen bezieht, wird der Analyse der konkreten Steuerungsmöglichkeiten in

der Planungsregion Westsachsen (Teil 2) eine Analyse der allgemeinen theoretischen und gesellschaftlichen Diskussion zu den Handlungsoptionen der Regionalplanung vorangestellt (Teil 1). In diesem ersten Teil werden dazu eine Literaturrecherche und -auswertung, Expertenbefragungen im Rahmen von Workshops mit nationalen und internationalen Experten, eine bundesweite Befragung der Träger der Regionalplanung (TdR) sowie eine Dokumentenanalyse der bundesweit online veröffentlichten Landesentwicklungs- und Regionalpläne vorgenommen (siehe CD im Anhang). Im Oktober 2008 wurde zunächst ein interner Workshop mit Experten des ZALF und des DBFZ durchgeführt. Diesem folgte im November 2008 ein fachöffentlicher Workshop mit nationalen und internationalen Experten, im April 2009 eine internationale Konferenz sowie im August 2009 ein Workshop mit regionalen Experten, der Workshop schloss eine Delphi-Befragung ein.

Die in Teil 1 gewonnenen Ergebnisse dienen als Bewertungsrahmen für die regionspezifische Analyse der Steuerungsmöglichkeiten in Teil 2. Die Analyse der Steuerungsmöglichkeiten wiederum baut im Wesentlichen auf den Erkenntnissen aus der Analyse des **Steuerungsbedarfs** für die Planungsregion Westsachsen auf. Der Steuerungsbedarf, d. h. die Handlungsnotwendigkeit, die aus einer gesteigerten Bioenergiebereitstellung in der Planungsregion resultieren könnte, wird in vier Schritten identifiziert. Zunächst werden, entsprechend den Anforderungen der dem Projekt zugrunde liegenden Technologieketten, für die Planungsregion Westsachsen die jeweiligen **ackerbaulichen sowie infrastrukturellen Potenziale** ermittelt und kartographisch dargestellt. Mit Hilfe der ackerbaulichen und infrastrukturellen Potenzialkarten wird in einem partizipativen Prozess expertenbasiert ein räumlich konkretes **Extremszenario** für die Planungsregion entwickelt, mit der Zielsetzung, die Potenziale der Planungsregion für die Bioenergiebereitstellung möglichst maximal zu nutzen (s. Abschn. 2.1 Anhang II). Anhand der Ergebnisse aus dem Extremszenario erfolgt im dritten Schritt die Identifizierung der potenziellen **Umweltauswirkungen (UA) und Flächenkonkurrenzen (FK)**, die dann unabhängig von der Gebietskulisse des Szenarios für die Planungsregion geprüft werden. Während die flächendeckende ökologische Risikoanalyse der UA sich dabei an dem Vorgehen der Strategischen Umweltprüfung (SUP) des Regionalplans orientiert (siehe Abschn. 2.2 Anhang II), basiert die Untersuchung der FK auf einer verbal-argumentativen Analyse der Ziele und Grundsätze sowie sonstigen Erfordernissen des Regionalplans für Westsachsen (siehe Abschn. 2.3 und 2.4 Anhang II). Die während des Szenarienprozesses abgeleiteten Prämissen für die räumliche Entwicklung der Bioenergiebereitstellung bilden schließlich einen Baustein für die Erarbeitung eines **Zielsystems** für die Planungsregion Westsachsen, welches im vierten Schritt aufgestellt wird (siehe Abschn. 2.5 Anhang II). Die Ergebnisse der Analyse zum Steuerungsbedarf sind mit regionalen Experten aus den Fachbereichen Klimaschutz und Klimawandel, Landschaftsplanung, Bauen, Nachwachsende Rohstoffe, Land-, Wald- und Forstwirtschaft sowie Grundsatzangelegenheiten und der Landes- und Regionalplanung des Freistaates Sachsen abgestimmt (regionaler Expertenworkshop in Leipzig August 2009).

Neben der Validierung der Ergebnisse zum Steuerungsbedarf dient der regionale Expertenworkshop, als ein relevanter Schritt in Teil 2, insbesondere der Diskussion potenzieller Instrumente und Ansätze zur Steuerung der Bioenergiebereitstellung in der Planungsregion Westsachsen. Als Grundlage für die Diskussion werden die in Teil 1 zu den Steuerungsmöglichkeiten gewonnenen Erkenntnisse als Hypothesen formuliert. Neben den Diskussionsergebnissen werden zusätzlich die Expertenmeinungen im Rahmen einer **Delphi-Befragung** erfasst. Das zweistufige Befragungsverfahren zu Beginn und am Ende des Workshops hat zum Ziel, das potenziell weitgefächerte Spektrum an Expertenbewertungen sowohl zum Steuerungsbedarf als auch zu den -möglichkeiten stärker zu fokussieren. Darüber hinaus wird in Teil 2 zu den Steuerungsmöglichkeiten eine **Analyse bestehender Netzwerke** in der Planungsregion Westsachsen durchgeführt, die sich mit dem



Thema der energetischen Nutzung von Biomasse aktiv auseinandersetzen. Das Ziel dieser Netzwerkanalyse liegt in der Beantwortung der Fragestellung, inwiefern die Regionalplanung derzeit in solche lokalen bzw. interkommunalen Aktivitäten eingebunden ist und ob sie über diese steuernd auf die räumliche Ausdehnung der Bioenergiebereitstellung Einfluss nehmen kann. Schließlich wird im dritten Schritt der regionsspezifischen Analyse zu den Steuerungsmöglichkeiten der **Regionalplan** dahingehend geprüft, inwiefern über diesen Einfluss auf die für die Planungsregion Westsachsen identifizierten UA und FK genommen werden kann. Sofern eine Steuerung über den formellen Regionalplan nicht direkt oder indirekt erfolgt, wird dargestellt, welches institutionelle Regelwerk greift, um UA und/ oder FK zu minimieren oder aber auch Synergien zu befördern.

Schließlich werden aus der Gegenüberstellung der Steuerungsmöglichkeiten und dem Steuerungsbedarf Handlungsempfehlungen konkret für die Planungsregion abgeleitet. Darüber hinaus wird das bestehende Instrumentarium der Regionalplanung um **Fachbeiträge für ein Biomasseentwicklungskonzept (BEK)**, das wiederum als ein möglicher Baustein für ein regionales Energiekonzept konzipiert ist, ergänzt und weiterentwickelt. Die Fachbeiträge zum BEK enthalten im Wesentlichen Informationen aus den Ergebnissen der ackerbaulichen und infrastrukturellen Potenzialanalyse sowie der Analyse der UA und FK (siehe Abschn. 3.3 Anhang II).

Ferner wird die Übertragbarkeit der für die Planungsregion Westsachsen erarbeiteten Handlungsempfehlungen einerseits und des methodischen Vorgehens zur Entwicklung der Fachbeiträge andererseits erörtert. Insbesondere wird die Bedeutung des regionalen, aus dem Szenarienprozess abgeleiteten, Zielsystems und regionaler Netzwerke diskutiert und schließlich **verallgemeinerbare Empfehlungen**, die über die Planungsregion Westsachsen hinausgehen, formuliert.

## 5.2.2 Steuerungsbedarf der Bioenergiebereitstellung am Beispiel der Planungsregion Westsachsen

### Szenarien

Der Einsatz der Szenarientechnik nimmt in der vorliegenden Untersuchung zwei Bedeutungen ein. Zum einen wird mit der Entwicklung eines Extremszenarios versucht, ein möglichst breites Spektrum an UA und FK zu erfassen, um somit die Vielfalt an Steuerungsmöglichkeiten überprüfen zu können. Er bildet somit einen ersten methodischen Zwischenschritt für die Analyse des Steuerungsbedarfs. Zum anderen, und darin liegt auch der Hauptgrund für den Einsatz der Szenariemethode, wird mit dem Prozess der Szenarientwicklung ein partizipativer Ansatz erprobt, sich dem aus regionalplanerischer Sicht neuen Thema Bioenergiebereitstellung zu nähern und gemeinsam mit regionalen Akteuren Prämissen und Zielvorstellungen für eine regional nachhaltige Bioenergiebereitstellung zu entwickeln.

### Umweltauswirkungen

Die intensive Agrarproduktion (bspw. /5/) und somit auch die intensive Biomasseproduktion beeinträchtigen die unterschiedlichen Landschaftsfaktoren oftmals in negativer Art und Weise. Nichtsdestoweniger kann sich die Biomasseproduktion für die Bereitstellung von Energie auch positiv auf die Landschaftsfunktionen auswirken /92//97//125/.

Im Rahmen der Prüfung der UA der Bioenergiebereitstellung werden die zu erwartenden raumbedeutsamen Beeinträchtigungen der Umweltgüter (§ 2 UVPG /120/) bzw. der relevanten Land-

schaftsfunktionen /126/ daher flächendeckend in einer ökologischen Risikoanalyse in Anlehnung an die SUP des Regionalplans Westsachsen hinsichtlich ihrer Erheblichkeit bewertet. Geprüft werden UA des intensiven Anbaus der Biomasse unter Einhaltung der guten fachlichen Praxis (gfP) der Landwirtschaft sowie UA der Nutzung von Waldrestholz. Darüber hinaus werden anlagenbedingte UA bewertet. Die in der Planungsregion formulierten umweltbezogenen Grundsätze, Ziele und Erfordernisse der Regionalplanung sowie der Landschaftsplanung dienen als Bewertungsmaßstab (siehe Abschn. 2.2 Anhang II).

Die Bewertung der einzelnen Beeinträchtigungen der Landschaftsfunktionen durch den Anbau von Biomasse erfolgt für ausgewählte Fruchtarten und Anbausysteme. Die Auswahl dieser Fruchtarten und Anbausysteme basiert auf dem in den Steckbriefen für die Technologieketten dargestellten Rohstoffbedarf einer jeden Technologie.

In Aggregation aller UA lassen sich in der Planungsregion Westsachsen für den Anbau verschiedener Feldfrüchte und für verschiedene Anbausysteme Räume unterschiedlicher Umweltweltauswirkungen darstellen. Dabei ist zwischen Räumen, in denen es zu erheblich negativen, keinen oder erheblich positiven UA kommt, zu unterscheiden (Tab. 5). In bestimmten Räumen ist dabei mit keinen UA zu rechnen, wenn bestimmte Nutzungsaufgaben oder Einschränkungen (bspw. konservierende Bodenbearbeitung, Extensivierung der Nutzung) eingehalten werden (siehe Abschn. Kap. 2.2 Anhang II). Diese liegen oberhalb des Mindeststandards der gfP.

Tab. 5: Übersicht der Räume unterschiedlicher UA in der Planungsregion Westsachsen (Quelle: ZALF, abgestimmt im regionalen Expertenworkshop /75/)

Art und Intensität der UA	Raumkriterium (→ bezogen auf Fruchtart/ Nutzung/ Anbausystem)
erheblich negative UA	Grünland mit hohem Biotopwert (→ AL/ KUP) Grünland mit hoher landschaftlicher Erlebniswirksamkeit (→ AL/ KUP) Fluss- und Bachauen des Biotopverbunds (→ AL) seltene/ kulturhistorisch bedeutsame Böden (→ KUP) naturnahe/ naturgeschichtlich bedeutsame Böden (→ AL/ KUP) Grünland mit hohem Retentionsvermögen (→ AL) stark gefährdete Wälder (→ WRH)
keine erheblich negativen UA bei Einhaltung von Auflagen	Intensivgrünland (→ AL) Agrarräume des Biotopverbunds (→ AGr/ GL) offen zu haltende Landschaften des Biotopverbunds (→ KUP) Bergbaufolgelandschaften des Biotopverbunds (→ alle Nutzungen) erosionsgefährdete Räume (→ erosionsfördernde Feldfrüchte) seltene Böden/ kulturgeschichtlich bedeutsame Böden (→ AL) naturnahe/ naturgeschichtlich bedeutsame Böden (→ AGr/ GL) Räume mit hoher Grundwasserneubildungsrate (→ ZKN/ KUP) Räume mit regional bedeutsamer Kaltluftentstehung sowie deren Abflussbahnen (→ KUP) Wälder auf Böden mit schlechter Nährstoffversorgung (→ WRH)
keine erheblich negativen oder positiven UA	Räume mit geringen Empfindlichkeiten gegenüber Beeinträchtigungen und hoher Bodenfruchtbarkeit (→ AL) Räume mit geringen Empfindlichkeiten gegenüber Beeinträchtigungen und hoher Wasserspeicherkapazität (→ ZKN/ KUP) Wälder mit guter Nährstoffversorgung (→ WRH)

erheblich positive UA	sehr stark belastete oder stark anthropogen beeinflusste Räume/ Räume mit sehr geringem Biotopwert (→ GL) Erosionsgefährdete Räume (→ AGr/ GL/ KUP) Räume mit geringem Retentionsvermögen (→ AGr/ GL/ KUP) Räume mit geringer Erlebniswirksamkeit (→ AGr/ GL)
-----------------------	--

Hinweise zur Tabelle: AL = Ackerland, KUP = Kurzumtriebsplantage, WRH = Waldrestholznutzung, AGr = Ackergras, GL = Dauergrünland, ZKN = Zweikulturnutzung

### Flächenkonkurrenzen durch die Biomasseproduktion

Die Biomasseproduktion ist äußerst flächenextensiv. Die Energiedichte von Biomasse ist erheblich geringer als die anderer Energieträger, wodurch auch die räumlichen Auswirkungen größer sind. Bei einem Ausbau der Biomasseproduktion können deshalb Konkurrenzen um die nur begrenzt zur Verfügung stehende Ressource Fläche verstärkt werden. Neben FK sind allerdings auch Synergieeffekte zwischen der Biomasseproduktion und anderen Raumnutzungen zu erwarten.

Basierend auf einem der im Rahmen des Projektes erstellten Szenarien für die Planungsregion Westsachsen werden die durch den Biomasseanbau verursachten FK untersucht. Grundlage der Untersuchung bildet der Regionalplan für die Planungsregion Westsachsen. Anhand der Ziele (Vorranggebiete) und Grundsätze (Vorbehaltsgebiete) dieses Plans werden die entstehenden FK untersucht und bewertet. Für die Bewertung werden weitere Quellen wie z. B. der Umweltbericht zum Regionalplan Westsachsen, Gesetze oder Fachliteratur hinzugezogen.

Tab. 6: Übersicht über die Flächenkonkurrenzen beim Biomasseanbau in Westsachsen (Quelle: ZALF, abgestimmt im Regionalen Expertenworkshop /75/)

Raumkategorie	Raumbezeichnung (→ bezogen auf Nutzung/ Anbausystem)
Ausschließende Konkurrenzen	Wasserschutzgebiete Zone I (→ Landwirtschaft) Vorranggebiete vorbeugender Hochwasserschutz/ Vorranggebiete Natur und Landschaft mit Funktion Hochwasserschutz (→ Mais, Getreide, AGr, ZKN)
Restriktionen*	Vorranggebiete Natur und Landschaft (→ Landwirtschaft) Vorbehaltsgebiete Natur und Landschaft (→ Landwirtschaft) Wasserschutzgebiete Zonen I (→ WRH) Wasserschutzgebiete Zonen II-III (→ Landwirtschaft) Vorranggebiete Wasserressourcen (→ Landwirtschaft) Heidelandschaften (→ KUP) Vorranggebiete Waldschutz (→ WRH)
Keine Konkurrenzen	Wasserschutzgebiete Zonen II-III (→ Waldrestholz) Vorbehaltsgebiete vorbeugender Hochwasserschutz (→ Landwirtschaft, WRH)
Synergien	Naturpark (→ AGr und Grünland) Gebiete zur Erhaltung und Verbesserung des Wasserrückhalts (→ KUP) Vorranggebiete vorbeugender Hochwasserschutz (→ KUP, Grünland) Bergbaufolgelandschaften südlich von Leipzig (→ großflächige KUP) O-schatzer Hügelland (→ großflächige KUP) Delitzscher und Brehnaer Platte, Naunhofer Land (→ großflächige KUP) Jeder Landschaftstyp insb. Räume mit geringer Erlebniswirksamkeit (→ kleinflächiger streifenförmiger Anbau von KUP in Form von Alleen oder Hecken)

\* Restriktionen können räumliche Einschränkungen oder Maßnahmen sein, die über dem Niveau der gfP liegen. Welche Restriktion in welchen Gebieten notwendig ist, um eine Konkurrenz zu vermeiden, ist Abschn. 2.3 des Anhangs II zu entnehmen.

Untersucht wird des Weiteren, ob zwischen dem Anbau der betrachteten Rohstoffe und einzelnen Raumnutzungen sich einander ausschließende oder durch Restriktionen vermeidbare Konkurrenzen bestehen oder ob Synergien zu erwarten sind (siehe Tab. 6). Die Ergebnisse beruhen auf eigenen Bewertungen, abgestimmt mit regionalen Stakeholdern innerhalb eines Workshops.

Die Untersuchung von Schutzgebieten in der Planungsregion Westsachsen zeigt, dass Landschaftsschutzgebiete und Naturschutzgebiete aufgrund ihrer unterschiedlichen Schutzzwecke in Bezug auf den Biomasseanbau nicht einheitlich bewertet werden können und eine Eignung im Einzelfall zu beurteilen ist. Häufig wird in Landschaftsschutzgebieten Grünland gefördert und eine extensive Bewirtschaftung angestrebt. Die Waldrestholznutzung stellt, zumindest in den untersuchten Landschaftsschutzgebieten, keine Konkurrenz zum Schutzzweck dar. In Naturschutzgebieten ist der Umbruch von Grünland meist verboten und eine extensive Bewirtschaftung wird angestrebt. Die Bewirtschaftung in den ausgewiesenen Prozessschutzflächen ist untersagt und die Gülleausbringung oftmals verboten.

### Flächenkonkurrenzen durch Bioenergieanlagen

Analog zu der Untersuchung der aus dem Anbau von Biomasse resultierenden FK werden die anlagenbedingten Auswirkungen von Bioenergieanlagen auf der Grundlage des Regionalplans untersucht (siehe Abschn. 2.4 Anhang II). Als Ergebnis dieser Untersuchung können in erster Linie Ausschlussräume aufgezeigt werden. Aufgrund fehlender Erfahrungswerte (bezüglich Flächenbedarf, Bauhöhe, Immissionen etc.) zu den sieben sich erst in der Entwicklung befindlichen Technologien kann keine anlagendifferenzierte Bewertung vorgenommen werden. Die Bewertung erfolgt daher einheitlich für alle Anlagen. Lediglich für Biogasanlagen können an einigen Stellen gesonderte Aussagen getroffen werden (bspw. zum Gewässerschutz).

Tab. 7: Übersicht über die Flächenkonkurrenzen bezüglich Bioenergieanlagen in Westsachsen (Quelle: ZALF)

Raumkategorie	Raumbezeichnung
Ausschlussraum	Vorranggebiete (Vorbehaltsgebiete) Natur und Landschaft
	Naturschutzgebiete
	Wasserschutzgebiete Zonen I-II
	Vorranggebiete Wasserressourcen
	Vorranggebiete vorbeugender Hochwasserschutz
	Gebiete zur Erhaltung und Verbesserung des Wasserrückhalts
	Vorranggebiete (Vorbehaltsgebiete) Waldschutz
	Vorranggebiete (Vorbehaltsgebiete) Waldmehrung
	Vorranggebiete Land- und Forstwirtschaft
	Vorranggebiete Erholung/Waldmehrung
	Vorranggebiete (Vorbehaltsgebiete) oberflächennaher Rohstoffabbau
	Vorranggebiete (Vorbehaltsgebiete) Braunkohleabbau
	Grünzüge und Grünzäsuren

Die größten Konfliktfelder ergeben sich in den Bereichen Naturschutz, Gewässerschutz und Erholungsvorsorge/ Landschaftsbild.

Durch Bodenversiegelung beim Bau von Bioenergieanlagen kommt es unumgänglich zu Konflikten mit dem Naturschutz. Daher ist in den untersuchten Naturschutzgebieten der Planungsregion Westsachsen der Bau von Anlagen ausgeschlossen. In Landschaftsschutzgebieten muss im Zu-

sammenwirken mit der zuständigen Behörde geprüft werden, ob die Anlage dem Schutzzweck entgegensteht und wenn ja eine Ausgliederung der Anlagenfläche aus dem Gebiet möglich ist. Für die Schutzgebiete wird kein weiterer Steuerungsbedarf gesehen, da die bestehenden Regelungen ausreichen.

Die ländlichen Räume haben eine wichtige Bedeutung für den Tourismus und die Erholung in der Planungsregion Westsachsen. Bioenergieanlagen können negative Auswirkungen auf diese Erholungsfunktion hervorrufen, wenn sie das Landschaftsbild stören. Durch die Größe einiger Bioenergieanlagen kann eine Landschaft technisch überprägt wirken und den Charakter des Gebietes stören. Die Analyse der ‚Leitbilder für Natur und Landschaft‘ in der Beispielregion ergibt, dass Bioenergieanlagen in den folgenden Räumen gravierende und unausgleichbare Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes hervorrufen können: Landschaftsprägende Höhenrücken, Kuppen und Hanglagen, weit einsehbare Räume sowie unzerschnittene Landschaftsräume. In schlecht einsehbaren Räumen, etwa dem nordöstlichen Teil Westsachsens, oder in bestehenden Industrie- und Gewerbegebieten sind hingegen keine gravierenden negativen optischen Auswirkungen durch Anlagen zu erwarten. Bioenergieanlagen können in Form von Ausflugszielen auch positive Auswirkungen auf den Tourismus haben. Im Pflege- und Entwicklungskonzept des Naturparks Dübener Heide wird dies als mögliche Synergie formuliert /81/.

Bei dem Aspekt Gewässerschutz gelten für einige Bioenergieanlagen besondere Vorschriften. So müssen Biogasanlagen nach §19g Wasserhaushaltsgesetz (WHG) /127/, gemäß der Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, als ‚Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen‘ behandelt werden. Biogasanlagen sollten daher einen Mindestabstand von 50 m zu oberirdischen Gewässern haben. Der Bau von Biogasanlagen in Wasserschutzgebieten sowie in den Vorranggebieten Wasserressourcen sollte daher vermieden werden.

### **Zielsystem für eine nachhaltige Bioenergiebereitstellung in der Planungsregion Westsachsen**

Die Erkenntnisse aus der Analyse der UA und FK bilden eine wesentliche Grundlage für die Aufstellung eines regionalen Zielsystems. In einem übergeordneten Zielsystem sollten die TdR die spezifischen Aufgaben definieren, die ihnen bei der weiteren Entwicklung der Bioenergiebereitstellung zukommen. Für die Entwicklung eines Zielsystems für die Planungsregion Westsachsen (ausführlich siehe Abschn. 2.5 Anhang II) werden zunächst bereits bestehende Leitlinien einer nachhaltigen Bioenergiebereitstellung (insbesondere aus dem Biomasseaktionsplan) denen einer nachhaltigen Raumentwicklung (hier v. a. aus dem Raumordnungsbericht 2005) gegenübergestellt und die Oberziele definiert. Die jeweiligen Unterziele basieren im Wesentlichen auf den im Rahmen des Szenarienworkshops formulierten Prämissen für die räumliche Verteilung der Bioenergiebereitstellung und werden durch Erkenntnisse aus der Analyse der UA und FK ergänzt (siehe Abb. 12). Das Zielsystem ist grundsätzlich nicht als statisches Konzept zu betrachten. Vielmehr bildet es einen planungsrelevanten Handlungsrahmen für die TdR ab, in dessen Grenzen Entscheidungen zu treffen sind.

Zielsystem – Bioenergiebereitstellung für die Planungsregion Westsachsen				
Wirtschaftliche Entwicklung	Umweltpolitische Ziele	Gesamträumliche Entwicklung	Klimapolitische Ziele	Versorgungssicherheit
Erhöhung der regionalen Wertschöpfung	Vermeidung der Neuversiegelung von Flächen für Bioenergieanlagen	Minimierung bzw. Vermeidung von Flächen- und Nutzungskonkurrenzen	Erhöhung der Energieeffizienz	Bestimmung des regionalen Energiemix
Schaffung und Erhalt von Arbeitsplätzen	Umsetzung eines umweltschonenden Anbaus	Gezielte Nutzung von Synergien	Verringerung klimarelevanter Emissionen	Verringerung der Abhängigkeit von Rohstoffimporten
		Verringerung räumlich struktureller Defizite		

Abb. 12: Zielsystem für den Umgang mit der Bioenergiebereitstellung (Quelle: ZALF)

### Fazit

In der Gesamtbetrachtung aller UA und FK lassen sich in der Planungsregion Westsachsen für den Anbau verschiedener Fruchtarten und die verschiedenen Anbausysteme Ausschluss-, Restriktions- und Gunsträume darstellen. In Ausschlussräumen ist mit erheblich negativen UA bzw. ausschließenden FK zu rechnen. Ein verträglicher Anbau der jeweiligen Fruchtart ist aus Sicht von Natur und Landschaft sowie aus Sicht der Regionalplanung nicht möglich und sollte daher in diesen Räumen ausgeschlossen werden. Im Gegensatz dazu kommt es in Gunsträumen zu keinen UA bzw. FK oder sogar zu erheblich positiven UA bzw. Synergien mit anderen Raumnutzungen. Der Anbau der jeweiligen Fruchtart oder das jeweilige Anbausystem sind daher in diesen Räumen zu fördern. Der Anbau von Feldfrüchten nach gfP kann in Restriktionsräumen zu erheblich negativen UA oder zu FK führen. Unter Nutzungsaufgaben oder Einschränkungen (bspw. konservierende Bodenbearbeitung, Extensivierung der Nutzung, räumliche Begrenzung) können diese aber verringert oder sogar vermieden werden.

Die Prüfung der UA und FK der Biomasseproduktion lässt keine wesentlichen Unterschiede zur konventionellen Landwirtschaft erwarten. Der sich ableitende Steuerungsbedarf bezieht sich daher nicht ausschließlich auf die Biomasseproduktion. Ausnahmen stellen Zweikulturnutzungssysteme und Kurzumtriebsplantagen mit sowohl negativen UA und Konkurrenzen als auch positiven UA und Synergien dar.

Neben diesen alternativen Anbausystemen, können aus betriebswirtschaftlicher Sicht zukünftig auch weitere Fruchtarten zur Bereitstellung von Energie, insbesondere als Biogassubstrat, eingesetzt werden (bspw. Sudangras, durchwachsende Silphie, Topinambur /34/, Wildpflanzenmischungen /71/). Diese sind hinsichtlich ihrer Wirkungen allerdings anders als konventionelle Marktfrüchte, oftmals positiver zu bewerten und könnten somit einen Beitrag zur Bereitstellung von sog. „non commodity outputs“ durch die Landwirtschaft leisten /20//34//97/ („non commodity outputs: Bisher nicht oder nur unzureichend honorierte (im Sinne der Inwertsetzung) Ökosystemdienstleistungen bzw. Funktionen der Landwirtschaft als Nebenprodukt (beispielsweise der Erhalt der Kulturlandschaft oder der Biodiversität) /51//64/). Zukünftig sollte die Betrachtung solcher Fruchtarten und Wildpflanzen sowie deren Förderung Gegenstand räumlicher Planung sein.

Die Analyse der UA und FK zeigt, dass die energie- und klimapolitischen Ziele des Freistaates Sachsen in der Planungsregion Westsachsen und somit auch die IEKP-Ziele für Strom in beiden Szenarien erreicht werden können. Das IEKP-Ziel zur Nutzung von Wärme aus Biomasse hinge-



gen kann nur in Szenario I erreicht werden. Die Erreichung der Ziele hängt somit von der Wahl der Technologien ab. Der jeweilige Flächenbedarf für die energetische Biomasseproduktion in den Szenarien sowie für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion kann gedeckt werden (siehe Kapitel 2 Anhang II).

### 5.2.3 Räumliche Steuerung der Bioenergiebereitstellung – Möglichkeiten und Grenzen der Regionalplanung

Mit der Aufgabe, unterschiedliche Anforderungen an den Raum abzustimmen, kommt der Regionalplanung die zentrale Rolle zu, die aus der Bioenergiebereitstellung resultierenden Konkurrenzen zu minimieren und Synergieeffekte zu befördern. Inwiefern sie diesem Anspruch nachkommen kann, wird in diesem Kapitel dargestellt. Die Grundlage für die Analyse bilden Ergebnisse aus den im Rahmen des Projektes durchgeführten Tagungen, Workshops und Literaturrecherchen, einer Dokumentenanalyse der bundesweit online zur Verfügung stehenden Regional- und Landesentwicklungspläne sowie einer konkreten Analyse des Regionalplans der Planungsregion Westsachsen. Ergänzend dazu werden die Ergebnisse von 40 ausgewerteten Fragebögen einer bundesweit durchgeführten Befragung der 114 TdR berücksichtigt. Die Befragung basiert auf einem standardisierten schriftlichen Verfahren und hat eine Rücklauf- bzw. Ausschöpfungsquote von 35 % (vgl. Auswertung auf der CD im Anhang).

#### Kompetenz der Regionalplanung zur Steuerung

Die bundesweite Befragung zeigt, dass 82 % der Teilnehmer einen grundsätzlichen Handlungsbedarf sehen, die Biomasseproduktion durch raumrelevante Planungen zu steuern. Die Mehrzahl sieht die Regionalplanung (60 %) in der Verantwortung, gefolgt von den Fachplanungen (53 %) und schließlich der Kommunalplanung (40 %). Mehrfachnennungen waren möglich. Zugleich ist darauf hinzuweisen, dass immerhin 40 % der Befragten die Regionalplanung nicht in der Verantwortung sehen. Dies wird mit der mangelnden Kompetenz der Regionalplanung begründet, Einfluss auf die landwirtschaftliche Bodennutzung nehmen zu können. Um diesen ambivalenten Auffassungen zu begegnen und die damit verbundene Grauzone für die Regionalplanung zu lichten, wird empfohlen auf der Ebene der Raumordnung sowie der Landesplanungen die Diskussion um die Kompetenzen der Raumplanung im Bereich der energetischen Nutzung von Biomasse zu forcieren. Die Kompetenzbereiche der Raumplanung sollten dabei festgesteckt und juristische Grenzen der Handlungsmöglichkeit dargestellt werden. Eine zentrale Rolle sollte in der Diskussion der Beirat für Raumordnung sowie die Ministerkonferenz für Raumordnung einnehmen.

#### Aktuelle Steuerung des identifizierten Handlungsbedarfs durch den Regionalplan

Im Rahmen des Projektes wurde eine Dokumentenanalyse der bundesweit online veröffentlichten Regionalpläne durchgeführt. Insgesamt wurden 84 Regionalpläne betrachtet, von denen zwei sich noch im Entwurf befinden. Eine Vollerhebung im Bundesland Niedersachsen konnte im Rahmen des Projektes nicht vorgenommen werden. Es wurden jedoch die Regionalen Raumordnungsprogramme der Region Hannover sowie des Zweckverbandes Großraum Braunschweig geprüft. Zusätzlich wurden stichprobenhaft die Regionalen Raumordnungsprogramme von insgesamt neun Landkreisen in Niedersachsen untersucht, wobei sich die Auswahl im Wesentlichen an der Zugänglichkeit der Pläne über die Plattform ‚Metropolplaner‘ orientierte. 29 Regionalpläne wurden somit nicht betrachtet. Es ergeben sich somit in der Summe 111 rechtsverbindliche Regionalpläne in Deutschland. Von den insgesamt 82 betrachteten rechtsverbindlichen Regionalplänen waren 9 Pläne nicht online verfügbar, so dass sich eine Gesamtzahl der für die Untersuchung relevanten

Regionalpläne von 73 ergibt; das sind 67 % der derzeit in Deutschland genehmigten Regionalpläne. In insgesamt 30 der betrachteten Pläne (rund 41 %) konnte keine Bezugnahme zum Umgang mit der Bioenergiebereitstellung festgestellt werden. Die Mehrzahl der Aussagen (n = 35; rund 43 %) stellt allgemeine Handlungsabsichten dar („Biomasse/ Biogas ist zu nutzen. Deren Nutzung soll weiter ausgebaut werden.“). In lediglich 7 Regionalplänen (rund 9 %) werden differenzierte Aussagen getroffen bzw. ein räumlicher Bezug zur Bioenergiebereitstellung hergestellt. Die Einführung des NawaRo-Bonus im Jahr 2004 kann pauschal nicht als Schlüsselfaktor für die Auseinandersetzung mit dem Thema bezeichnet werden. Vielmehr scheint sie von der politischen Diskussion in den einzelnen Bundesländern geprägt zu sein. In Schleswig-Holstein aber auch Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Thüringen setzen sich die Träger der Regionalplanung aktiv mit diesem Thema auseinander. In Nordrhein-Westfalen spielt das Thema in den Regionalplänen hingegen keine Rolle. Im Regionalplan des Regionalen Planungsverbandes Donau-Wald wurde bspw. das Thema „Energieversorgung“ mit der Fortschreibung der Regionalplans aufgehoben. Die Dokumentenanalyse der bundesweit online veröffentlichten Regionalpläne zeigt, dass bisher keine räumlich differenzierten textlichen oder zeichnerischen Aussagen für den Anbau von Biomasse und für die Anlagen zur energetischen Bereitstellung getroffen werden. Zwar geben bei der Befragung der TdR 18 % an, dass deren Regionalpläne Aussagen zu den Anbauflächen enthalten, die entweder als Ziele oder als Grundsätze formuliert sind. Die Dokumentenanalyse offenbart jedoch, dass diese wenig differenziert sind und lediglich Handlungsabsichten darstellen. Auch wenn keine gesonderten textlichen oder zeichnerischen Festlegungen im Regionalplan getroffen werden, entfaltet der **Regionalplan** durchaus eine steuernde Wirkung in Bezug auf die Bioenergiebereitstellung, wie die Analyse des Regionalplans Westsachsen zeigt (siehe Abschn. 3.3 und insbesondere die Tab. 25 und 26 Anhang II):

- Zu **45 %** der identifizierten Aspekte mit Steuerungsbedarf, die aus dem **Anbau von Biomasse** zur energetischen Nutzung resultieren, werden bereits direkt oder indirekt textliche oder zeichnerische Aussagen im Regionalplan getroffen.
- Zu **77 %** der identifizierten Aspekte mit Steuerungsbedarf, die aus der Flächennutzung von **Bioenergieanlagen** resultieren, werden bereits direkt oder indirekt textliche oder zeichnerische Aussagen im Regionalplan getroffen.

Die Zahlen zeigen, dass vornehmlich Anlagen für die Energiebereitstellung gesteuert werden können, was darauf zurückzuführen ist, dass die Qualität der Planaussagen zu baulichen Anlagen präziser ist, als jene für die landwirtschaftlichen Anforderungen und somit für den Anbau von Biomasse. Immerhin werden auch zu fast der Hälfte des identifizierten Steuerungsbedarfs, der aus dem Anbau von Biomasse resultiert, Aussagen getroffen. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Biomasseproduktion in diesem Fall kaum andere UA und FK bewirkt, als die herkömmliche Landwirtschaft zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion.

Weiterhin zeigt die Analyse des Regionalplans Westsachsens, dass durch textliche Anpassungen von bestehenden Zielen zusätzlich 10 % der identifizierten UA und FK verbindlich gesteuert werden könnten. Eine mögliche textliche Ergänzung (grün hinterlegt) könnte wie folgt vorgenommen werden: *Ziel 4.4.4 im Regionalplan Westsachsen „Gebiete zur deutlichen Anreicherung mit Hecken und Flurgehölzen“ sind vorrangig durch Hecken, Gehölze und Kurzumtriebsplantagen zu strukturieren*“. Die möglichen Anpassungen beziehen sich zum Großteil auf Aussagen zum Umgang mit KUP. KUP stellt sich in der Untersuchung als Sonderfall heraus, nicht nur hinsichtlich der negativen Auswirkungen, sondern auch der positiven Synergien, die mit diesem Anbausystem verbunden sein können. Jene gilt es aktiv durch die Regionalplanung zu nutzen.



Gleichzeitig zeigt die Analyse, dass lediglich 1 % der identifizierten UA und FK nicht im Einflussbereich des Regionalplans liegt. Dies betrifft insbesondere gesetzliche- und untergesetzliche Regelungen zum Wasserschutz sowie Aussagen in Bebauungsplänen. Darüber hinaus verdeutlicht die Analyse, dass Agrarumweltmaßnahmen und der Vertragsnaturschutz geeignete Instrumente darstellen, um insbesondere UA zu minimieren. Solche Maßnahmen liegen derzeit jedoch außerhalb des Einflussbereiches der Regionalplanung. Zugleich könnte die Steuerbarkeit über Agrarumweltmaßnahmen gestärkt werden, indem die TdR in Zusammenarbeit mit der Landesplanung förderfähige Gebietskulissen definiert. Dies setzt eine verstärkte intrasektorale sowie intraregionale Zusammenarbeit voraus, insbesondere mit dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

Insgesamt stellt die Untersuchung heraus, dass andere Fachbereiche über wirksame Instrumente verfügen, um die Bioenergiebereitstellung auch im Sinne einer nachhaltigen räumlichen Entwicklung zu steuern (siehe Abschn. 3.5 Anhang II). Eine engere raumordnerische Zusammenarbeit, wie sie auch in § 13 Raumordnungsgesetz (ROG) /89/ geregelt ist, sollte daher gestärkt werden.

### Optionen der Regionalplanung einschließlich der flankierenden Umweltplanung zur Steuerung des Anbaus von Biomasse zur energetischen Nutzung

Die Ausweisung von **Vorrang- oder auch Vorbehaltsgebieten** Biomasseanbau ist fachlich nicht begründet, da sich die möglichen negativen ökologischen und landschaftlichen Auswirkungen kaum von denen der herkömmlichen Landwirtschaft unterscheiden. Die Regionalplanung ist auf Grund ihrer überfachlichen Stellung nicht befugt, Einfluss auf die Nutzung von spezifischen Fruchtarten oder Bewirtschaftungsformen zu nehmen. Eine stärkere Einflussnahme auf die Landwirtschaft wäre zudem kaum politisch durchsetzbar.

In Westsachsen sollten zudem aus fachlichen Gründen die Kriterien, die der Ausweisung der Vorrang- und Vorbehaltsgebiete Landwirtschaft derzeit zu Grunde liegen, an das neue sächsische **Bodenbewertungsinstrument** /98/ angepasst werden. Damit würde die Flächenkulisse erweitert, die für die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten Landwirtschaft zu Verfügung steht. Im Übrigen wird empfohlen, das sächsische Bodenbewertungsinstrument zur natürlichen Bodenfruchtbarkeit bundesweit anzuwenden. Die Datengrundlagen können aus der Reichsbodenschätzung (gestartet im Jahr 1934) und der Mittelmaßstäbligen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK 1976 - 1982) abgeleitet werden (vgl. dazu auch /5/). Für die Bereitstellung wären die jeweiligen Landesumweltbehörden zuständig.

Eine Ausnahme in der Betrachtung des Anbaus von Energiepflanzen bilden KUP ab einer zusammenhängenden Fläche von 50 ha. Die Ausweisung von Räumen für großflächige KUP wäre fachlich begründet, jedoch steht derzeit kein Instrument im Regionalplan zur Verfügung, der diesen Steuerungsbedarf decken könnte. Der Eigenschaft nach würden **Eignungsgebiete** auf Grund ihrer Ausschlusswirkung in anderen Gebieten ein handhabbares Instrument darstellen, um KUP gezielt zu steuern. Fachlich sowie juristisch wäre jedoch zu diskutieren, ob der Begriff ‚Eignungsgebiet‘ inhaltlich um Maßnahmen der land- und forstwirtschaftlichen Produktion oder um Sonderkulturen ergänzt werden könnte. Eine rasche Auseinandersetzung mit dem Thema Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für KUP ab einer zusammenhängenden Fläche von 50 ha wird empfohlen.

Erwägt werden sollte auch, in Analogie zu ‚Gebieten mit besonderen Nutzungsanforderungen‘, **‚Gebiete mit besonderen Nutzungsmöglichkeiten‘** auszuweisen. Darin könnten ‚Gebiete mit einer besondere Eignung für die Anlage von KUP‘ gefasst werden. Ausweiskriterien könnten

ein sehr hohes Wasserspeichervermögen und hohe Jahresniederschläge zusammen mit potenziell erheblich positiven UA sein. Eine solche Ausweisung würde jedoch vermutlich eine schwache Lenkungswirkung in die ausgewiesenen Gebiete bewirken. Außerhalb dieser Gebiete wären KUP nicht ausgeschlossen. Die Einführung dieser neuen Gebietskategorie zu prüfen, wird aufgrund der Analogie zu den für die Planungsregion Westsachsen spezifischen Gebieten mit besonderen Nutzungsanforderungen, zunächst auch nur für Westsachsen empfohlen. Hingegen erweist sich die Integration von Zielen und Grundsätzen zur räumlichen Steuerung von kleinflächigen, streifenförmigen KUP **in bestehende Ziele und Grundsätze** bzw. sonstige Erfordernisse auf Grund ihrer positiven ökologischen Auswirkungen von planungspraktischer Relevanz (siehe oben). Empfohlen wird darüber hinaus, KUP ab einer Fläche von 50 ha wegen ihrer ähnlichen ökologischen Auswirkungen analog zu Erstaufforstungen von Wald zu betrachten und somit zum Gegenstand der Regionalplanung zu machen.

Insgesamt zeigt die Untersuchung am Fallbeispiel Westsachsen, dass gerade ein Großteil der voraussichtlichen UA des Biomasseanbaus mit den gegebenen Mitteln des Regionalplans geregelt werden kann, und zwar durchaus differenziert. Dies ist möglich aufgrund eines qualifizierten und inhaltlich breit aufgestellten Fachbeitrages Naturschutz und Landschaftspflege (**Landschaftsrahmenplan**), aufgrund der engen Verknüpfung der Landschaftsrahmen- mit der Regionalplanung /92/ sowie aufgrund der für den Freistaat Sachsen spezifischen relativ breiten Palette umweltbezogener Festlegungsmöglichkeiten des Regionalplans. Über Vorrang- und Vorbehaltsgebiete Natur und Landschaft hinaus können ‚Bereiche der Landschaft mit besonderen Nutzungsanforderungen‘ unterschiedlichster Couleur festgelegt werden, darunter beispielsweise ‚Regionale Schwerpunkte des archäologischen Kulturdenkmalschutzes‘ oder ‚Gebiete zur Erhaltung und Verbesserung des Wasserrückhalts‘ (siehe Karte 16 des RP; s. Z 4.1.4 /91/). Aufgrund der besonderen Eignung zur Integration landschaftsrahmenplanerischer Inhalte in den Regionalplan und in der Folge zur Steuerung von UA wird die Einführung der Kategorie ‚Bereiche der Landschaft mit besonderen Nutzungsanforderungen‘ in den Planungsregionen anderer Bundesländer empfohlen. Nicht empfohlen wird hingegen, den Landschaftsrahmenplan, über die übliche Betrachtung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit hinaus, mit Darstellungen zur Eignung für den Anbau bestimmter Fruchtarten zu überfrachten. Für diesen Zweck wäre die Einführung einer Agrarfachplanung sinnvoll (siehe Abschn. 5.3).

Zur Prüfung der Umweltfolgen des Biomasseanbaus erweist sich die in Anlehnung an die SUP zum Regionalplan Westsachsen entwickelte Methode als geeignet. Nachdem die Biomasseproduktion erhebliche UA zur Folge haben kann, der Biomasseanbau sich jedoch nicht wesentlich von der Nahrungs- und Futtermittelproduktion unterscheidet und somit Vorrang- und Vorbehaltsgebiete Landwirtschaft den Biomasseanbau einschließen, wird angeraten, künftig Vorrang- und Vorbehaltsgebiete Landwirtschaft bzw. die landwirtschaftliche Produktion von „commodity outputs“ (Nahrungs- und Futtermittel) als vertiefenden Untersuchungsgegenstand in die SUP einzustellen. Auch hier wäre eine vorbereitende Agrarfachplanung hilfreich.

### Optionen der Regionalplanung zur Steuerung von Anlagen zur Bereitstellung von Bioenergie

Zum derzeitigen Untersuchungsstand wird die Ausweisung von **Eignungsbieten** für raumbedeutende Bioenergieanlagen nicht empfohlen. Der Vielfalt an Technologien zur Energiebereitstellung und ihrer Anforderungen an den Raum (infrastrukturelle Voraussetzungen, Flächenbedarf) sowie dem heterogenen Erscheinungsbild einzelner Anlagen kann eine Raumkategorie nicht gerecht

werden. Insofern müssten für spezifische Anlagentypen spezifische Eignungsgebiete ausgewiesen werden, was dem eigentlichen Ziel einer solchen Ausweisung, ein praktikables Entscheidungsinstrument zu besitzen, widersprechen würde. Die Analogie zu Windenergieanlagen ist aus den genannten Gründen schwer zu ziehen. Außerdem bedarf die Vornahme von Gebietsfestlegungen einer umfassenden planerischen Abwägung mit allen anderen im Regionalplan aufgeführten Grundsätzen und Zielen. Dieser Aufwand ist nur dann begründet, wenn mit einer Vielzahl an Bauvorhaben von Bioenergieanlagen zu rechnen ist und somit die TdR einem starken Handlungsdruck gegenüberstehen. **Prognosen** zur Entwicklung der Anlagenzahl und -größe sind daher für die Regionalplanung essentiell, um ggf. flexibel auf eine Vielzahl von Anlagen über gesonderte Gebietskategorien Einfluss nehmen zu können.

Die nähere Betrachtung zeigt des Weiteren, dass insbesondere großindustrielle Bioenergieanlagen, die zwar bezüglich der ökologischen und landschaftlichen Auswirkungen keinen substanziellen Unterschied zu Anlagen konventioneller Energiebereitstellungsanlagen aufweisen, nicht zwingend über ausgewiesene Industriestandorte sowie Gewerbeflächen gesteuert werden können. Den besonderen technologischen Anforderungen einer jeden Anlage an die Infrastruktur, die Energiebereitstellung und -abnahme sowie den Rohstoffbedarf kann nicht jedes ausgewiesene Vorrang- und Vorbehaltsgebiet Industrie und Gewerbe gerecht werden. Somit wäre eine ausschließliche Beschränkung von Bioenergieanlagen auf **Vorrang- und Vorbehaltsgebiete Industrie und Gewerbe** unzulässig. Die regionalplanerische Entscheidung über positive oder negative Stellungnahmen im Beteiligungsverfahren zur Genehmigung von raumbedeutsamen Bioenergieanlagen ist somit im Einzelfall vorzunehmen. Umso wichtiger erscheint ein Leitfaden für die zuständigen Genehmigungsbehörden, der u. a. Informationen zur Energieleistung, zu den einsetzbaren Rohstoffen/ Substraten, zum Flächenbedarf und insbesondere zu den betriebsbedingten Auswirkungen wie bspw. zur notwendigen Infrastruktur und zum Verkehrsaufkommen sowie zu visuellen Auswirkungen der Bioenergiebereitstellung liefert. Die im Rahmen des Projektes erarbeiteten Technologieketten bieten einen ersten Ansatz für einen solchen Leitfaden. Für die Beteiligung der TdR als Träger öffentlicher Belange im Genehmigungsverfahren von raumbedeutsamen Anlagen könnten zukünftig informelle Konzepte zur Biomasseproduktion, wie das im Rahmen des Projektes erarbeitete BEK, eine geeignete Bewertungs- und Entscheidungsgrundlage darstellen. Die fehlende Bindungswirkung eines solchen nicht formalisierten Planungsverfahrens relativiert jedoch derzeit die regionalplanerische Steuerungswirkung.

### **Biomasseentwicklungskonzept (BEK) – Weiterentwicklung von Steuerungsansätzen**

**Regionale Energiekonzepte** nehmen in der derzeitigen Diskussion einen hohen Stellenwert ein, um klima- und energiepolitische Ziele auf der Ebene der Regionen umzusetzen. Bestehende regionale Energiekonzepte sind jedoch inhaltlich sehr heterogen. Ursachen liegen in ihrem informellen Charakter und einer fehlenden einheitlichen institutionellen Verankerung. Entsprechend breit variieren der Raumbezug sowie die beteiligten Institutionen und in der Folge die Fragen, denen sich die Konzepte stellen sowie der Handlungsbedarf, dem sie begegnen wollen. Dieser problemorientierten Vorgehensweise sollte in Zukunft durch die Formulierung von Mindestinhalten ein Rahmen gesetzt werden, um zum einen den Aufstellungsprozess und zum anderen die Abstimmung raumbedeutsamer Maßnahmen und Vorhaben untereinander zu erleichtern.

Im Rahmen des Projektes werden solche Mindestinhalte für den Bereich ‚Biomasse‘ entwickelt, die unter dem Begriff Biomasseentwicklungskonzept (**BEK**) zu fassen sind. Das BEK kann zukünftig einen Baustein für ein regionales Energiekonzept darstellen. Am Beispiel der Planungsregion

Westsachsen werden Vorschläge erarbeitet, welche räumlichen Informationen als Entscheidungsgrundlage bereitgestellt werden sollten. Diese stehen in Form von **Potenzialkarten** (fruchtartenspezifische Anbauggebiete) sowie **Fachbeiträgen** ‚Natur und Landschaft‘, ‚Raumnutzungen‘ und ‚infrastrukturelle Voraussetzungen‘ aufbereitet zur Verfügung (siehe Abschn. 3.3 Anhang II). Die Fachbeiträge setzen sich aus verschiedenen Rohstoffkarten zusammen, wobei sich die Rohstoffe aus den in der Untersuchung betrachteten Technologieketten ableiten. Der Vorzug des Fokus auf die Rohstoffe und nicht auf die Technologieketten ist zweifach zu begründen. Zum einen ist die Zahl der für die energetische Nutzung verwendeten Rohstoffe im Rahmen dieses Projektes geringer als die Zahl möglicher Anlagentypen. Somit können mit der Erstellung der Rohstoffkarten die Informationen stärker gebündelt werden. Zum anderen kann auf diesem Wege die Gültigkeit der Informationen verlängert werden. Während Bioenergieanlagen fortwährend technologisch weiterentwickelt werden und somit auch andere Anforderungen an den Raum stellen, ist mit derartigen Veränderungen in den Anforderungen der Rohstoffe nicht zu rechnen. Insofern scheint ein planerischer Rahmen, wie er hier dargestellt wird, geeigneter als ein ausformuliertes statisches Konzept.

Neben den Potenzialkarten und Fachbeiträgen, sollten die TdR, die sich in der Aufstellung eines regionalen Energiekonzeptes befinden, konkrete Zielvorstellungen für eine nachhaltige räumliche Bioenergiebereitstellung in ihrer Region formulieren. Diese sollten in Form eines **Zielsystems** vorliegen (siehe Abschn. 5.2), das schließlich die Entscheidungsgrundlage für regionalplanerische Festlegungen bietet. Ein solches Zielsystem sollte zugleich die wesentlichen gesellschaftlichen und politischen Interessen erfassen und bündeln, die durch die gesteigerte Bioenergiebereitstellung tangiert werden. Daher sollten alle für das Thema relevanten Stakeholder eingebunden werden. Zu nennen sind insbesondere Landwirte, Anlagenplaner und Investoren sowie Vertreter von Kommunen, regionalen Netzwerken und den unterschiedlichen Fachbereichen. Eine im Rahmen des Projektes durchgeführte Analyse sogenannter **Biomassenetzwerke** in der Planungsregion Westsachsen (LAEDER-LAG Delitzscher Land e. V. und Kompetenzzentrum Bioenergie e. V.) zeigt, dass derzeit sowohl auf Seiten der Regionalplanung als auch auf Seiten der Netzwerkakteure wenige Anknüpfungspunkte für eine Zusammenarbeit gesehen werden. Insofern besteht hier ein Handlungsbedarf seitens der Regionalplanung, ein übergeordnetes Zielsystem zu erarbeiten, das sich in einer gesamträumlichen Strategie widerspiegelt, um bestehende Aktivitäten zu bündeln und in eine Gesamtstrategie einzupassen.

Weiterhin zeigen die Erfahrungen aus dem im Rahmen des Projektes durchgeführten Workshops, dass ein partizipativ ausgerichteter **Szenarienprozess** einen Beitrag dazu leisten kann, insbesondere die Diskussion, Erarbeitung und Formulierung von regionalen Zielvorstellungen zu befördern. Regionale Akteure können über diese Methode frühzeitig in den informellen Planungsprozess eingebunden werden, wodurch diese für mögliche räumliche Entwicklungen sensibilisiert werden können. Zugleich kann der Planungsprozess durch weiteres Fach- und Regionalwissen der beteiligten Akteure ergänzt werden. Somit ermöglicht diese Methode der Regionalplanung, die Entscheidungsfindung über potenzielle (Un-)Gunstgebiete für die Bioenergiebereitstellung transparent zu gestalten, um auf diesem Wege insbesondere die Akzeptanz der relevanten Akteure zu fördern. Eine gemeinsame Setzung von Prämissen für teilräumliche Entwicklungen kann zugleich zur regionalen Konsensbildung beitragen. Insofern kann die Szenarienmethode auch als ein möglicher Ansatz zur räumlichen Steuerung der Bioenergiebereitstellung betrachtet werden, sofern die Regionalplanung es schafft, die relevanten Akteure anzusprechen und zu involvieren.

## Fazit

Als überörtliche und fachübergreifende Disziplin kann die Regionalplanung gezielt räumliche Entwicklungen koordinieren, um sowohl negative Auswirkungen, die mit der energetischen Nutzung von Biomasse einhergehen, zu minimieren als auch positive Synergien zu befördern. Die Kompetenzen der Regionalplanung sollten dabei in Zukunft gestärkt werden, um eine verbindliche Koordination bei auftretenden oder abschätzbaren Raumnutzungskonflikten gewährleisten zu können. So sollten, sofern der regionalplanerische Handlungsdruck dem der Bereiche Windenergie und Abbau fossiler Rohstoffe ähnelt, insbesondere die in den regionalen Energiekonzepten getroffenen Aussagen zur räumlichen Ausprägung der Bioenergiebereitstellung über die Integration relevanter Ziele in den Regionalplan an Verbindlichkeit gewinnen.

### 5.2.4 Übertragbarkeit der angewandten Methode und der Untersuchungsergebnisse sowie weiterer Forschungsbedarf

Nachdem die Untersuchung stark auf das Fallbeispiel der Planungsregion Westsachsen fokussiert ist, soll nunmehr aufgezeigt werden, in welchem Grad die für das Fallbeispiel angewandte Methode und die daraus gewonnenen Erkenntnisse allgemeingültigen Charakter haben und somit auch auf andere Planungsregionen übertragbar sind.

Für die Ermittlung des Steuerungsbedarfs müssen zunächst die **Potenziale des Raumes** für die Bioenergiebereitstellung bestimmt werden. Grundlage bilden Umweltdaten und Informationen zur Infrastruktur. Die Verfügbarkeit sowie die Qualität der entsprechenden Informationen sind maßgebend für die Einschätzung der Übertragbarkeit der Vorgehensweise in anderen Planungsregionen. In der Planungsregion Westsachsen ist sowohl der Zugang zu den notwendigen Umweltdaten als auch deren Quantität und Qualität überdurchschnittlich gut und insofern nicht in allen Bundesländern gegeben.

Die **Szenarietechnik**, wie sie in der Planungsregion Westsachsen angewandt wurde, ist generell auf andere Planungsregionen übertragbar. Zugleich sollte die Szenarientwicklung in der Planungspraxis insofern angepasst werden, als dass Widerstandsräume auf Grundlage der UA und FK vorbereitet werden (d. h. bspw. vorab die Räume von der Betrachtung auszuschließen, in denen Anlagen bereits auf Grund der Ziele des Regionalplans ausgeschlossen sind).

Die angewandte Methode zur Untersuchung der **Umweltauswirkungen**, die ökologische Risikoanalyse, ist eine in der Umweltplanung gängige Methode. Sie ist damit im Wesentlichen auf andere Planungsregionen übertragbar. Ebenso ist die Methode zur Bewertung der FK übertragbar. Sowohl für die Untersuchung der FK als auch der UA sind regionale Ziele notwendig, um sie regionspezifisch bewerten zu können. Voraussetzung ist folglich ein aktueller **Regionalplan** und ein aktueller, inhaltlich breit aufgestellter **Landschaftsrahmenplan**. Allerdings zeigt die Dokumentenanalyse der bundesweit online verfügbaren Regionalpläne, dass diese sich in ihrer Qualität und Quantität ihrer Aussagen und schließlich auch in ihrer Aktualität zum Teil stark unterscheiden. Zwar bleiben sie damit eine geeignete Bewertungsgrundlage, aber eine weniger differenzierte. Für die Prüfung der UA und der FK sind dann entsprechend Bundes- und Landesziele vorab separat aufzubereiten (siehe auch /126/).

Die im vorliegenden Projekt erarbeiteten **Fachbeiträge zum BEK** sollten ergänzt (bspw. um Aussagen zu Wärmesenken oder zum Gülleaufkommen) und weitere für die energetische Biomassebereitstellung notwendige Fachbeiträge erarbeitet werden, sodass alle für die Aufstellung eines

regionalen BEK notwendigen Informationen vorliegen (siehe Abschn. 5.3). Diese Erweiterung sollte bereits durch die Einbeziehung entsprechender Aspekte in die Szenarienerstellung bzw. die Potenzialbestimmung geschehen. Neben der Datenproblematik (siehe unten), ist die Übertragbarkeit der Methodik zur Erarbeitung eines BEK durch seinen informellen Charakter bestimmt. Insbesondere im informellen Bereich hängt die Übertragbarkeit der raumplanerischen Möglichkeiten stark von der Fachkompetenz, der finanziellen und personellen Ausstattung, dem Datenbestand und Datenzugang sowie schließlich auch dem Willen, sich dem Thema Bioenergiebereitstellung zu nähern, ab.

Für alle Schritte ist die **Verfügbarkeit aktueller Daten** grundlegend. Nicht alle Daten sind in jeder Region verfügbar. So liegen bspw. gebündelte Informationen zu Wärmesenken in der Planungsregion Westsachsen nicht vor. Je nach Datenverfügbarkeit und -qualität sowie nach Planungs- und Wissenstand, sollte die im Projekt angewandte Methodik, die grundsätzlich auf andere Planungsregionen übertragbar ist, regionsspezifisch angepasst werden.

Auf Grund des Fallstudiencharakters sind schließlich die **Ergebnisse der Untersuchung**, insbesondere die zu den Steuerungsmöglichkeiten, stark regionsspezifisch und daher nicht unmittelbar übertragbar (siehe Kap. 4 Tab. 29 Anhang II).

Sowohl aus den Erkenntnissen aus der Untersuchung als auch aus der Diskussion zur Übertragbarkeit der Methode sowie der Ergebnisse wird folgender Forschungsbedarf abgeleitet:

- Durchführung einer deutschlandweiten komparativ angelegten Analyse der regionalplanerischen Handlungsmöglichkeiten in ausgewählten Planungsregionen zur Validierung der bestehenden Erkenntnisse,
- Durchführung einer komparativ angelegten Analyse der Steuerungsmöglichkeiten durch die Raumplanung in anderen Ländern der EU, v. a. Großbritannien, Niederlande, Schweden, Dänemark, Österreich, Polen, Tschechische Republik,
- Entwicklung von Informationstools für Raum- insbesondere Regionalplaner zur räumlichen Steuerung der Bioenergiebereitstellung sowie Weiterentwicklung des Biomasseentwicklungskonzeptes,
- Akzeptanzforschung mit Blick auf die räumliche Steuerung der Bioenergiebereitstellung: Wer sind die Adressaten der Steuerung? Welche Steuerungsansätze sind geeignet um Entscheidungen der Adressaten beeinflussen zu können? Welche Steuerungsansätze werden akzeptiert (in Richtung governance vs. guidance)?
- Beitrag der Nachwachsenden Rohstoffe zur Entwicklung und Gestaltung von Kulturlandschaften – Bewertung der Kulturlandschaft, Beitrag der Nachwachsenden Rohstoffe um den kulturlandschaftlichen Wert eines Gebietes zu erhöhen, Möglichkeiten dies über die Raumplanung zu steuern,
- Regionalisierung von Stoff- und Ökobilanzen (Grundlagendaten liegen vor, sind jedoch nicht so operationalisiert, dass sie auf regionaler Ebene anwendbar sind),
- Anwendung verbal-argumentativer Szenarien, wissenschaftliche Begleitung von partizipativ angelegten Ansätzen,
- Evaluierung bestehender Steuerungsansätze (tatsächliche Steuerungswirkung des Regionalplans/regionaler Planungsprozesse am Beispiel der Bioenergie).



### 5.3 Handlungsempfehlungen zur Erhöhung der theoretischen Steuerungswirkung auf regionaler Ebene

(ZALF und DBFZ)

Aus den stoffstrombasierten Potenzialberechnungen ergibt sich für Deutschland ein technisches Brennstoffpotenzial für das Jahr 2020 von ca. 1,5 bis 1,8 EJ/a (siehe Abschn. 5.1). Die Rohstoffbasis für die Erreichung der IEKP-Ziele ist damit gegeben. Werden die verfügbaren Potenziale weitgehend genutzt, ist für Deutschland in etwa eine Verdopplung des Bioenergieanlagenparks und dessen Erweiterung um innovative Technologien (SNG, BtL etc.) zu erwarten. Der weitere Ausbau der Bioenergiebereitstellung in Deutschland ist mit räumlichen Auswirkungen auf der Ebene der Regionalplanung verbunden und bedarf daher einer gezielten räumlichen Koordinierung, um ggf. negative Auswirkungen zu minimieren, aber auch Synergien, die mit der energetischen Nutzung von Biomasse einhergehen können, zu fördern.

Auch für die untersuchte Planungsregion Westsachsen ergeben die stoffstrombasierten Potenzialberechnungen, dass es ausreichend Biomassepotenziale gibt, um den notwendigen Anteil an der Erfüllung der IEKP-Ziele für Wärme und Strom zu leisten. Zukünftig kann auch in Westsachsen mit einer Zunahme des Bioenergieanlagenbestandes gerechnet werden. Insgesamt zeigt die Untersuchung am Beispiel der Planungsregion Westsachsen, dass die Regionalplanung im Bereich der Bioenergiebereitstellung bereits über die Kompetenzen verfügt, diese in einem gewissen Maß räumlich zu steuern. Einige der skizzierten Handlungsmöglichkeiten greifen bereits jetzt über den formellen Regionalplan hinaus. Dieser kann jedoch nicht den gesamten Steuerungsbedarf abdecken, so dass mit Blick auf das Thema Bioenergiebereitstellung eine Weiterentwicklung der bestehenden regionalen Planungsansätze vorgeschlagen wird (siehe Abb. 13).

Um vorausschauender handeln und sich adäquat auf anstehende Entwicklungsherausforderungen vorbereiten zu können, sollten die TdR zum einen besser durch die mit Fragen der Zukunftsforschung befassten Institutionen über Entwicklungstrends und ihren möglichen regionalen räumlichen Auswirkungen informiert werden. Zum anderen erscheint eine durch informelle Planungsansätze flexibler gestaltete Regionalplanung geeigneter, sich immer neu anstehenden Entwicklungsfragen zu stellen, als eine stark formalisierte und in ihren Darstellungs- und Festlegungsmöglichkeiten eng beschränkte. Zugleich ist im Ergebnis des Projektes keineswegs die Rolle des Regionalplans als zentrales Instrument der regionalen Planung in Frage gestellt, vielmehr wird sie betont. Als formelles Instrument ist der Regionalplan zumal das einzige politisch legitimierte Instrument. Bei all der geforderten Flexibilisierung bildet der Regionalplan einen verlässlichen Entwicklungsrahmen ab, der Akteuren Planungssicherheit bietet. Zudem zeigt sich, dass alternative informelle Prozesse selten eine dem Regionalplan entsprechende strategisch-konzeptionelle Kompetenz entwickeln. Im Übrigen erweist sich der Regionalplan am Fallbeispiel der Planungsregion Westsachsen als gute Datenbasis gerade auch für informelle Prozesse (siehe Abschn. 5.2.4). So kann der Großteil der Daten, der für die Entwicklung der Szenarien zur Bioenergiebereitstellung und Prüfung potenzieller UA sowie FK benötigt wird (siehe Abschn. 5.2.2), dem Regionalplan und dem zugehörigen Fachbeitrag Naturschutz und Landschaftspflege entnommen bzw. von den TdR bereitgestellt werden.

Zweifelsohne sind informelle Prozesse dennoch erforderlich, um flexibel auf aktuelle Entwicklungsfragen umsetzungsorientiert reagieren sowie auftretende Konflikte im Vorfeld identifizieren und ausgleichen zu können. Sofern aber der Regionalplan, wie oben dargestellt, den Entwicklungsrahmen setzt und die TdR über die Fachkompetenzen verfügen, Informationen zu bündeln und ihrer Mittlerrolle für einen Ausgleich regionaler Interessen nachzukommen, sollte eine stärkere

Verknüpfung der formellen Regionalplanung mit informellen (teil-)regionalen Prozessen angestrebt werden. Nachdem die Ursachen für Defizite informeller Prozesse insbesondere auch in ihrer Kurzlebigkeit und mangelnder institutioneller Verankerung zu suchen sind, wird empfohlen, die TdR in ihrer Funktion als Manager und Moderatoren, gegebenenfalls auch als Initiatoren informeller Prozesse zu stärken.

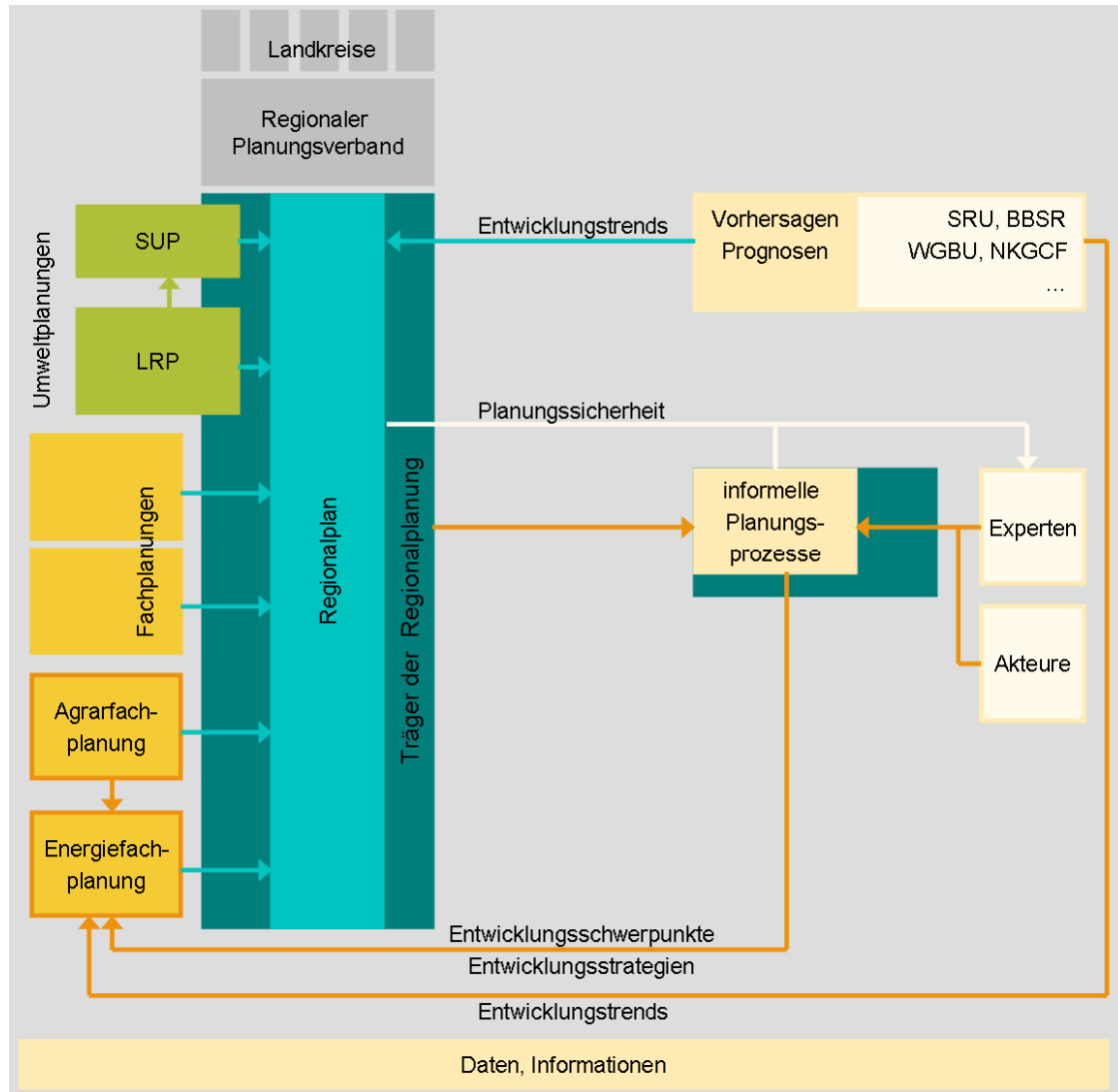


Abb. 13: Empfehlung zur Weiterentwicklung der bestehenden regionalen Planungsansätze (SRU = Sachverständigenrat für Umweltfragen, WBGU = Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, NKGCF = Nationales Komitee für Global Change Forschung, Quelle: ZALF und DBFZ)

Auf diese Weise kann ein Planungsprozess (siehe Abb. 13), etabliert werden, in dem die informelle Planung die formelle inhaltlich bereichert und effizienter gestaltet sowie Aushandlungsprozesse vorbereitet bzw. vorweggenommen werden. Die formelle Planung verankert im Gegenzug die informelle, unterstützt sie inhaltlich wie methodisch und legitimiert sie durch Übernahme von Inhalten, soweit sie dafür geeignet sind. Ein solches System entspricht der vielfach geforderten stärkeren Prozessorientierung der Planung (siehe u. a. /8/, /57/, /65/, /103/).

Die Untersuchung der regionalen Biomassepotenziale am Fallbeispiel der Planungsregion Westsachsen zeigt, dass die Integration landwirtschaftlicher Belange in die Regionalplanung pla-



nungsmethodisch gut bewerkstelligt werden kann. Sie zeigt zugleich, dass ihre Integration einer fachlichen Aufbereitung bedarf. Dies könnte durch eine Agrarfachplanung (AFP) bewerkstelligt werden. Nach Abschaffung der (informellen) Agrarstrukturellen Entwicklungsplanung (AEP) im Freistaat Sachsen zugunsten ganzheitlicher Programme für den Ländlichen Raum (ILE/ LEADER) besteht hier eine Lücke. Inhaltlich könnte eine AFP durchaus an der vormaligen AEP ausgerichtet werden. Bezugsraum sollte die Planungsregion sein. Für die Planungspraxis sollte eine AFP neben den im Projekt ermittelten ackerbaulichen Gunstgebieten Informationen zur Agrarstruktur, zur landwirtschaftlichen Praxis und zu Trends in der landwirtschaftlichen Produktion bereitstellen.

Die Untersuchung der beiden Extremszenarien für die Planungsregion Westsachsen zeigt, dass die Erreichung der IEKP-Ziele nicht nur durch die verfügbaren land- und forstwirtschaftlichen Flächen sowie etwaigen UA und FK bestimmt wird, sondern auch von der Wahl der Technologien abhängig ist. Daher bedarf es zusätzlich zur Institutionalisierung einer Agrarfachplanung einer Energiefachplanung (EFP). Sie sollte Informationen zu bestehenden aber auch zukünftigen Technologien (bspw. in Form von Steckbriefen, wie sie im Rahmen des Projektes erstellt worden sind) sowie die für die regionalplanerische Umsetzung notwendigen Daten sammeln, aufbereiten und bereitstellen. Parallel dazu sollten auf der Bundesebene die rahmenrechtlichen Bedingungen geschaffen, nationale Ziele definiert und Leitlinien zur angestrebten Energieversorgung aufgestellt werden.

Für die Erarbeitung und Umsetzung konzeptioneller Ansätze, wie z. B. des BEK (siehe Abschn. 3.3.5 Anhang II), bedarf es einer Reihe von Daten, die in Form von Indikatoren oder standortspezifischen Angaben (z. B. in Form eines Biomasseatlas) vorliegen sollten. Abb. 14 zeigt einige Beispiele für Indikatoren und Informationen, die für die Entscheidungsprozesse potenziell relevant sein können. Im Rahmen einer fallspezifischen Zieldiskussion müssen die relevanten Indikatoren ausgewählt und in der Bedeutung ihrer Ausprägung spezifiziert und implementiert werden (z. B. x ha Ackerfläche zur Gärrestausbringung pro  $\text{kW}_{\text{elektrisch, Biogasanlage}}$  unter Berücksichtigung der standortspezifischen Bedingungen, Implementierung als Zielgröße). Die Relevanz der Indikatoren kann sich zudem je nach gewählter Technologiekette unterscheiden (siehe Abb. 14). Nicht für alle der aufgeführten Indikatoren und Angaben liegen zurzeit die notwendigen Informationen vor.

Die aus fachlicher Sicht abgeleitete Forderung, eine AFP sowie eine EFP zu etablieren, verdeutlicht zugleich das Dilemma, in dem sich die Raum- und insbesondere die Regionalplanung derzeit befinden. Werden aus den vorab skizzierten Gründen zwei eigenständige, starke Fachplanungen institutionalisiert, kann dies eine inhaltliche Schwächung der Regionalplanung zur Folge haben. Insbesondere die bisher in der Hand der Regionalplanung liegenden Bereiche Windenergieplanung sowie Planungen zum Abbau fossiler Rohstoffe würden zwangsläufig Teile der EFP darstellen und somit in diese Fachplanung integriert werden. Die Regionalplanung würde wesentliche Kompetenzen verlieren und infolgedessen an politischer und gesellschaftlicher Bedeutung verlieren. Zugleich zeigen die Ergebnisse aus der Untersuchung, dass die Regionalplanung durchaus eine geeignete und zurzeit auch die einzige Instanz darstellt, die Biomasseproduktion auf regionaler Ebene entsprechend einer nachhaltigen räumlichen Entwicklung zu steuern. Auf Grund der zum Teil schwachen finanziellen Ressourcenausstattung und v. a. fehlenden oder nicht aufbereiteten Daten (siehe Abb. 14) stehen die TdR jedoch vor der Herausforderung, auf jene Entwicklungen, die mit der verstärkten Bioenergiebereitstellung einhergehen, adäquat zu reagieren. Insbesondere weil die Institutionalisierung eigenständiger Fachplanungen in den Bereichen Energie und Landwirtschaft politisch bisher abgelehnt wurde, sollte die Kompetenz der Regionalplanung in dieser Debatte herausgestellt werden.

Infrastruktur	Biomasse	Umwelt
<b>Indikatoren</b>		
Dichte Schienennetz/Landkreis ‡	Landwirtschaftliche Fläche/ Landkreis *Δ‡	Neuversiegelung durch Bioenergieanlagen ha/Landkreis *Δ‡
Dichte Straßennetz/Landkreis *Δ‡	Waldfläche/Landkreis Δ‡	Flächenbedarf Anbau/Landkreis *Δ‡
Dichte Gasnetz/Landkreis ‡	Grünlandanteil an landwirtschaft- licher Nutzfläche/Landkreis *	Plankonformität des Anbaus (gFP) *Δ‡
Dichte Stromnetz/Landkreis *Δ	Viehhaltung Großvieheinheiten/ Landkreis *	Erosionsgefährdete Fläche ha/ Landkreis *Δ‡
Bebauungsdichte und Wärmebedarf/Siedlung *Δ‡	Anfall Bio- und Grünabfälle/Landkreis	Flächen für Ausbringung Gärreste/ Landkreis *
<b>Standortsspezifische Angaben (z. B. in Form eines Biomasseatlas)</b>		
Häfen	Viehhaltung/Ställe *	Gunstgebiete *Δ‡
Einspeisepunkte Gasnetz ‡	Abfallsammel- und - behandlungspunkte	Restriktions- und Ausschlussgebiete *Δ‡
Wärmenetze *Δ‡	Maschinenringe (z. B. Vollemter/Landkreis) Δ‡	
Güterbahnhöfe ‡	Baumschulen mit angepassten KUP-Klonen Δ‡	
Raffinerien	Biomassehöfe	
Industrieanlagen als Rohstoff- lieferant oder Produktabnehmer (z. B. Wärme) Δ‡		
<b>Fortschrittsindikatoren Bioenergiebereitstellung</b>		
Anzahl Bioenergieanlagen/ Landkreis und Anlagenart *Δ‡	Beitrag Bioenergie an Stromverbrauch/Landkreis *Δ	Anteil CO <sub>2</sub> -Minderung durch Bioenergie/Landkreis *Δ‡
Installierte elektrische Leistung/Landkreis *Δ	Beitrag Bioenergie an Wärmeversorgung/Landkreis *Δ‡	Menge energetisch verwerteter Reststoffe/Landkreis
Arbeitsplätze im Bereich Bioenergiebereitstellung *Δ‡	Produzierte Menge Biokraftstoffe/Landkreis	

Abb. 14: Beispiele für relevante Indikatoren und standortsspezifische Informationen (\* landwirtschaftliche Biogasanlage, Δ Biomassevergasung mit Kraft-Wärme-Kopplung, ‡ Biomethan auf Basis von Bio-SNG, Quelle: DBFZ und ZALF)

Zusammenfassend stellt der, basierend auf den Erkenntnissen des Projektes, entwickelte Planungsansatz eine ergänzende Methode dar, um bestehende, zum Teil stark formalisierte, Planungsprozesse fachlich und politisch vorzubereiten /42/ und im besten Fall zu legitimieren. Ziel sollte es sein, Ergebnisse aus informellen partizipativen Prozessen bei der Fortschreibung des formellen Regionalplans zu integrieren und somit im selben Zuge seine Rolle und die der Regionalplanung als Handlungsebene insgesamt zu stärken. Dies bedarf jedoch einer breiteren Informationsgrundlage, die es zu schaffen gilt.

Aus der Weiterentwicklung des aktuellen Planungsverständnisses sowie aus den Erkenntnissen, die im Rahmen des Projektes gewonnen worden sind, werden schließlich folgende Handlungsempfehlungen abgeleitet:

- Die bestehenden Kompetenzen der Raum-, insbesondere der Regionalplanung, zur räumlichen Steuerung der Bioenergiebereitstellung sollten im fachlichen, politischen und gesellschaftlichen Bewusstsein stärker herausgestellt werden.

- Steuerungsdefizite sollten kurz- bis mittelfristig durch die Entwicklung akteurs- und anwendungsorientierter Konzepte und Strategien, wie es zum Beispiel das BEK darstellt, minimiert werden. Persuasive und initiierende Planungsansätze können dabei die Akzeptanz in der Region für spezifische räumliche Entwicklungen erhöhen. Der durch die Initiierung partizipativer Ansätze erhöhte Planungsaufwand sollte zukünftig bei der Ausstattung der TdR finanziell berücksichtigt werden.
- Politisch und gesellschaftlich gemeinsam erarbeitete und abgestimmte Ergebnisse informeller Prozesse sollten zukünftig in das bestehende formelle Planwerk eingearbeitet werden, um auf diesem Wege dessen Steuerungswirkung zu erhöhen und somit eine verbindliche Koordinierung von Raumnutzungskonflikten zu gewährleisten.
- Zudem könnte, vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung einer Bereitstellung von non commodity outputs durch die Landwirtschaft, ein kritischer Diskurs zur gegenwärtigen Privilegierung der landwirtschaftlichen Produktion von commodity outputs einen Beitrag zur Vermeidung zukünftiger Konflikte im Zusammenhang mit der energetischen Biomasseproduktion in bestimmten Teilräumen leisten.

Abschließend ist festzuhalten, dass mit dem **allgemeinen Bedeutungszuwachs der Regionen** /1/, /78/ auch eine stärkere Verantwortung einhergeht, die Regionen für ihre Entwicklung übernehmen sollten. Explizit sind die Regionen aufgefordert, Bedingungen für die nachhaltige Entwicklung der Bioenergiebereitstellung zu schaffen und ihre Ausgestaltung planerisch-konzeptionell vorzubereiten (siehe Abschn. 5.2.3; /99/, /100/). Konflikte, die aus der gesteigerten Bioenergiebereitstellung resultieren, manifestieren sich zwar in Regionen, jedoch sind diese vielmals global zu regeln. Das regionale Handeln wird wesentlich durch nationale und internationale Entscheidungen bestimmt und ist in globale Entwicklungen eingebunden. Insofern sind die Ergebnisse aus dem globalen Teil der Untersuchung, der sich diesem Teil anschließt, relevant für die im Rahmen der internationalen Verteilungsdiskussion zu identifizierenden und formulierenden Ziele für eine nachhaltige Bioenergiebereitstellung auf nationaler und internationaler Ebene, insbesondere auch mit Blick auf die räumliche Entwicklung. Dabei ist nicht nur der Diskurs auf den unterschiedlichen politischen Ebenen zu führen, sondern auch die Steuerung der Bioenergiebereitstellung sollte auf diesen erfolgen.

## 6 GLOBALE BIOMASSEPOTENZIALE

Bioenergie ist nicht nur in Deutschland, sondern auch europaweit und global der bedeutendste erneuerbare Energieträger und soll aus Gründen der Versorgungssicherheit und des Klimaschutzes in vielen Ländern der Welt weiter ausgebaut werden.

Die stoffliche und energetische Biomassenutzung steht in Konkurrenz mit der Nutzung von Nahrungsmitteln, Naturschutzzielen und zahlreichen anderen Ansprüchen der Gesellschaft. Da die agrarischen und forstlichen Rohstoffe zum überwiegenden Teil transportwürdig, lagerfähig und zunehmend auf globalen Märkten handelbar sind, steht eine inländische Verwendung dieser Biomassen stets im Wettbewerb mit dem Export oder Import dieser Waren. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass der Verwendung landwirtschaftlicher Biomassen für die Welternährungssicherung grundsätzlich Vorrang gegenüber anderen Verwendungen sowohl auf den Märkten als auch in der Politikgestaltung eingeräumt wird. Schließlich entwickelt sich zumindest bis zur Mitte dieses Jahrhunderts die Weltbevölkerung und damit die weltweite Nahrungsmittelnachfrage sehr expansiv, während erst danach ein geringeres Wachstum und eine Stabilisierung bei rund 10 Mrd. Menschen erwartet wird /40/, /111/. Demgegenüber wirken sich schon seit einigen Jahren dämpfende Effekte (Klimawandel, Bodendegradation u. a.) auf die Angebotspotenziale für landwirtschaftliche Biomassen aus.

Vor diesem Hintergrund soll in diesem Kapitel einerseits aufgezeigt werden, welche länderspezifischen technischen Brennstoffpotenziale für einzelne Biomassefraktionen (land- und forstwirtschaftliche Biomassen, Reststoffe) existieren und global bei gegebenen und möglicherweise sich ändernden Rahmenbedingungen (z. B. Umwelt- und Naturschutzziele, Ertragsentwicklungen, siehe Kapitel 4) produziert und zur Deckung des inländischen Bedarfs in Deutschland zur Erreichung der klima- und energiepolitischen Ziele potenziell importiert werden könnten. Der Untersuchungsrahmen umfasst 134 Länder, die anhand ihrer Bedeutung nach verschiedenen Kriterien wie z. B. Bevölkerung und Agrarfläche ausgewählt wurden. Bei allen Berechnungen gilt dabei die Prämisse, dass die Nahrungsmittelversorgung stets Vorrang hat und die Staaten mit Flächenpotenzialen für nachwachsende Rohstoffe diese nur soweit nutzen, dass die globale Welternährung gesichert bleibt (siehe Abschn. 6.1 bis 6.4).

Zum anderen soll durch die Kombination von Fernerkundungsdaten mit statistischen Daten geprüft werden, ob eine verbesserte räumliche Auflösung erreicht und somit zukünftig Möglichkeiten geschaffen werden können, die ein regelmäßiges Monitoring flächenbezogener Biomasseressourcen unterstützen (siehe Abschn. 6.5). In dem Arbeitspaket „Fernerkundung“ wird die Eignung des dynamischen Modells „Biosphere Energy Transfer Hydrology (BETHY/DLR)“ zur Quantifizierung energetisch nutzbaren Kohlenstoffs analysiert, wobei Fernerkundungsdaten als Eingangsdaten zur aktuellen Charakterisierung des Pflanzenwachstums genutzt werden. Weiterhin wird untersucht, welche Möglichkeiten für ein Monitoring der Verluste an landwirtschaftlichen Flächen durch z. B. Degradation oder Erosion mit Hilfe von Fernerkundung und die Umwandlung von Wald- in Ackerflächen bestehen.

## 6.1 Landwirtschaftliche Biomassen

(Universität Hohenheim und DBFZ)

Die Verfügbarkeit von landwirtschaftlichen Biomassen für die Bioenergiebereitstellung ist abhängig vom zukünftigen Vorhandensein von Flächen, die nicht zur Nahrungsmittelproduktion gebraucht werden (sogenannte Non-Food-Flächen) und somit für die energetische Biomasseproduktion genutzt werden können. Die Schätzung der globalen landwirtschaftlichen Biomassepotenziale geht von der bisherigen Nutzung jeweils der regionalen agrarischen Produktion unter Berücksichtigung regionaler Landschaftsausstattung sowie den dort gegebenen wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen aus. Zu den Haupteinflussfaktoren zählen die sich im Zeitablauf verändernden Faktoren wie Bevölkerungsentwicklung und Nachfrageverhalten der Bevölkerung sowie die Produktivität der Agrarerzeugung. Diese wird unter dem Einfluss des Klimawandels nach bisher vorliegenden Erkenntnissen überwiegend negativ beeinträchtigt. Auswirkungen des Klimawandels sind z. T. in den Ertragsentwicklungen enthalten (s. Abschn. 4.1.1). Die Berechnung der globalen Flächen- bzw. technischen Brennstoffpotenziale erfolgt für verschiedene Szenarien (vgl. Kapitel 4) und Stützzeitpunkte (Basis 2002 - 2005, 2010, 2015 und 2020). Obwohl die Zuverlässigkeit von Prognosen zur Potenzialermittlung bei längeren Zeithorizonten deutlich geringer ist, wird für die Flächenpotenziale ein Ausblick auf das Jahr 2050 gegeben.

### 6.1.1 Allgemeine Vorgehensweise

Die Methodik wurde in verschiedenen vorausgegangenen Studien entwickelt und hinsichtlich der Fragestellungen in diesem Projekt angepasst (/102/, /104/, /116/, /133/, siehe Abb. 15). Die Potenzialabschätzung für Non-Food-Verwendungen erfolgt mit Hilfe von Exceltabellen in komparativ-statischen agrarökonomischen Modellrechnungen. Das sogenannte GAPP-Simulationsmodell (Globales Agrar-Produktions-Potenzial) wurde eigens für diese Fragestellungen entwickelt und liefert plausible Schätzergebnisse. Es ist auch geeignet, neben verfügbaren Flächen für Agrarrohstoffe, Rohstoffpotenziale für die Erzeugung von Bioenergieträgern zu ermitteln. Auch diese Kennzahlen werden wiederum als technische Potenziale für einzelne Länder sowie auch als globale Potenziale zur Bioenergiebereitstellung der Ländergruppen und Kontinente abgeschätzt und dargestellt.



Abb. 15: Ablaufschema - Methodik zur Ermittlung der Flächenpotenziale (Quelle: DBFZ, Uni Hohenheim)

Mit Hilfe von Regressionsrechnungen werden lineare und nichtlineare Funktionen getestet und nach statistischen Kriterien für die Vorrausschätzung von Nahrungsmittelnachfrage, Erträgen, Agrarrohstoffangebot, Nahrungsmittelnachfrage und vielen anderen Parameter verwendet. Für die Ermittlung der nationalen Flächenpotenziale wird unterstellt, dass die untersuchten Länder nutzbare Brachflächen und den Teil der agrarischen Überproduktion für Bioenergieträger nutzen können, der bisher mit Hilfe von Exportsubventionen auf dem Weltmarkt abgesetzt wurde. Das trifft vor allem für Industrieländer zu, die Überschüsse an Rindfleisch, Milchprodukten und teilweise auch

Getreide zu staatlich festgesetzten Preisen ankaufen, lagern und mit Hilfe von Subventionen exportieren. Als Datengrundlage dienen die vielfältigen Datenbanken der FAO, der UN und des Statistischen Bundesamtes /38/, /39/, /112/. Es ist zu beachten, dass alle in diesem Kapitel berechneten landwirtschaftlichen Flächen die zusätzlichen Flächen beziffern, die über die in der Basis bereits existierenden Flächen zur Biomasseproduktion hinaus zur Verfügung stehen könnten. Beispielsweise wurden in Deutschland im Basiszeitraum 2002 - 2005 bereits auf rund 1 Mio. ha Ackerfläche nachwachsende Rohstoffe zur energetischen Nutzung angebaut /33/. Diese müssten zu den in diesem Projekt ermittelten deutschen Non-Food-Flächen hinzuaddiert werden. Global kann davon ausgegangen werden, dass in der Basis etwa 30 Mio. ha vorwiegend für die Produktion von Biokraftstoffen verwendet wurden.

Nach Abschätzung der nationalen Potenziale an für die Biomasseproduktion freiwerdenden landwirtschaftlich genutzten Flächen (Acker- und Grünland) erfolgt für die globalen Ackerflächen zur Sicherstellung der Basisprämisse „Vorrang der Nahrungsmittelversorgung“ eine Art weltweiter Handelsausgleich. Für die anschließend noch verfügbaren Non-Food-Ackerflächen werden die produzierbaren Rohstoffmengen bzw. die technischen Rohstoffpotenziale der entsprechenden Fruchtarten ermittelt. Im „Business as usual“-Szenario wird der in der entsprechenden Ländergruppe bestehende Anbaumix von Kulturpflanzen angenommen, während in den Szenarien „Bioenergie“ und „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ die potenziell für Non-Food-Verwendungen verfügbaren Flächen mit einer Art Energiepflanzenfruchtfolge belegt werden. Für die freiwerdenden Grünlandflächen werden die energetisch nutzbaren Grünlandaufwüchse bestimmt. In einem letzten Schritt erfolgt dann die Berechnung der technischen Brennstoffpotenziale.

## 6.1.2 Ergebnisse

### Nationale Potenziale an landwirtschaftlich genutzten Flächen

In Abb. 16 sind die globalen Summen der ermittelten nationalen Flächenpotenziale in Mio. ha landwirtschaftlich genutzter Fläche (Acker- und Grünland, LF) für die Basis (Durchschnitt 2002 - 2005) und die Vorschätzungen bis 2050 dargestellt. Bei den Ergebnissen für die Basis ist zu beachten, dass es sich um Potenziale und nicht um reale Flächen handelt, auf denen Bioenergieträger tatsächlich produziert wurden. Sie hätten dort schon in der Basis produziert werden können, wenn die Länder Brachflächen dafür genutzt und auf Exporte von Agrarrohstoffen und Nahrungsgütern verzichtet hätten. So hätte es in Deutschland im Basiszeitraum des „Business as usual“-Szenarios ca. 2,9 Mio. ha als zusätzliches Non-Food-Flächenpotenzial zu den bereits real existierenden 1 Mio. ha NawaRo-Fläche für die energetische Nutzung gegeben (zusammen ca. 3,9 Mio. ha, siehe Abschn. 5.1).

Insgesamt folgt aus den Abschätzungen, dass in der Basis ein beträchtliches ungenutztes globales Potenzial bestanden hätte (ca. 640 Mio. ha). Obwohl das globale Flächenpotenzial durch anhaltendes Bevölkerungswachstum und zunehmenden Pro-Kopf-Verbrauch bis 2020 abnimmt, sind bis dahin unter allen denkbaren Szenarien beträchtliche nationale Potenziale für Non-Food-Verwendungen verfügbar. Wenn es im Prinzip weitgehend bei den bestehenden Rahmenbedingungen für die Agrarproduktion bleibt (Szenario „Business as usual (BAU)“), kann diese mit der enorm wachsenden Weltbevölkerung und dem zunehmenden Pro-Kopf-Verbrauch auch bis 2050 Schritt halten, und es stehen in naher Zukunft noch vergleichsweise große, später aber abneh-



mende Potenziale für die Verwendung landwirtschaftlicher Biomasse für Energieträger zur Verfügung.

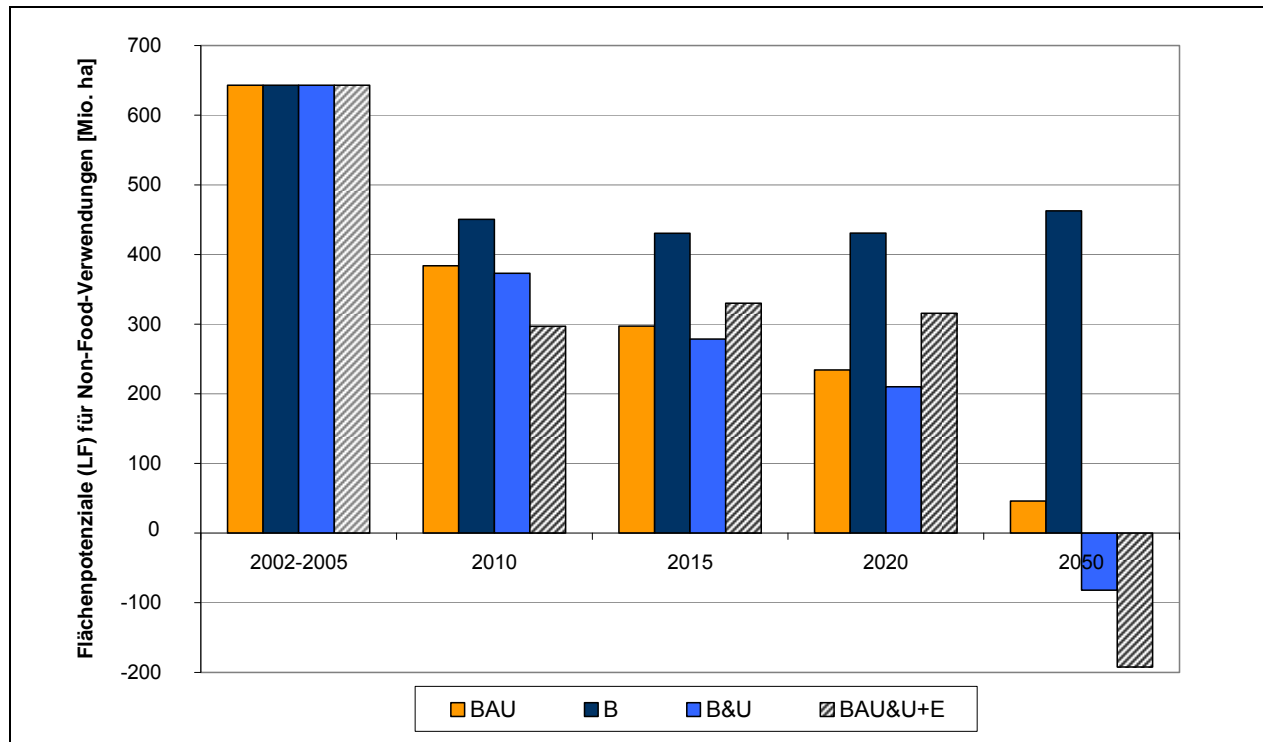


Abb. 16: Globales Flächenpotenzial (landwirtschaftlich genutzte Fläche, LF) für Non-Food-Verwendungen, bei Berücksichtigung der Produktivität (Quelle: DBFZ, Universität Hohenheim)

Die größten Flächenpotenziale entstehen im Zuge der erwartbaren Entwicklung in den GUS-Staaten. Allein in Russland wurden um die 70 Mio. ha Ackerland aus wirtschaftlichen und sozialen Gründen nicht genutzt. Ähnliche Verhältnisse finden sich in der Ukraine. Bei insgesamt eher stagnierender Bevölkerung und teilweise abnehmendem Pro-Kopf-Verbrauch sowie steigenden Ertragserwartungen auf vergleichsweise niedrigem Produktivitätsniveau ergeben sich dort enorme nationale Flächenpotenziale. Demgegenüber werden die in der Basis hohen Flächenpotenziale in Nordamerika im Zeitablauf abschmelzen, weil sich dort sowohl die Bevölkerung als auch der Pro-Kopf-Verbrauch deutlich erhöhen. Asien und Afrika weisen aufgrund besonders hoher Zuwachsraten der Nahrungsmittelnachfrage bedingt durch ein starkes Bevölkerungswachstum deutlich abnehmende Flächenpotenziale auf.

Flächenpotenziale zur Bioenergiebereitstellung haben vor allem Industrieländer mit hoch entwickelter Infrastruktur, die auch durchaus in der Lage wären, entsprechende Konversionsanlagen für die Herstellung von Bioenergieträgern zu installieren und wirtschaftlich zu betreiben. Gleichwohl ist zu berücksichtigen, dass der Importbedarf an agrarischen Rohstoffen insbesondere in den bevölkerungsreichen Ländern in Asien und Afrika stark zunehmen wird. Aus der zunehmenden Konkurrenz zwischen Agrarrohstoffen zur Bioenergiebereitstellung und dem Nahrungsmittlexport in Einfuhrländern können und werden Preiseffekte entstehen, die die Annahmen des „BAU“-Szenario eher unrealistisch erscheinen lassen.

Die Preissteigerungen bei Agrarrohstoffen könnten dazu führen, dass noch verfügbare Angebotspotenziale in der Ausschöpfung der Erträge, insbesondere in Ländern mit niedrigem Niveau, zu-



sätzlich erschlossen werden. Diese Situation bildet das „Bioenergie“-Szenario ab, wo aufgrund deutlich höherer Agrarpreise große Anreize bestehen, bis zu 50 % höhere Ertragssteigerungen im Vergleich zum „BAU“-Szenario zu realisieren. Diese Ertragssteigerungen bewirken im Vergleich zu den restlichen Szenarien deutlich höhere nationale Non-Food-Flächenpotenziale. Selbst im Jahr 2050 stünde global noch ein beträchtliches Flächenpotenzial von ca. 470 Mio. ha landwirtschaftlich genutzter Fläche zur Verfügung. Es ist davon auszugehen, dass dieses Szenario den Bereich darstellt, der maximal als Flächenpotenzial für die Bioenergiebereitstellung anzunehmen ist.

Auf der anderen Seite ist durch die stärker ins Bewusstsein rückende Forderung nach Umwelt- und Naturschutzziele im Szenario „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ wohl davon auszugehen, dass die in beträchtlichem Umfang stattfindenden Waldrodungen und der Grünlandumbruch stärker begrenzt werden und fast zum Erliegen kommen könnten. Die darüber hinausgehenden Forderungen nach Flächenumwidmungen zu Zwecken des Naturschutzes fallen in der gesamten Flächenbilanz nicht so stark ins Gewicht. Auch in diesem Szenario gibt es global bis ca. 2020 hohe nationale Flächenpotenziale, die sich dann aber drastisch reduzieren und 2050 deutlich im negativen Bereich liegen.

Als kleiner Exkurs wurde noch ein viertes reines Flächenszenario gerechnet (Business as usual mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen und Ernährungswandel, siehe Kapitel 4). In diesem Szenario reduziert sich zwar einerseits das Non-Food-Flächenpotenzial aufgrund der erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktion (z. B. höherer Anteil ökologischer Landbau), erhöht sich aber andererseits aufgrund der Veränderung der Ernährungsgewohnheiten (z. B. weniger Fleisch, weniger Kalorien in überernährten Staaten). Erst 2050 gibt es kein Flächenpotenzial mehr für die Bioenergiebereitstellung.

### Ackerflächenpotenziale nach globalem Handelsausgleich

Würden alle Länder die nationalen Potenziale an landwirtschaftlich genutzten Flächen für die Versorgung stofflicher und energetischer Märkte nutzen, stünden sie nicht mehr für Exporte zur Nahrungsmittelversorgung defizitärer Länder zur Verfügung. Um die Basisprämisse „Vorrang der Nahrungsmittelversorgung“ sicherzustellen, erfolgt daher im nächsten Schritt eine Art globaler Handelsausgleich. Der Anteil der verfügbaren Fläche für Biomasseanbau zur energetischen Nutzung ergibt sich aus dem Quotienten der negativen potenziellen Ackerflächen aller Länder zu den positiven potenziellen Ackerflächen aller Länder. Der Quotient drückt also aus, welcher Anteil des Non-Food-Flächenpotenzials nicht für Exporte zur Sicherung der Welternährung reserviert werden muss und daher für die Bioenergiebereitstellung zur Verfügung steht (siehe Tab. 8).

Tab. 8: Globale Anteilsquotienten des nationalen Gesamtpotenzials für Non-Food-Verwendungen (Quelle: Universität Hohenheim)

	Ø 2002 -2005	2010	2015	2020	2050
<b>Business as usual (BAU)</b>	0,998	0,423	0,172	-0,018	-0,532
<b>Bioenergie (B)</b>	0,998	0,576	0,496	0,462	0,361
<b>Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen (B&amp;U)</b>	0,998	0,449	0,204	0,008	-0,733
<b>Business as usual mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen und Ernährungswandel (BAU&amp;U+E)</b>	0,998	0,223	0,250	0,198	-0,694

Der Quotient aus negativen und positiven Potenzialen von 0,423 im Szenario „BAU“ und im Jahr 2010 bedeutet, dass 42,3 % der Flächenpotenziale aller Länder mit positiven Potenzialen für die Non-Food-Verwendung genutzt werden dürfen, während die restlichen 57,2 % für Exporte in Defizitländer zur Ernährungssicherung vorgehalten werden müssten (siehe Tab. 8). Letztere haben dann ein Non-Food-Potenzial von Null. Wenn der Anteilsquotient negativ wird, wären die Flächendefizite global sogar größer als die Flächenpotenziale, d. h. der Anteilskoeffizient in den Ländern mit positiven Potenzialen wird auf Null gesetzt (kein globales Non-Food-Flächenpotenzial).

Beispielhaft sind in Tab. 9 die Ackerflächenpotenziale (Ackerfläche für die Non-Food-Verwendung) im Szenario „Business as usual“ ausgewiesen: Im linken Teil der Tabelle jeweils unter der Vorgabe, dass die Welternährung vorrangig vor der Verwendung für Bioenergieträger gesichert werden muss, und im rechten Teil der Tabelle jeweils als verbleibendes Non-Food-Flächenpotenzial, wenn sich die Ländergruppe anteilig am Export zur Deckung der defizitären Nahrungsversorgung der Einfuhrländer beteiligt. Für das Szenario „BAU“ zeigen die Daten, dass global ab dem Jahr 2020 keine Ackerflächenpotenziale für Non-Food-Verwendung mehr zur Verfügung stehen. Es gibt dann allerdings noch Grasland für Non-Food-Verwendungen. Da Ackerflächen für Non-Food-Zwecke in der globalen Bilanz nicht mehr verfügbar sind, würden auch die großen Überschussländer für Agrarrohstoffe wie Europa, Nordamerika und Südamerika ab 2020 alle für die eigene Nahrungsmittelversorgung nicht mehr benötigten Agrarrohstoffe in Defizitländer (vorwiegend Asien und Afrika) exportieren müssen.

Tab. 9: Flächenpotenziale (Ackerfläche) für Non-Food-Verwendungen, Szenario „BAU“ (Quelle: Universität Hohenheim)

Land	Nationales Potenzial [1.000 ha]					Verbleibendes Potenzial bei Ernährungssicherheit (Welt) [1.000 ha]				
	Ø 2002-2005	2010	2015	2020	2050	Ø 2002-2005	2010	2015	2020	2050
Deutschland	2.051,4	1.515,5	1.915,3	2.313,5	4.368,4	2.047,4	641,1	328,5	0,0	0,0
EU-27	24.541,2	15.328,4	16.908,8	18.606,2	23.009,0	24.493,3	7.535,4	3.444,2	0,0	0,0
Europa andere	92.642,4	87.389,2	98.225,8	108.490,0	148.437,8	92.461,6	36.995,6	16.871,4	0,0	0,0
Europa	117.183,6	102.717,6	115.134,7	127.096,2	171.446,8	116.954,9	44.531,0	20.315,6	0,0	0,0
Nordamerika	101.377,0	65.621,0	59.090,3	53.709,8	33.144,6	101.179,1	27.759,1	10.135,1	0,0	0,0
Mittelamerika	15.299,2	-3.545,2	-11.764,9	-18.639,8	-41.218,9	15.269,3	1.171,2	445,9	0,0	0,0
Südamerika	42.886,2	35.786,4	29.132,5	24.170,1	18.066,0	42.802,5	21.182,5	9.364,4	0,0	0,0
Amerika	159.562,4	97.862,2	76.457,9	59.240,2	9.991,7	159.251,0	50.112,7	19.945,3	0,0	0,0
Ozeanien	42.440,5	33.157,0	28.184,9	23.361,9	-6.416,3	42.357,7	14.026,1	4.834,2	0,0	0,0
Asien	61.664,3	-62.219,6	-113.430,4	-153.786,6	-292.920,8	64.038,6	18.540,0	6.734,0	0,0	0,0
Afrika	39.322,8	-56.818,4	-91.310,3	-121.677,1	-322.022,7	39.290,1	6.385,2	3.717,0	0,0	0,0
Gesamt 134 Länder	420.173,7	114.698,9	15.036,8	-65.765,4	-439.921,2	421.892,4	133.595,1	55.546,2	0,0	0,0
Bei Berücksichtigung der Produktivität	433.125,1	135.314,8	55.277,1	-6.011,5	-213.557,6	433.125,1	135.314,8	55.277,1	0,0	0,0

Würde in diesem Szenario (Business as usual) die EU-27 egoistisch handeln, das heißt die eigenen Ernährungsdefizite durch Handelsausgleich zwischen EU-Ländern decken, sich aber nicht an der Sicherung der Welternährung beteiligen, könnte ein gegenüber der Summe der nationalen Potenziale zwar geringeres aber doch noch ganz erhebliches Rohstoffpotenzial für Non-Food-Verwendung genutzt werden, nämlich 23 Mio. ha im Jahr 2050 (siehe Tab. 10 unten). Gleichwohl

würde diese Fläche für die Welternährung fehlen. Es käme wahrscheinlich zu Preissteigerungen bei Agrarrohstoffen, die die EU-27 veranlassen würde, die Non-Food-Verwendung zugunsten von Weltmarktexporten an Nahrungsmitteln zurückzufahren. Insofern ist es vergleichsweise unrealistisch anzunehmen, dass ein großes Überschussland mit Agrarrohstoffen seine Agrarflächenpotenziale im Non-Food-Bereich ausschließlich zur Produktion für nationale Bioenergieträger nutzt. Bioenergie von Grünland und Reststoffen würden allerdings noch in beträchtlichem Umfang zur Verfügung stehen.

Tab. 10: Flächenpotenziale (Ackerfläche) für Non-Food-Verwendungen (EU-27), Szenario „BAU“ (Quelle: Universität Hohenheim)

Land	Nationales Potenzial [1.000 ha]					Verbleibendes Potenzial bei Ernährungssicherheit (EU-27) [1.000 ha]				
	Ø 2002-2005	2010	2015	2020	2050	Ø 2002-2005	2010	2015	2020	2050
Deutschland	2.051,4	1.515,5	1.915,3	2.313,5	4.368,4	2.051,4	1.293,8	1.608,5	1.914,7	3.192,7
Frankreich	6.482,0	5.011,7	4.499,8	4.038,0	1.951,5	6.482,0	4.278,3	3.778,9	3.341,9	1.426,2
Vereintes Königreich	-161,5	-1.158,5	-1.194,9	-1.267,3	-1.324,9	161,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Italien	1.410,8	784,8	924,3	1.106,8	2.402,9	1.410,8	670,0	776,2	916,0	1.756,2
Spanien	3.831,4	4.050,0	5.825,3	7.596,1	15.477,4	3.831,7	3.457,5	4.892,1	6.286,7	11.311,6
Polen	1.837,1	-701,8	-1.069,7	-1.398,2	-4.193,3	1837,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Rumänien	748,0	649,2	642,1	667,7	976,5	748,0	554,2	539,3	552,6	713,7
Niederlande	49,7	84,9	109,6	134,8	207,4	49,7	72,5	92,0	111,6	151,6
Griechenland	445,5	-611,1	-806,9	-947,0	-1.552,0	445,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Belgien/Luxemburg	28,3	98,8	173,5	247,1	694,5	28,3	84,3	145,7	204,5	507,6
Tschechien	1.093,2	877,1	931,1	991,7	1.424,2	1.093,2	748,8	781,9	820,7	1.040,9
Portugal	536,5	463,0	692,0	919,3	1.998,3	536,5	395,2	581,1	760,8	1.460,5
Ungarn	1.444,5	1.295,1	1.292,3	1.276,8	524,6	1.444,5	1.105,6	1.085,3	1.056,7	383,4
Schweden	490,9	306,6	283,1	258,0	184,5	490,9	261,7	237,7	213,5	134,8
Österreich	186,2	92,8	119,1	142,5	218,9	186,2	79,2	100,0	117,9	160,0
Bulgarien	1.121,2	915,4	813,2	699,1	-674,8	1.121,2	781,5	682,9	578,6	0,0
Slowakei	218,7	-123,7	-243,5	-384,1	-1.604,8	218,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Dänemark	182,9	188,1	254,2	318,6	567,7	182,9	160,6	213,5	263,7	414,9
Finnland	301,6	165,4	100,5	40,2	-203,3	301,6	141,2	84,4	33,3	0,0
Irland	848,0	932,5	1.022,8	1.106,4	674,6	848,0	796,1	859,0	915,7	493,0
Litauen	490,6	-39,3	19,6	72,2	91,6	490,6	0,0	16,4	59,7	66,9
Lettland	538,8	186,9	238,6	285,6	384,1	538,8	159,6	200,4	236,4	280,7
Slowenien	4,3	1,2	-3,3	-8,7	-50,9	4,3	1,0	0,0	0,0	0,0
Estland	31,5	-11,2	35,6	79,6	222,0	31,5	0,0	29,9	65,9	162,2
Zypern	6,5	-15,1	-24,6	-32,6	-57,9	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Malta	0,0	-1,0	-1,1	-1,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1
<b>EU-27</b>	<b>24.541,2</b>	<b>14.957,4</b>	<b>16.548,0</b>	<b>18.255,2</b>	<b>22.708,6</b>	<b>24.541,5</b>	<b>15.040,9</b>	<b>16.705,3</b>	<b>18.450,9</b>	<b>23.658,0</b>
<b>Bei Berücksichtigung der Produktivität</b>	<b>25.413,3</b>	<b>16.121,1</b>	<b>17.261,7</b>	<b>18.495,9</b>	<b>21.549,3</b>	<b>25.413,5</b>	<b>16.121,2</b>	<b>17.261,7</b>	<b>18.495,9</b>	<b>21.549,3</b>

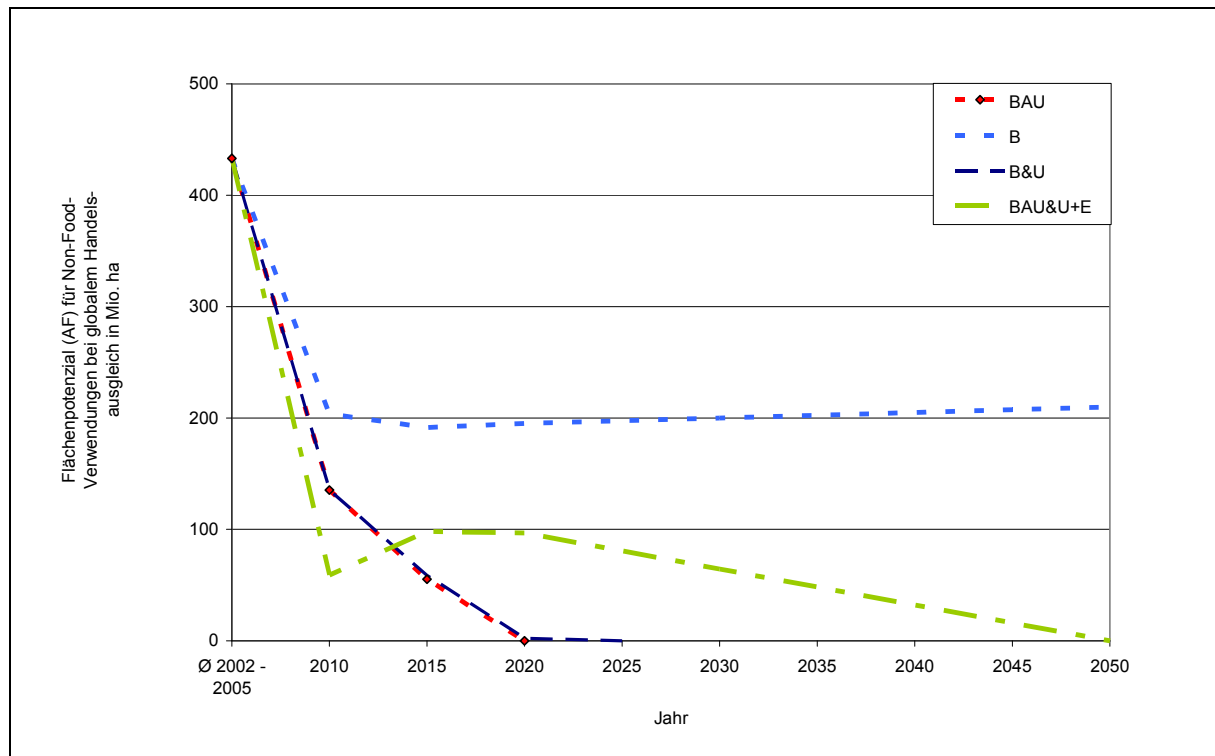


Abb. 17: Globales Flächenpotenzial (Ackerfläche) für Non-Food-Verwendungen bei globalem Handelsausgleich (Quelle: Universität Hohenheim)

In Abb. 17 sind die Ergebnisse zu den freiwerdenden Non-Food-Ackerflächen nach Durchführung des globalen Handelsausgleichs dargestellt. Während in den letzten 20 Jahren die Weltagrarmärkte durch strukturelle Überproduktion gekennzeichnet waren, scheint die zukünftige Entwicklung über kurz oder lang zu einer Umkehr zu Defizitmärkten hinzuführen. In der Basis wären weltweit noch über 400 Mio. ha Ackerland für nachwachsende Rohstoffe in Form von Brachfläche und Flächenfreisetzungen durch Abbau von Agrarüberschussproduktionen verfügbar gewesen. Im weiteren Zeitverlauf sinkt das für die Biomasseproduktion freiwerdende Ackerflächenpotenzial rapide ab. Während sich das „Bioenergie“-Szenario nach 2010 bei einem relativ konstanten Wert von rund 200 Mio. ha einpendelt, gibt es in den Szenarien „Business as usual“ und „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktion“ ab 2020 keine Ackerflächenpotenziale zum Anbau von Energiepflanzen mehr. Das Ackerflächenpotenzial im Szenario „BAU&U+E“ fällt zunächst gegenüber BAU stärker ab, weil 2 % der Ackerflächen schon 2010 zu Naturschutzflächen umgewidmet werden. Nach 2010 steigt es an, weil unterstellt wurde, dass bis 2020 die gesamte überernährte Weltbevölkerung den Nahrungsmittelverzehr reduziert. Nach 2020 sinkt das Ackerflächenpotenzial durch den Bevölkerungszuwachs wieder ab bis dann 2050 ebenfalls keine Non-Food-Ackerflächenpotenziale mehr existieren.

Die Ergebnisse des Szenarios „Bioenergie“ zeigen, dass sowohl die Welternährung gesichert als auch ein begrenztes Potenzial für Non-Food-Verwendungen global langfristig bereit gestellt werden kann. Gleichwohl zeigen die Ergebnisse des Szenarios „B&U“, dass sich trotz hoher Ertragsfortschritte die Flächenpotenziale durch die Realisierung von restriktiveren Umweltzielen schneller erschöpfen. Wenn Landnutzungsänderungen vollständig unterlassen würden und weitere 2 % der Ackerfläche für den Naturschutz zusätzlich bereitgestellt werden, sind ab 2020 keine Non-Food-Flächen mehr verfügbar.

### Technische Brennstoffpotenziale

Nach der Abschätzung der freiwerdenden Non-Food-Flächen (Grünlandflächen und Ackerflächen nach Handelsausgleich) erfolgt im nächsten Schritt die Berechnung der für diese Flächen möglichen technischen Brennstoffpotenziale für die drei Szenarien „BAU“, „B“ und „B&U“. Für die Grünlandflächen werden die technischen Brennstoffpotenziale von Grünlandaufwüchsen bestimmt. Die freiwerdenden Grünlandflächen werden in Abhängigkeit von der Bevölkerungsentwicklung und dem Pro-Kopf-Verbrauch an Milch und Rindfleisch ermittelt. Da die Annahmen für diese Faktoren in allen drei Szenarien gleich sind, sind auch die Grünlandflächen und damit die technischen Brennstoffpotenziale von Grünlandaufwuchs für alle Szenarien gleich.

Die Ermittlung der technischen Brennstoffpotenziale erfolgt zudem von den nach Durchführung des globalen Handelsausgleiches noch für die Biomasseproduktion zur Verfügung stehenden Ackerflächen. Für das Szenario „Business as usual“ wird angenommen, dass die Flächen in dem Anbauverhältnis genutzt werden, wie es in der Basis vorgefunden wurde (etablierte auf Nahrungsmittelproduktion ausgerichtete Fruchtfolge). Da die Flächenpotenziale für Non-Food-Verwendungen im Zeitablauf immer stärker begrenzt sind, ist es umso wichtiger, dass auf den noch verbleibenden Flächen bei gesicherter Welternährung die Energiepflanzen angebaut werden, die den energie- und klimapolitischen Zielen am weitestgehenden entsprechen. Daher werden in den Szenarien „Bioenergie“ und „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ die Energiepflanzen angebaut, die in dem jeweiligen Land oder der Ländergruppe ein hohes energetisches Potenzial besitzen. Zunächst werden 33 % der verfügbaren Flächen mit Kurzumtriebsplantagen (KUP) in gemäßigten Breiten und Holzplantagen in subtropischen und tropischen Regionen belegt. Als Kulturen mit zweithöchster Priorität werden Zuckerrüben und Zuckerrohr bis zur Verdoppelung der bisherigen Anbaufläche (Vergleich mit Basis) zugelassen. In der weiteren Rangfolge folgen Silomais (nur in den EU-Ländern), dann die ertragreichste Getreide- oder Ölfruchtart und schließlich in den tropischen Ländern mit Reisanbau auch der Anbau von Ölpalmen in Substitution zu Nassreisanbau.

Nach Berechnung der Produktionsmengen bzw. Rohstoffpotenziale erfolgt mit Hilfe der fruchtart-spezifischen unteren Heizwerte die Ermittlung der technischen Brennstoffpotenziale für die landwirtschaftlichen Biomassen (Energiepflanzen vom freiwerdenden Ackerland und Grünlandaufwuchs vom Grünland für Non-Food-Verwendungen). Die Potenziale von den Kurzumtriebs- und Forstplantagen fließen in die Berechnungen der forstwirtschaftlichen Potenziale ein und werden in Abschn. 6.2 dargestellt.

In Tab. 11 sind die Ergebnisse der Berechnungen der technischen Brennstoffpotenziale für die drei Szenarien dargestellt. Da 2020 in den Szenarien „Business as usual“ und „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ global keine Ackerflächen mehr für Non-Food-Verwendungen zur Verfügung stehen, gibt es auch keine nennenswerten technischen Brennstoffpotenziale mehr. Im Gegensatz dazu steigen die technischen Brennstoffpotenziale im Szenario „Bioenergie“ aufgrund der zunehmend freiwerdenden Non-Food-Ackerflächen bis 2050 beträchtlich an und liegen bereits 2020 bei rund 16.140 PJ. Diese Menge entspricht rund 2,5 % des prognostizierten globalen Primärenergieverbrauchs in 2020 (ca. 650.000 PJ, /25/). In 2050 werden global rund 22.120 PJ erreicht.

Tab. 11: Technisches Brennstoffpotenzial von landwirtschaftlichen Biomassen 2015, 2020 und 2050, Szenario „BAU“, „B“ und „B&U“ mit Handelsausgleich (Quelle: DBFZ)

Betrachtungsjahr, Szenario		Technisches Brennstoffpotenzial [PJ/a]								
		2015			2020			2050		
		BAU	B	B&U	BAU	B	B&U	BAU	B	B&U
Europa	EU-27	392,9	982,6	383,5	22,8	996,9	34,5	0,0	1.512,3	0,0
	Europa andere	755,9	1.655,7	714,9	29,0	1.828,0	57,4	0,0	3.294,4	0,0
	Summe	1.148,8	2.638,4	1.098,3	51,8	2.824,9	91,9	0,0	4.806,7	0,0
Amerika	Nordamerika	915,9	3.303,1	1.283,7	3,0	3.357,6	54,6	0,0	3.868,9	0,0
	Mittelamerika	83,7	204,9	67,3	1,5	193,4	3,5	0,0	128,4	0,0
	Südamerika	1.628,9	4.472,5	1.810,4	70,7	4.473,0	132,6	0,0	5.931,5	0,0
	Summe	2.628,5	7.980,5	3.161,4	75,2	8.023,9	190,8	0,0	9.928,9	0,0
Ozeanien		805,1	1.037,3	692,2	115,8	549,8	117,6	0,0	207,3	0,0
Asien		500,7	3.268,4	463,3	21,8	3.568,6	36,7	0,0	4.624,0	0,0
Afrika		426,2	1.013,4	396,3	33,1	1.173,2	46,6	0,0	2.552,4	0,0
Gesamt 134 Länder		5.509,3	15.938,0	5.811,5	297,6	16.140,4	483,6	0,0	22.119,3	0,0

In Abb. 18 sind die globalen Brennstoffpotenziale hinsichtlich der verschiedenen Fruchtarten aufgeschlüsselt. Es wird deutlich, dass insbesondere Getreide, Zuckerrohr und Ölpalmen zu den Potenzialen beitragen. In 2015 gibt es zudem noch große Brennstoffpotenziale aus Grünlandaufwuchs.

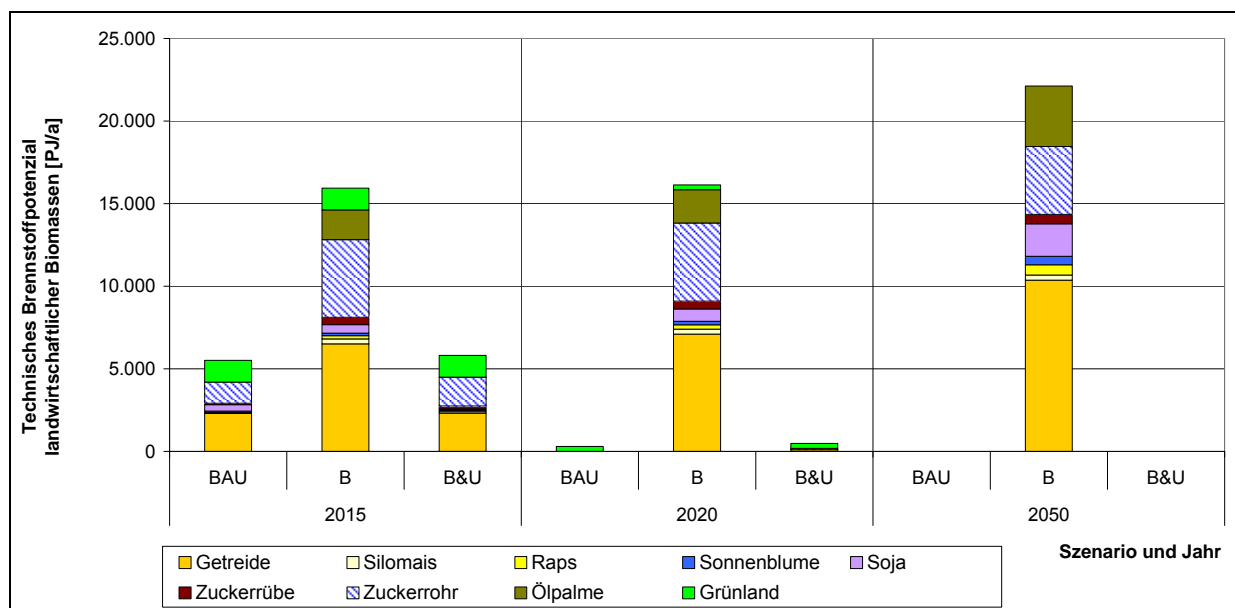


Abb. 18: Technisches Brennstoffpotenzial von landwirtschaftliche Biomassen 2015, 2020 und 2050, Szenario „BAU“, „B“ und „B&U“ mit Handelsausgleich, aufgeschlüsselt nach den verschiedenen Fruchtarten (Quelle: DBFZ)

Da es Aufgabe des Projektes ist, „hot spots“ der Biomasseproduktion und damit potenzielle Lieferanten für Importbiomassen (IEKP 2020) zu bestimmen, werden im Folgenden die Ergebnisse für 2020 länderspezifisch dargestellt und diskutiert.

Im Szenario „Business as usual“ und „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ ergeben sich vergleichsweise vernachlässigbare globale technische Brennstoffpotenziale von rund 300 PJ/a bzw. 480 PJ/a. Im Szenario „Business as usual“ ist das Brennstoffpotenzial komplett auf die Nutzung von Grünlandaufwüchsen zurückzuführen, da es 2020 keine Non-Food-Flächen für den Anbau von Energiepflanzen mehr gibt. Technische Brennstoffpotenziale vom Grünland gibt es in 2020 nur noch in 42 der untersuchten 134 Länder, wobei nur Australien (ca. 84 PJ), Argentinien (ca. 47 PJ), Neuseeland (ca. 32 PJ), Südafrika (ca. 25 PJ), Russland und Uruguay (jeweils ca. 18 PJ) signifikante Potenziale aufweisen.

Auch im Szenario „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ basieren die Brennstoffpotenziale größtenteils auf der Nutzung von Grünlandaufwüchsen (rund 298 PJ). Sehr geringe Potenziale an Getreide gibt es noch in den USA (ca. 45 PJ), Russland (ca. 13 PJ) und Südafrika (ca. 11 PJ). Zuckerrohr aus Brasilien liefert weitere 48 PJ.

Im Szenario „Bioenergie“ gibt es in 2020 ein globales technisches Brennstoffpotenzial von landwirtschaftlichen Biomassen von rund 16.140 PJ. Die mit Abstand größten Potenziale weisen Brasilien (ca. 3.800 PJ, vorwiegend Zuckerrohr) und die USA auf (ca. 3.150 PJ, vorwiegend Getreide) gefolgt von Indonesien (ca. 1.800 PJ, vorwiegend aus Ölpalmen) und Russland (ca. 1.500 PJ, vorwiegend aus Getreide, siehe Abb. 19). Selbst im Szenario „B“ mit seinen hohen Potenzialen haben z. B. China, Indien und viele Länder Afrikas und Mittelamerikas aufgrund des hohen Nahrungsmittel- und damit Food-Flächenbedarfs keine technischen Brennstoffpotenziale.

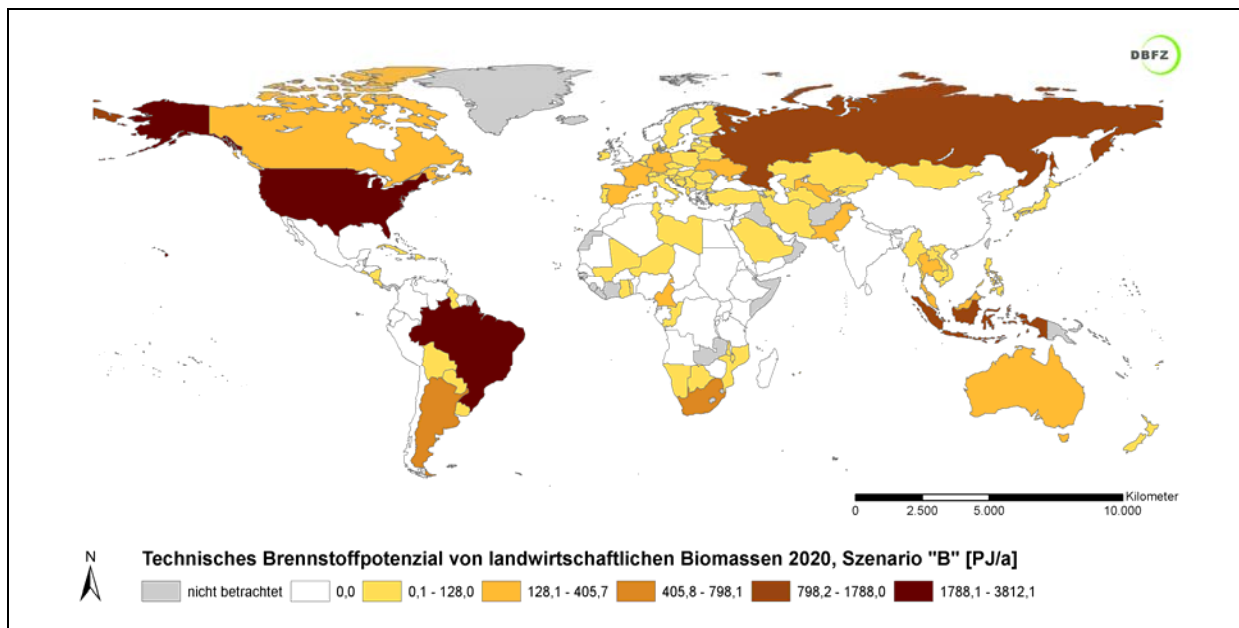


Abb. 19: Technisches Brennstoffpotenzial von landwirtschaftlichen Biomassen in 2020, Szenario „B“ mit Handelsausgleich (Quelle: DBFZ)

### 6.1.3 Fazit

Die Ergebnisse der Potenzialabschätzungen zu den verschiedenen Szenarien zeigen deutlich, dass die globalen Flächen- und Rohstoffpotenziale für die Non-Food-Verwendung im Wesentlichen von der Nahrungsmittelnachfrage einerseits und den Ertragssteigerungen auf begrenzter Agrarfläche andererseits abhängen. Während in den letzten 20 Jahren die Weltagrarmärkte durch strukturelle Überproduktion gekennzeichnet waren und beträchtliche Potenziale für Bioenergie



hätten verfügbar gemacht werden können, kann die zukünftige Entwicklung mittel- und langfristig zu einer Umkehr zu Defizitmärkten führen.

Die Potenziale der Kontinente und Teilkontinente entwickeln sich dabei in allen Szenarien in unterschiedliche Richtungen: während Europa, Nord- und Südamerika erhebliche und stabile Flächenpotenziale für die Bioenergiepflanzenproduktion vorhalten können, reichen die Flächen für die Nahrungsmittelversorgung in vielen Ländern Asiens und Afrikas nicht aus, und es entsteht ein zunehmender Importbedarf an Nahrungsmitteln. Unter der Annahme eines globalen Handelsausgleichs folgt daraus eine rechnerische Flächeninanspruchnahme von potenziellen Bioenergieflächen in den anderen Ländern der Welt. Deren Bioenergiepotenziale reduzieren sich dadurch entsprechend. Zu einer weltweiten Krise in der Ernährungssicherung würde es dann nicht kommen.

In der Basis (2002 - 2005) wären weltweit nach diesen Abschätzungen noch über 400 Mio. ha Ackerland für nachwachsende Rohstoffe in Form von Brachfläche und Flächenfreisetzungen durch Abbau von Agrarüberschussproduktionen verfügbar gewesen. In 2007/08 zeichnete sich jedoch erstmals eine globale Verknappung von Nahrungsmitteln ab, die sich in den nächsten Jahren in kürzeren Abständen wiederholen kann und bei Trendfortschreibung aller relevanten Bestimmungsfaktoren für die Agrarrohstoffmärkte ab 2020 zu einer Erschöpfung der Ressourcen und zur ausschließlichen Verwendung derselben für Nahrungsmittel führen kann.

Dem kann durch weitgehend volle Ausschöpfung der Landressourcen und Forcierung der Agrarproduktion entgegengewirkt werden - wobei dies nicht grundsätzlich zu einem Verlust an Nachhaltigkeit führen muss. Wesentliche Voraussetzungen dazu sind höhere Preise für Agrarrohstoffe, die sich mit weiterer Verknappung des Agrarrohstoffangebots voraussichtlich automatisch einstellen werden. Die Quantifizierung dieser Effekte ist schwierig. Im Szenario „Bioenergie“, dass bei höheren Agrar- und Rohölpreisen an Realität gewinnt, könnten auch bis zur Mitte des Jahrhunderts auf etwa 200 Mio. ha Ackerfläche Energiepflanzen mit einem technischen Brennstoffpotenzial von 22 EJ angebaut werden.

Da das IEKP-Ziel im Bereich Biokraftstoffe - bei gleichzeitiger Erfüllung der IEKP-Ziele in den Bereichen Strom und Wärme - voraussichtlich nicht vollständig mit Biomasse aus Deutschland umgesetzt werden kann, wird zukünftig die Bedeutung des Imports von Biomassen und/oder von Bioenergeträgern zunehmen. Zur Abschätzung der Importpotenziale für Biokraftstoffe wurden entsprechende Berechnungen durchgeführt. Im Szenario „Bioenergie“ ergeben sich Importpotenziale für Deutschland von flüssigen bzw. gasförmigen Biokraftstoffen für 2020 von ca. 6,5 EJ/a. Zusätzlich zu den bereits heute produzierten Biokraftstoffmengen könnten jährlich ca. 187 Mio. t Bioethanol, 31 Mio. t Biodiesel und 6,6 Mrd. m<sup>3</sup> Biomethan bereitgestellt werden (das Dreifache der in 2008 produzierten Menge). Schwerpunktländer der Produktion sind Russland, Brasilien, USA und Indonesien. Damit könnten die IEKP-Ziele für den Transportsektor im Szenario „Bioenergie“ deutlich übererfüllt werden. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass auch andere Länder, die bereits Biokraftstoffziele formuliert haben, dieses Potenzial mit in Anspruch nehmen möchten.

Die Ergebnisse des Szenarios „Bioenergie mit erhöhte Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ zeigen, dass die Umsetzung weitergehender Standards des Umwelt- und Naturschutzes (keine direkten Landnutzungsänderungen wie z. B. Grünlandumbruch und Rodung von Wäldern, weitere Umwidmung von 2 % Ackerfläche zu Naturschutzzwecken ohne landwirtschaftliche Nutzung) das Flächen- bzw. Brennstoffpotenzial ggf. erheblich reduzieren können.

Neben den in diesem Projekt analysierten Flächenpotenzialen besteht ein weiteres Potenzial für den Energiepflanzenanbau auf degradierten Flächen. Für diese werden in der Literatur sehr unterschiedliche Ausdehnungen angegeben (von 6 bis zu 35 Mio. km<sup>2</sup>), und sie zeigen ein sehr breites Spektrum an Bodenqualitäten und Ertragserwartungen, Vornutzungen etc. Damit ist eine generelle Einordnung dieses Flächenpotenzials im Rahmen dieses Projektes nicht möglich. Synergien zwischen Flächenaufwertung und Biomasseproduktion – auch zur Bereitstellung für internationale Märkte – können sehr wohl möglich sein. Die umsichtige Erschließung dieser Ressourcen erfordert jedoch eine fallspezifische Betrachtung.

Insgesamt zeigen die Untersuchungen, dass die Trendabschätzung zur Bestimmung zukünftiger landwirtschaftlicher Biomassepotenziale gut geeignet ist. Die tatsächliche Nutzung des Flächenpotenzials für Energiepflanzen hängt allerdings von vielen oftmals schwer prognostizierbaren Faktoren ab. Insbesondere die politischen Rahmenbedingungen haben großen Einfluss auf die Weiterentwicklung des wirtschaftlichen Umfeldes. Die Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass die Agrarpreise innerhalb kürzester Zeit extrem schwanken können, was sich wiederum problematisch auf die weltweite Ernährungssicherung auswirken kann. Ob es im Fall großer Hungersnöte in z. B. Afrika wirklich zu einem „globalen Handelsausgleich“ kommen würde und die Länder mit hohen nationalen Flächenpotenzialen diese daher nicht für die Bioenergiebereitstellung nutzen würden, ist fraglich.

## 6.2 Forstwirtschaftliche Biomassen

(vTI)

### 6.2.1 Problemstellung

Wälder bedecken mit 3,95 Mrd. ha rund 30 % der Landmasse der Erde /36/. Sie sind Lebensraum für unzählige Arten und Lebensgemeinschaften und bedeutender Faktor im Energie- und Stoffhaushalt der Erde. Sie beeinflussen das lokale und regionale Klima und sind als natürlicher Kohlenstoffspeicher bedeutender Faktor für die zukünftige Entwicklung des globalen Klimas. Als Quelle des nachwachsenden Rohstoffs Holz und anderer Rohstoffe sind sie außerdem bedeutender Faktor der globalen Wirtschaft. Aufgrund seiner technischen Eigenschaften wird Holz in vielfältiger Weise stofflich und energetisch genutzt. Im Jahr 2006 waren es weltweit rund 3,5 Mrd. m<sup>3</sup> Rohholz /36/. Mit mehr als 50 % überwiegt - und das mag überraschend erscheinen - nicht die stoffliche sondern die energetische Nutzung. Vor allem in wenig entwickelten Ländern Afrikas, Asiens und Lateinamerikas ist Holz vielfach der wichtigste Brennstoff überhaupt. Durch die weiter stark wachsende Erdbevölkerung sowie den zu erwartenden steigenden Biomassebedarf für die Erfüllung klimapolitischer Ziele, wird der globale Holzverbrauch in den nächsten Jahren und Jahrzehnten mit hoher Wahrscheinlichkeit weiter steigen. Es drängt sich daher die Frage auf, ob die Wälder der Welt in Zukunft in der Lage sein werden, den steigenden Verbrauch nachhaltig zu befriedigen ohne dabei ihre wichtigen Funktionen für Energie-, Wasser-, Stoffhaushalt und Klima einzubüßen, oder ob nicht sogar die Option besteht, die nachhaltige energetische Nutzung von Holz zu verstärken. Angesichts der fortschreitenden Umwandlung von Primärwäldern in landwirtschaftliche Nutzflächen für die Nahrungsmittel- und Biomasseproduktion sowie der intensiveren Nutzung von Wirtschaftswäldern kann man die Befürchtung haben, dass dies nicht der Fall sein könnte.

Vor diesem Hintergrund soll im Folgenden abgeschätzt werden, wie sich unter bestimmten Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Wald- und Plantagenflächen, des Rohholzzuwachses sowie zur Entwicklung der Unterschützstellung von Wäldern das nachhaltig verfügbare globale

Rohholzpotenzial in 2020 darstellen könnte. In einem weiteren Schritt soll das Rohholzpotenzial der Rohholznutzung der weltweit bedeutendsten 46 Rohholz produzierenden und verbrauchenden Staaten gegenübergestellt werden, um so im Saldo das technische Brennstoffpotenzial von Energieholz (im Folgenden mit: technisches Energieholzpotenzial abgekürzt) im Jahr 2020 zu ermitteln.

Eine ausführliche Beschreibung der verwendeten Datenquellen, der methodischen Vorgehensweise sowie eine ausführliche Ergebnisdarstellung finden sich im Anhang IV dieses Berichtes.

### 6.2.2 Vorgehensweise

Die Abschätzung des globalen nachhaltigen Rohholzpotenzials sowie des technischen Energieholzpotenzials beruht im Wesentlichen auf Statistiken zur globalen Entwicklung der Wälder sowie regionalen und länderspezifischen Informationen. Die Abschätzung des globalen Rohholzpotenzials erfolgt für drei unterschiedliche Entwicklungsszenarien in zwei transparenten Schritten für 134 Länder. Das technische Energieholzpotenzial wird für 46 Länder und drei unterschiedliche Entwicklungsszenarien in drei transparenten Schritten ermittelt.

Zunächst wird die globale Wald- und Plantagenfläche für das Jahr 2020 abgeschätzt, indem basierend auf den seit 1990 beobachteten durchschnittlichen länderspezifischen jährlichen Veränderungen der Wald- und Plantagenflächen Annahmen über deren weitere Entwicklung getroffen werden. Im zweiten Schritt wird durch Multiplikation mit dem jeweils länderspezifischen jährlichen Nettozuwachs berechnet, wie groß das nachhaltig nutzbare Rohholzpotenzial aus Wäldern und Plantagen im Jahr 2020 sein würde. Diese Herleitung des zukünftigen nachhaltigen globalen forstlichen Rohholzpotenzials beruht auf dem klassisch forstlichen Nachhaltigkeitsverständnis, dass jährlich nur so viel genutzt werden darf, wie nachwächst. Diese Nachhaltigkeitsdefinition stellt sicher, dass selbst bei vollständiger Nutzung des Potenzials kein Vorratsabbau bzw. langfristig keine Übernutzung stattfinden würde.

Rohholzproduktion und -verbrauch für das Jahr 2020 werden für die 46 weltweit bedeutendsten Rohholz produzierenden und konsumierenden Länder abgeschätzt. Die Berechnungen beruhen auf der Verknüpfung von Zeitreihen zu Produktions- und Verbrauchsmengen mit der Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts und der Bevölkerung in den betrachteten Ländern. Durch anschließende Saldierung von Potenzial mit Produktion/Verbrauch lassen sich unter den betrachteten 46 Ländern die potenziellen Rohholzexporteure und -importeure identifizieren und Aussagen über Ausmaß und Richtung der Rohholzhandelsströme im Jahr 2020 machen. Die Saldierung dient auch dazu, eine Aussage darüber treffen zu können, ob das nachhaltig nutzbare Rohholzpotenzial unter den zugrunde gelegten Annahmen im Jahr 2020 ausreicht, den geschätzten Rohholzverbrauch der 46 betrachteten Länder zu befriedigen. Abschließend wird das technische Energieholzpotenzial bestimmt und dem Energieholzverbrauch gegenübergestellt.

### 6.2.3 Szenarien

Die im Rahmen dieses Projektes durchgeführte Abschätzung des zukünftigen globalen forstwirtschaftlichen Biomassepotenzials bzw. Energieholzpotenzials hat nicht zum Ziel, exakte Mengen für das Jahr 2020 vorherzusagen. Dies ist aufgrund der vielen unvorhersehbaren Ereignisse, die das Rohholzpotenzial beeinflussen können, unmöglich. In drei unterschiedlichen Szenarien soll vielmehr ein Eindruck davon vermittelt werden, wie groß das Energieholzpotenzial im Jahr 2020 wäre, wenn sich Wald- und Plantagenfläche, jährlicher Nettozuwachs, Rohholzproduktion und

-verbrauch bis zum Jahr 2020 entsprechend der skizzierten Annahmen entwickeln würden. Eine detaillierte Erläuterung zu den Szenarienannahmen findet sich in Abschn. 4.1.

## 6.2.4 Ergebnisse

### Wirtschaftswald- und Plantagenfläche im Jahr 2020

Betrachtet man die Entwicklung der globalen Wirtschaftswaldfläche im „Business As Usual“ Szenario (BAU), also dem Szenario, das die Entwicklung zwischen 1990 und 2005 bis ins Jahr 2020 fortschreibt, so müsste weltweit mit einem Rückgang von etwa 310 Mio. ha auf dann etwa 3,1 Mrd. ha Wirtschaftswaldfläche gerechnet werden (s. Abb. 20). Der stärkste Rückgang wäre in Südostasien, besonders in Indonesien, sowie Südamerika und hier in Brasilien aber auch in Afrika zu verzeichnen. Grund hierfür ist die unvermindert anhaltende Umwandlung von Primärwald in landwirtschaftliche Nutzfläche oder Forstplantagen. In den anderen Kontinenten sowie EU-27-Ländern wäre hingegen ein vergleichsweise geringer Rückgang zu verzeichnen. Die größten Waldflächen befänden sich auch im Jahr 2020 in Russland, Brasilien und Kanada. Da die im Szenario „Bioenergie“ (B) getroffenen Annahmen sich nur auf die Plantagenflächen auswirken, bleibt in diesem Szenario die Wirtschaftswaldfläche im Vergleich zum BAU-Szenario unverändert.

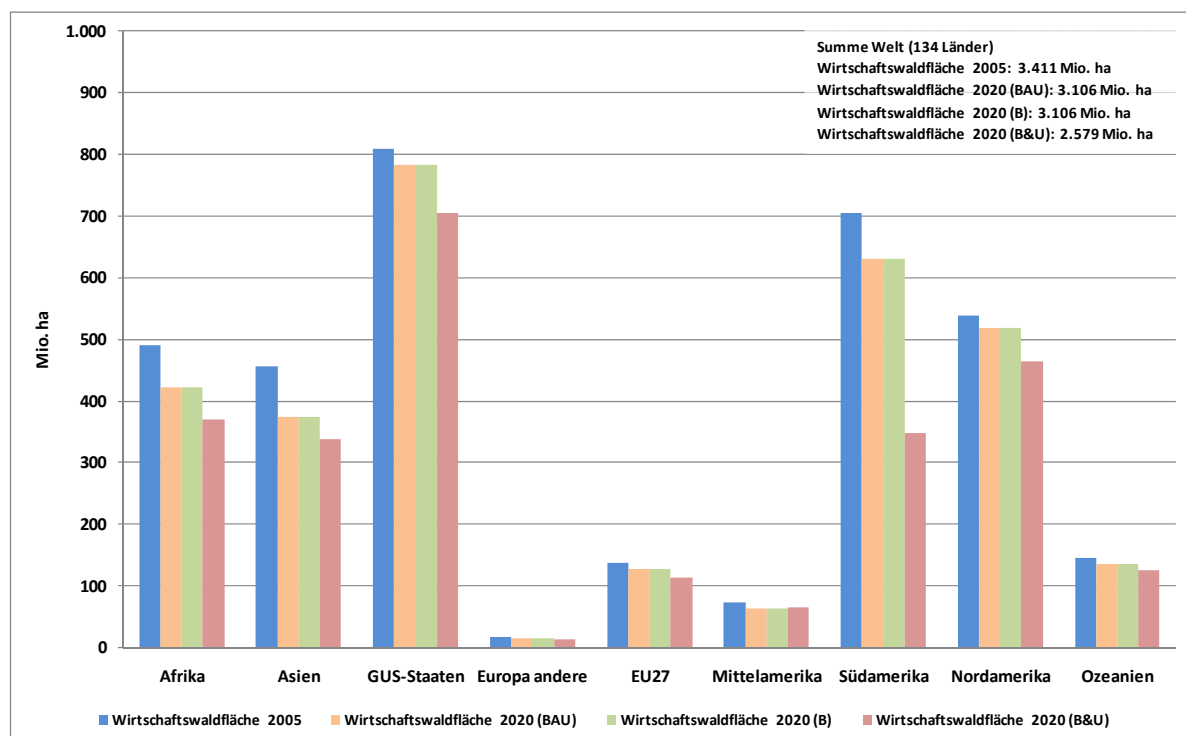


Abb. 20: Entwicklung der Wirtschaftswaldfläche in den unterschiedlichen Szenarien im Zeitraum 2005 – 2020 (Quelle: vTI nach /36/)

Legt man die Annahmen des Szenarios „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen (B&U)“ zugrunde, wäre der Rückgang der Wirtschaftswaldfläche noch sehr viel deutlicher als im Szenario „BAU“ und „B“. Im Vergleich zum Jahr 2005 würde die Fläche um rund 810 Mio. ha auf dann rund 2,6 Mrd. ha abnehmen. Allerdings wäre dies auf die im Szenario „B&U“ definierte großflächige Unterschutzstellung von 50 % der Primärwälder in den Tropen sowie 10 % des Wirtschaftswaldes der gemäßigten und borealen Zone zurückzuführen und nicht nur auf Waldumwandlung. Wie Abb. 20 zeigt, wäre der Rückgang der Wirtschaftswaldfläche daher in Ländern oder

Ländergruppen mit hohem Anteil an Primärwäldern wie Südamerika, Asien und Afrika besonders groß. In Nordamerika und Europa, wo nur 10 % der Wirtschaftswaldfläche unter Schutz gestellt wären, würde weit weniger Fläche aus der Produktion gehen.

Die Entwicklung der globalen Forst- und Kurzumtriebsplantagenfläche verläuft umgekehrt zur Entwicklung der Wirtschaftswaldfläche. Sie würde im „BAU“-Szenario bis zum Jahr 2020 um weltweit etwa 35 Mio. ha auf 174 Mio. ha ansteigen (siehe Abb. 20). Vor allen Dingen in Asien, wo die Forstplantagenfläche bereits am höchsten ist, wäre eine starke Zunahme zu erwarten. Allein in China würden bis zum Jahr 2020 mehr als 44 Mio. ha Forstplantagen entstehen. Weniger stark aber immer noch deutlich wäre die Zunahme in Europa und Nordamerika. In Afrika und Südamerika wäre sie dagegen vergleichsweise gering. Betrachtet man die absolute Plantagenfläche, dann wären neben China Russland und die USA die Länder mit den größten Forstplantagenflächen.

Noch stärker ausgeprägt wäre die Zunahme der Plantagenfläche, wenn die Annahmen des Szenarios „Bioenergie“ (B) eintreten würden. Die zusätzlich für den Anbau von Forst- oder Kurzumtriebsplantagen zur Verfügung stehende nicht mehr für die Nahrungsmittelproduktion benötigte landwirtschaftliche Fläche würde dazu führen, dass die globale Plantagenfläche bis zum Jahr 2020 um etwas mehr als 100 Mio. ha zunehmen würde (siehe Abb. 21). Davon wären 65,5 Mio. ha ehemals für die Nahrungsmittelproduktion genutzte Flächen. Allein in Russland, den USA und Brasilien würden mehr als 34 Mio. ha dieser Flächen mit Forstplantagen bestockt werden können.

Aufgrund der erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen werden im „B&U“-Szenario wesentlich weniger landwirtschaftliche Flächen für Non-Food-Verwendungen frei. Nur rund 765.000 ha ehemals für die Lebensmittelproduktion genutzte Fläche wäre zusätzlich mit Forst- oder Kurzumtriebsplantagen bestockt. Im Vergleich zum „BAU“-Szenario wäre die Plantagenfläche daher nur um diesen Anteil größer.

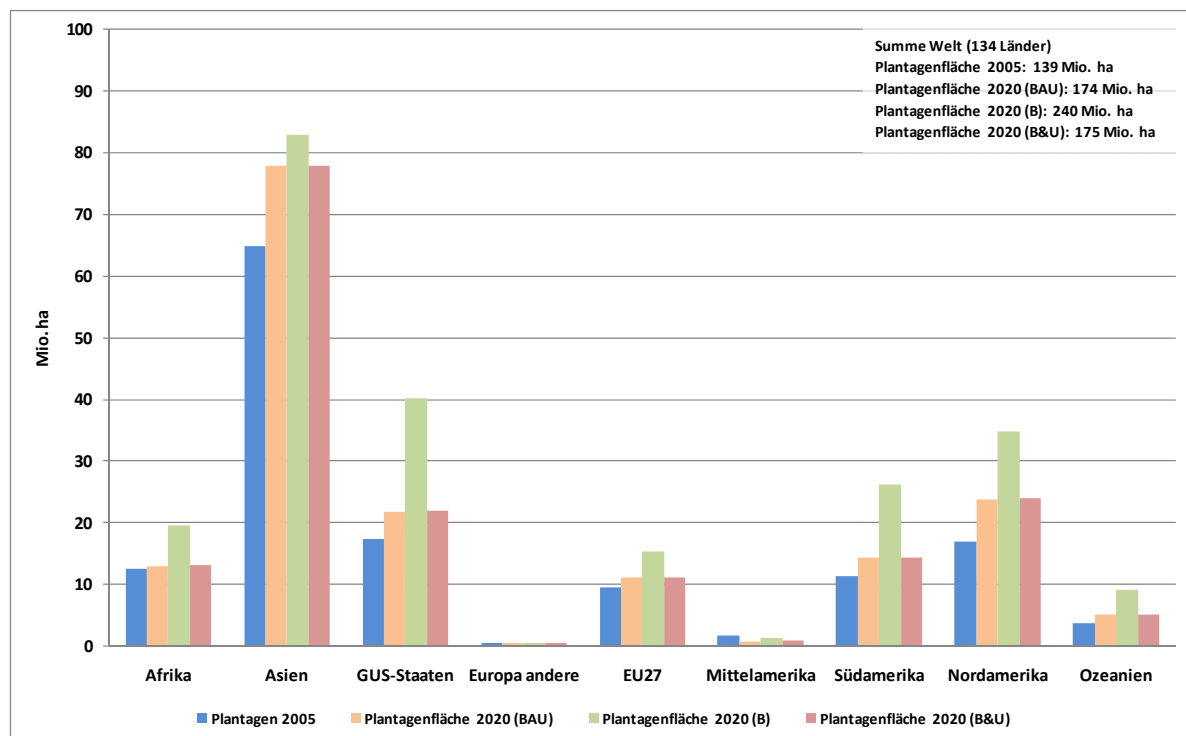


Abb. 21: Entwicklung der Forst- und Kurzumtriebsplantagenfläche in den unterschiedlichen Szenarien im Zeitraum 2005 - 2020 in Mio. ha (Quelle: vTI nach /36/)

**Rohholzpotenzial aus Wald und Plantagen im Jahr 2020**

Addiert man das nachhaltig nutzbare Rohholzpotenzial aus Wäldern und Plantagen, so ergibt sich für das Jahr 2020 folgendes Bild. Im „Business As Usual“-Szenario könnten 2020 rund 3,5 Mrd.  $t_{atro}$  Rohholz nachhaltig genutzt werden. Rund zwei Drittel des Potenzials käme aus Wäldern und ein Drittel aus Plantagen (vgl. Abb. 22). Die größten Potenziale fänden sich in Nordamerika, den GUS-Staaten und Südamerika. Aufgrund der starken Zunahme von Forstplantagen in China wäre in Asien das Potenzial aus Plantagen im Jahr 2020 größer als das aus dem Wald.

Im Szenario „Bioenergie“ hätte das nachhaltig nutzbare Rohholzpotenzial einen Umfang von rund 4,2 Mrd.  $t_{atro}$ . Es wäre damit etwa 700 Mio.  $t_{atro}$  höher als im „BAU“-Szenario (vgl. Abb. 22). Der Zuwachs des Potenzials resultiert ausschließlich aus Forst- und Kurzumtriebsplantagen, die auf nicht mehr für die Lebensmittelproduktion benötigten landwirtschaftlichen Flächen stocken würden. In Asien, Südamerika und Ozeanien würde mehr als 50 % des Rohholzpotenzials aus Forstplantagen stammen. Aufgrund der im Vergleich zum Wald hohen Erträge, die mehr als 20  $t_{atro}$  pro Hektar und Jahr erreichen können, würden diese 700 Mio.  $t_{atro}$  auf vergleichsweise kleiner Fläche von 65,5 Mio. ha erzeugt. Theoretisch könnte man demnach mit intensiv bewirtschafteten Forstplantagen auf nur wenig mehr als 10 % der globalen Wirtschaftswaldfläche die gleiche Rohholzmenge erzeugen.

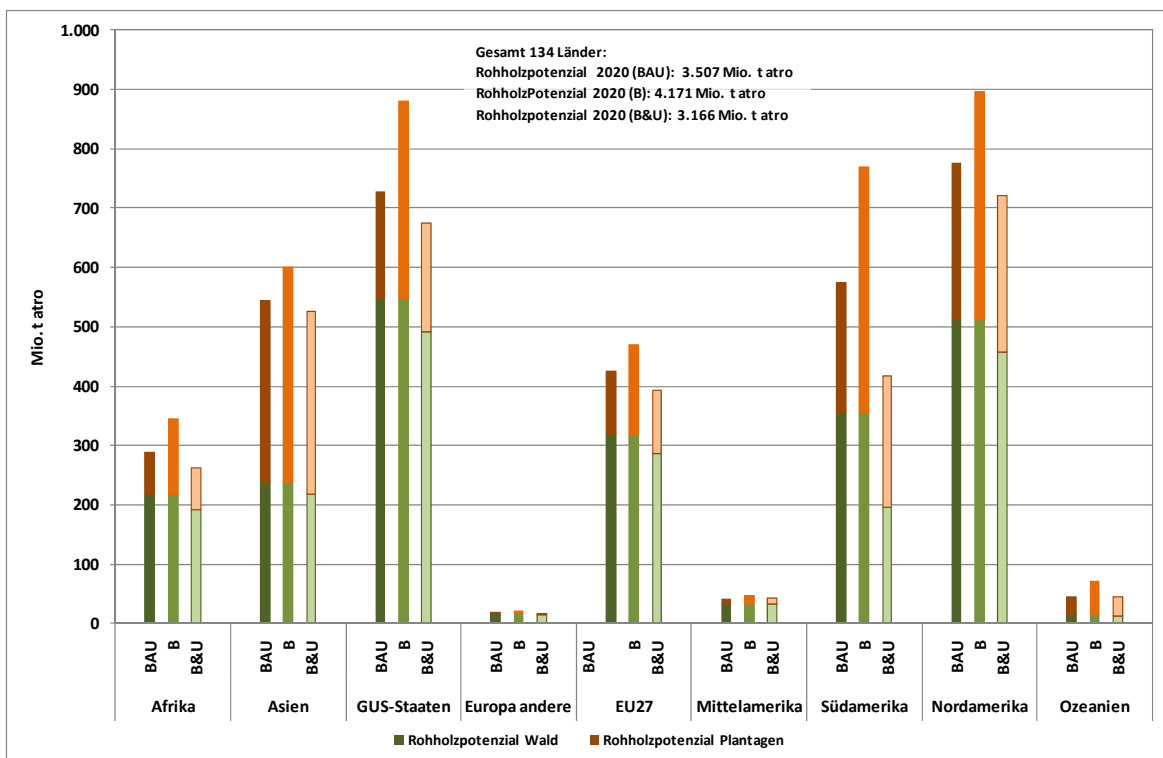


Abb. 22: Nachhaltig nutzbares globales Rohholzpotenzial für die drei Szenarien „BAU“, „B“ und „B&U“ im Jahr 2020 (Quelle: vTI nach /36/)

Das das nachhaltig nutzbare Rohholzpotenzial im Szenario „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ trotz Unterschützstellung von 50 % des tropischen Primärwaldes und 10 % des Wirtschaftswaldes in der borealen und gemäßigten Zone im Vergleich zum „BAU“-Szenario nur um 300 Mio.  $t_{atro}$  niedriger wäre, ist mit der geringen Produktivität der tropischen und borealen Primärwälder zu erklären, die im Durchschnitt nur zwischen 0,5 und 1  $t_{atro}$  pro Hektar und Jahr beträgt. Trotz der verhältnismäßig großen unter Schutz gestellten Waldfläche würde das Po-

tenzial deshalb nur vergleichsweise geringfügig sinken (siehe Abb. 22). Allerdings wäre dies nur der Fall, wenn Primärwald tatsächlich nachhaltig genutzt und nicht umgewandelt würde. Dass der Anbau von Forstplantagen auf nicht mehr für die Lebensmittelproduktion benötigten Flächen geeignet wäre, das verringerte Potenzial bei ausgedehnter Unterschutzstellung von Primärwald auf vergleichsweise kleiner Fläche zu kompensieren, zeigen die Ergebnisse des „Bioenergie“-Szenario.

### Rohholzproduktion und –verbrauch im Jahr 2020

Die Ergebnisse der Abschätzung von Rohholzproduktion und -verbrauch für das Jahr 2020 lassen für die in Tab. 12 teilweise aufgeführten 46 Länder in der Summe eine Produktion von Rohholz in Höhe von 1,6 Mrd.  $t_{\text{atro}}$  erwarten. Davon entfielen rund 920 Mio.  $t_{\text{atro}}$  auf Rundholz für die stoffliche und 680 Mio.  $t_{\text{atro}}$  auf Energieholz für die energetische Nutzung. Im Vergleich zum Jahr 2005 wäre dies eine Steigerung von 227 Mio.  $t_{\text{atro}}$ . Der Rohholzverbrauch im Jahr 2020 läge nur gut 20 Mio.  $t_{\text{atro}}$  unter dem Wert der Produktion bei ebenfalls knapp 1,6 Mrd.  $t_{\text{atro}}$ . Rund 900 Mio.  $t_{\text{atro}}$  davon würden als Rundholz stofflich verbraucht und 680 Mio.  $t_{\text{atro}}$  energetisch als Energieholz. Der weltweite Bedarf an Rohholz - nichts anderes ist der Verbrauch - könnte im Jahr 2020 vollständig durch die produzierte Rohholzmenge gedeckt werden. Der Verbrauch würde damit im Vergleich zum Jahr 2005 um gut 200 Mio.  $t_{\text{atro}}$  höher liegen.

Tab. 12 Liste der waldreichsten Länder und/oder größten Produzenten/Konsumenten von Rohholz (Quelle: vTI)

Ländergruppe/Kontinent	Ausgewählte Länder
Asien:	China, Indien, Indonesien, Japan, Malaysia
Afrika:	Äthiopien, Dem. Rep. Kongo, Nigeria, Südafrika
Europa:	EU-27, Norwegen, Russland, Schweiz
Nordamerika:	Kanada, USA
Südamerika:	Argentinien, Brasilien, Chile
Ozeanien:	Australien, Neuseeland

In Abb. 23 sind die Produktions- und Verbrauchswerte der betrachteten 46 Länder für die Jahre 2005 und 2020 gegliedert nach Kontinenten bzw. Ländergruppen dargestellt. Es zeigt sich, dass auf Grundlage der für die Schätzung angenommenen Entwicklungen die betrachteten europäischen Länder den stärksten Zuwachs an Produktion und Verbrauch zu verzeichnen hätten. Die Produktion stiege hier von 327 Mio.  $t_{\text{atro}}$  im Jahr 2005 auf 469 Mio.  $t_{\text{atro}}$ . Dies entspricht einer Steigerung um über 43 %. Etwas geringer wäre der Anstieg beim Verbrauch. Die Steigerung läge hier bei etwa 32 % von 317 Mio.  $t_{\text{atro}}$  auf 417 Mio.  $t_{\text{atro}}$ . Die größten Anstiege wären hauptsächlich in Russland, in geringerem Maße in Deutschland, Schweden und Polen zu verzeichnen. Dies würde im Vergleich zur Entwicklung in anderen Ländern oder Ländergruppen auf dem gleichzeitigen Anstieg von Produktion und Verbrauch sowohl von Rund- als auch Energieholz beruhen. Rohholzproduktion und -verbrauch der fünf asiatischen Länder stiegen um 11 % bzw. 15 % und lägen mit Werten von 433 Mio.  $t_{\text{atro}}$  bzw. 469 Mio.  $t_{\text{atro}}$  auf vergleichbarem Niveau wie die europäischen Länder. Relativ konstant in diesem Zeitraum wären Produktion und Verbrauch der beiden nordamerikanischen Staaten. Produktion und Verbrauch erreichten 330 Mio.  $t_{\text{atro}}$ . Für die drei südamerikanischen Länder würde die Produktion von Rohholz in 2020 169 Mio.  $t_{\text{atro}}$  betragen, ein Anstieg von etwa 11 %. Der Verbrauch würde sich etwas stärker um 14 % auf 172 Mio.  $t_{\text{atro}}$  erhöhen. Eine Steigerung von jeweils 20 % wäre bei den fünf afrikanischen Ländern zu verzeichnen. Produktion



und Verbrauch würden jeweils etwa 165 Mio.  $t_{atro}$  betragen. Geringe Rückgänge wären für die beiden Länder Ozeaniens zu verzeichnen. Die Produktion würde sich bis 2020 um 1 % auf 25 Mio.  $t_{atro}$  reduzieren. Der Verbrauch sänke etwas stärker um 7 % auf 21 Mio.  $t_{atro}$ .

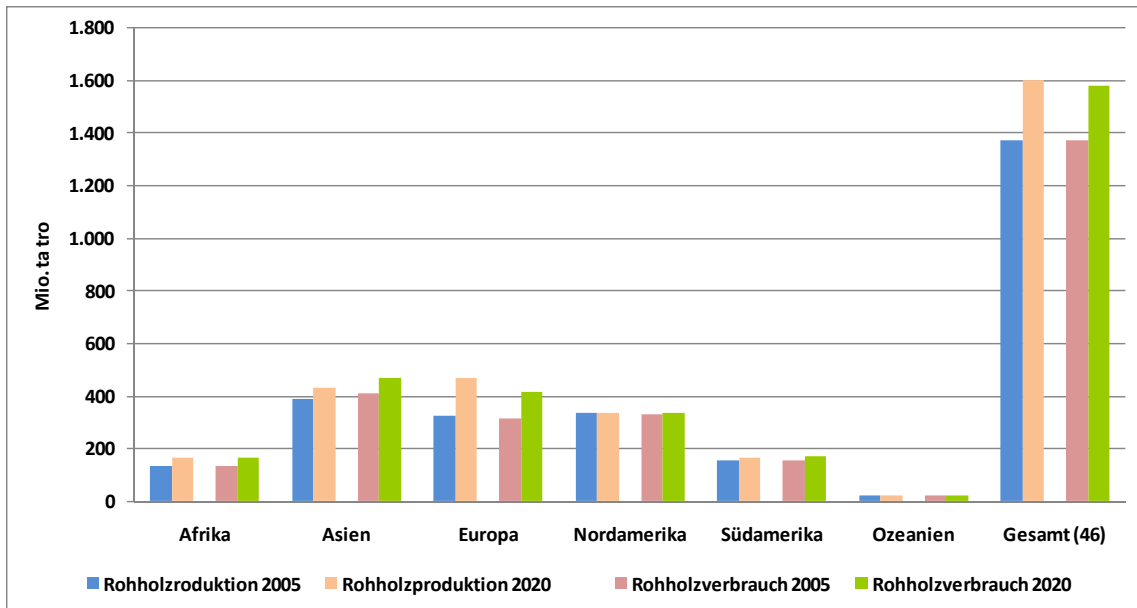


Abb. 23 Produktion und Verbrauch von Rohholz der 46 ausgewählten Länder 2005 und 2020 (Quelle: vTI nach /54/55/)

### Technisches Energieholzpotenzial im Jahr 2020

Das technische Energieholzpotenzial, das sich aus der Differenz von Rohholzpotenzial und Verbrauch stofflich genutzten Rundholzes errechnet, würde sich für die betrachteten 46 Länder wie folgt darstellen (vgl. Abb. 24).

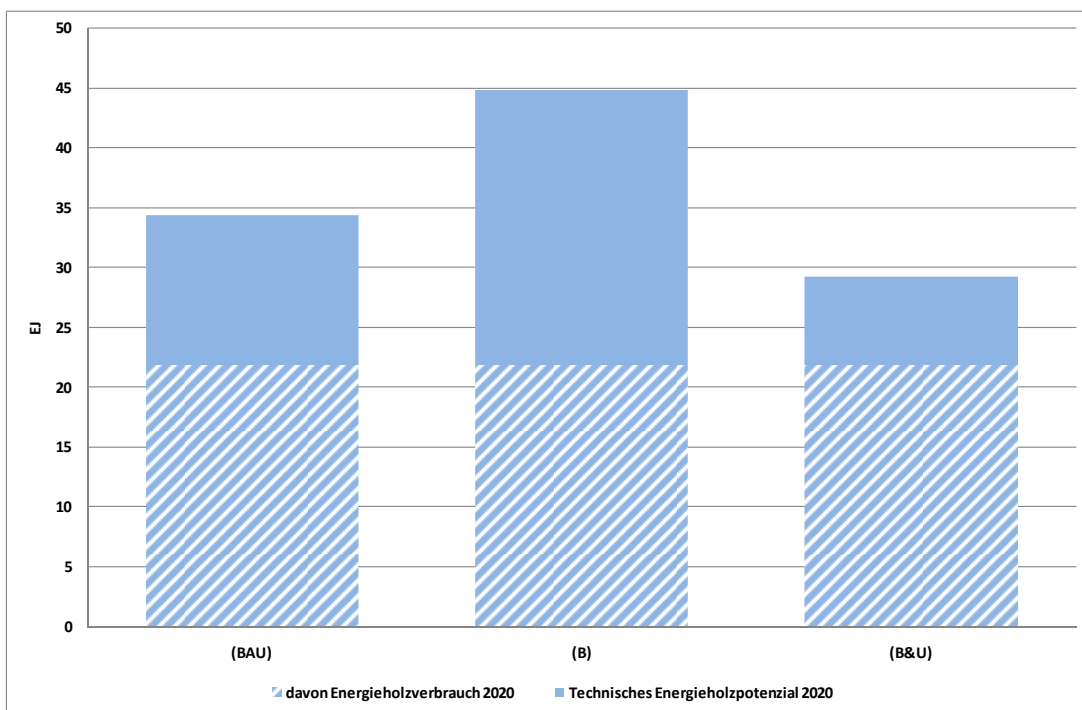


Abb. 24: Technisches Energieholzpotenzial der 46 ausgewählten Länder in 2020 (Quelle: vTI)

Im „Business As Usual“-Szenario errechnet sich für das Jahr 2020 in den 46 betrachteten Ländern ein technisches Energieholzpotenzial von insgesamt rund 34 EJ. Damit könnte der für das Jahr 2020 abgeschätzte Energieholzverbrauch in Höhe von rund 22 EJ vollständig gedeckt werden. 12 EJ wären ungenutzt und ständen zusätzlich für eine energetische Nutzung zur Verfügung. Im „Bioenergie“-Szenario wäre das technische Energieholzpotenzial hingegen um rund 10 EJ höher und erreicht fast 45 EJ. Ursache hierfür wäre das große ungenutzte Rohholzpotenzial aus Plantagen, das zusätzlich energetisch genutzt werden könnte. Deshalb könnten im Vergleich zum „Business As Usual“-Szenario rund 22 EJ zusätzlich zum abgeschätzten Energieholzverbrauch energetisch genutzt werden. Wie Abb. 25 zeigt, wären die größten technischen Energieholzpotenziale in Russland (ca. 13.790 PJ/a), den USA (ca. 8.980 PJ/a) und Brasilien (ca. 7.900 PJ/a) zu finden. Im Szenario „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ wäre das technische Energieholzpotenzial aufgrund der angenommenen Umwelt- und Naturschutzrestriktionen mit rund 29 EJ am geringsten.

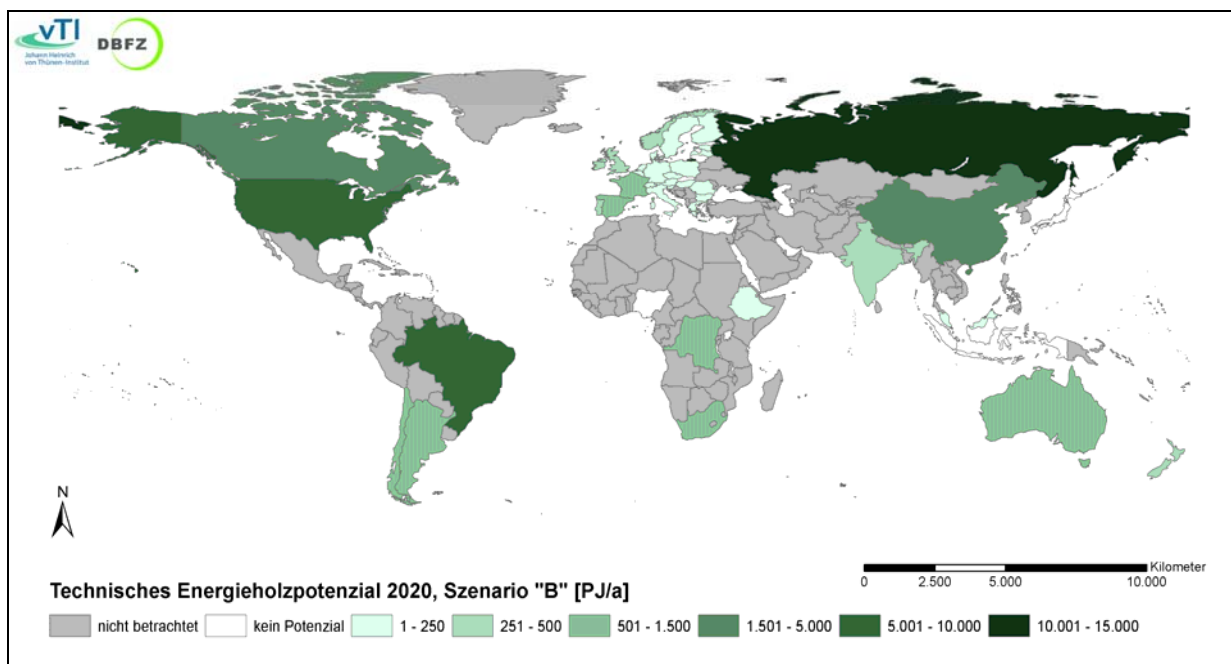


Abb. 25: Technische Energieholzpotenziale im Szenario „Bioenergie“ der 46 ausgewählten Länder im Jahr 2020 (Quelle: vTI, DBFZ)

Wenn man annimmt, dass die betrachteten 46 Länder 80 % des globalen technischen Energieholzpotenzials abdecken würden, dann läge das globale technische Energieholzpotenzial im „Business As Usual“-Szenario bei rund 43 EJ, im „Bioenergie“-Szenario bei rund 57 EJ und im Szenario „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ bei rund 36 EJ.

### 6.2.5 Diskussion und Zusammenfassung

Die Ergebnisse der hier angewendeten Methode zur Abschätzung von Rohholzpotenzial, -produktion, -verbrauch und technischem Energieholzpotenzial beruhen auf groben Abschätzungen und Annahmen. Sie sind deshalb so grob, weil es mit immensem Aufwand verbunden wäre, für alle betrachteten Länder die Faktoren zu identifizieren und quantifizieren, die das Rohholzpotenzial beeinflussen. Gleichmaßen wäre es mit großem Aufwand verbunden, für alle Länder differenzierte Angaben über den Nettozuwachs der unterschiedlichen Waldtypen der betrachteten Länder zu ermitteln. Andere Potenzial beeinflussende Faktoren, wie Entwicklung von Infrastruktur oder

Technologie werden nicht explizit berücksichtigt, liegen aber implizit der bis zum Jahr 2020 unterstellten Entwicklung von Verbrauch und Produktion von Rund- und Energieholz zugrunde. Wie stark deren Einfluss auf die Produktion und den Verbrauch ist, lässt sich auch nur unzureichend erfassen. Aufgrund all dessen sollte die Interpretation des für 2020 ermittelten Roh- und Energieholzpotenzials daher immer im Bewusstsein dieser Restriktionen erfolgen.

Die nur schwer einzuschätzende Datenqualität und die Datenlücken sind ein weiterer wesentlicher Schwachpunkt dieser und anderer Potenzialabschätzungen. Dies gilt besonders für die Angaben zu Produktion und Verbrauch von Energieholz. Die Angaben auch in den hier verwendeten Statistiken beruhen in vielen Fällen auf Schätzungen oder Datenerhebungen, die die Realität nur ungenau und/oder teilweise abbilden. Da Energieholz nur zu einem geringen Prozentsatz ein Handelsgut ist und regional vermarktet sowie für den Eigenbedarf produziert wird, liegen die in Statistiken erfassten Mengen deutlich unter dem tatsächlichen Verbrauch. Obwohl in den zurückliegenden Jahren von der UN Wirtschaftskommission für Europa (UNECE) /122/ große Anstrengungen unternommen wurden, die Datenbasis zu verbessern, sind für eine bessere Abschätzung der zukünftigen Potenziale längere und Zeitreihen mit verlässlicheren Angaben zu Produktion und Verbrauch erforderlich. Gleiches gilt auch für die Erfassung des Holzeinschlages. Dieser wird in amtlichen Statistiken oft unterschätzt. Um die Ergebnisse von Potenzialabschätzungen in Zukunft verlässlicher zu machen, gilt es daher die Datenerfassung zu verbessern und weltweit zu harmonisieren.

Ob, wie oft angenommen wird, mit einem Marktmodell, d. h., einem auf Preis-, Angebots-, und Nachfrageelastizitäten sowie zusätzlichen Parametern beruhenden Modell, genauere Ergebnisse erzielt würden, kann durchaus bezweifelt werden, denn auch ein solches Marktmodell beruht zwangsläufig auf der bestehenden unbefriedigenden Datenbasis. Zudem sind die komplexen Mechanismen, die Angebot und Nachfrage von Rohholz und speziell Energieholz bestimmen, auch mit einem Marktmodell nur ansatzweise zu erfassen. Dies gilt auch für unvorhersehbare Ereignisse (Naturkatastrophen, regionale und globale Wirtschaftskrisen), die das Rohholzpotenzial, Produktion, Verbrauch und Handel beeinflussen. Die Ergebnisse eines Marktmodells müssen daher mit ebenso großer Vorsicht und im Bewusstsein großer Ungenauigkeiten interpretiert werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die globale Wirtschaftswaldfläche aufgrund von Waldumwandlung in den Szenarien „Business As Usual“ und „Bioenergie“ bis zum Jahr 2020 um rund 300 Mio. ha verringern würde. Im Szenario „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ wäre die verfügbare Wirtschaftswaldfläche aufgrund der angenommenen Natur- und Umweltschutzrestriktionen um rund 900 Mio. ha geringer. Umgekehrt würde sich die globale Plantagenfläche entwickeln. Vor allem im Szenario „Bioenergie“ würde sich die Fläche auf 240 Mio. ha erhöhen und rund 100 Mio. ha größer sein als im Jahr 2005. Die Zunahme in den anderen beiden Szenarien auf rund 175 Mio. ha wäre deutlich geringer. Entsprechend wäre das Rohholzpotenzial im Szenario „Bioenergie“ mit 4,2 Mrd.  $t_{atro}$  am höchsten. In den Szenarien „Business As Usual“ und „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“ würde das Rohholzpotenzial im Jahr 2020 3,5 bzw. 3,2 Mrd.  $t_{atro}$  betragen. Es zeigt sich, dass auf vergleichsweise kleiner Fläche mit Forst- und Kurzumtriebsplantagen eine enorme Steigerung des Rohholzpotenzials möglich ist und durch Umwelt- und Naturschutzrestriktionen bedingte Potenzialvermindierungen durch Plantagen mehr als kompensiert werden könnten.

Das globale technische Energieholzpotenzial aus Wäldern und Plantagen im Jahr 2020 würde sich je nach Szenario zwischen 36 und 57 EJ bewegen.

Auch wenn die Gegenüberstellung von Rohholzpotenzial und -verbrauch der 46 betrachteten Länder insgesamt in keinem der Szenarien eine Rohholzknappeit für das Jahr 2020 befürchten lässt, sollte der Saldoüberschuss dennoch immer vor dem Hintergrund ökonomischer und ökologischer Restriktionen betrachtet werden. Diese führen vor allem in Russland, Nord- und Südamerika dazu, dass nur ein Teil des Potenzials mobilisierbar und zum Ausgleich regionaler Rohholzknappeit zur Verfügung stehen wird. D. h., regionale Knappeit von Rohholz wird nicht zwangsläufig durch zusätzliche Mobilisierung (Produktion) in der Region und/oder Import von Rohholz aus anderen Regionen und/oder effizientere stoffliche und energetische Nutzung von Rohholz ausgeglichen werden können, sondern bisweilen muss auch eine gleichzeitige Anpassung des regionalen Rohholzverbrauchs erfolgen.

Trotz aller Unzulänglichkeiten sind die Ergebnisse dieser Potenzialabschätzung geeignet, die globalen Potenziale zu lokalisieren sowie mögliche Entwicklungstrends und „hot spots“ zu identifizieren. Zudem bewegen sich die Ergebnisse dieser Studie im Rahmen anderer Potenzialabschätzungen.

### 6.3 Reststoffe

(DBFZ)

Bei der Betrachtung von Biomassepotenzialen zur energetischen Nutzung spielen neben den land- und forstwirtschaftlichen Potenzialen auch Potenziale aus Nebenprodukten, Rückständen und Abfällen eine große Rolle. Unter diesen sogenannten Reststoffen werden hier Stoffe organischer Herkunft verstanden, die bei der Herstellung eines bestimmten (Haupt-) Produktes aus organischen Stoffen anfallen und zur Bioenergiebereitstellung nutzbar sind. Derartige Biomassefraktionen kommen u. a. aus der Land- und Forstwirtschaft sowie der Industrie und dem Gewerbe. Zudem werden Siedlungsabfälle dazu gezählt, welche ebenfalls hohe Anteile an organischen Komponenten aufweisen können (siehe Abb. 26) /62/.

Für Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle existieren nur wenige globale Potenzialabschätzungen, die zum Teil mit hohen Unsicherheiten behaftet sind /50/, /62/, /110/, /130/. In diesem Projekt werden für 134 Länder die technischen Brennstoffpotenziale verschiedener Reststofffraktionen bestimmt sowie hinsichtlich der Potenzialentwicklung bis 2020 und ihrer Verfügbarkeit diskutiert. Bis auf den Siedlungsabfall hängen alle global anfallenden Reststoffe in starkem Maße von der Entwicklung der entsprechenden Industrien ab. Da diese Entwicklungen weltweit kaum vorhersehbar sind und zudem eine Studie des Öko-Instituts (2004) gezeigt hat, dass sich die Reststoffpotenziale in verschiedenen Szenarien nur wenig unterscheiden, wird in diesem Projekt auf die Berechnung verschiedener Szenarien verzichtet /84/.



Abb. 26: Untersuchungsgegenstand globale Reststoffe (Quelle: DBFZ)

### 6.3.1 Stroh

Als Stroh wird gemeinhin, der bei der landwirtschaftlichen Produktion z. B. von Getreide und Ölsaaten anfallende halmgutartige Ernterückstand bezeichnet. Da es keine FAO-Statistiken zum Strohanfall gibt, dienen als Datengrundlage die länder- und fruchtartspezifischen Produktionsmengen der untersuchten 134 Länder /38/. Aus diesen wird das Fünfjahresmittel (2003 – 2007) für die folgenden Fruchtarten gebildet: Getreide wie Weizen, Hafer, Mais und Reis, weiterhin Soja, Raps und Zuckerrohr /49/, /59/, /77/, /79/, /110/. Anschließend erfolgt die Berechnung des jährlich anfallenden Strohs unter Berücksichtigung eines regions- und fruchtartspezifischen Korn-Stroh-Verhältnisses /70/. Von dem anfallenden Stroh steht jedoch nur ein Teil für die energetische Nutzung zur Verfügung, da in der Landwirtschaft Stroh zur Erhaltung der Humusbilanz und für die Viehhaltung (Futtermittel, Einstreu) benötigt wird. In welchem Maße Stroh auf dem Acker bleiben sollte, hängt wesentlich von Standort, Fruchtfolge und Gabe sonstiger organischer Dünger ab. Eine länderspezifische Abschätzung konnte im Rahmen dieses Projektes nicht geleistet werden und sollte generell standortspezifisch sein. Aufgrund von Nachhaltigkeitsgesichtspunkten wird für die nachfolgenden Betrachtungen ein im Vergleich zu anderen Literaturstudien relativ konservativer Wert von 20 % für den energetisch nutzbaren Strohanteil angenommen /52/, /50/, /74/, /84/, /132/. Im letzten Schritt erfolgt über den durchschnittlichen unteren Heizwert die Berechnung des technischen Brennstoffpotenzials.

Abb. 27 zeigt die länderspezifischen Ergebnisse. Insgesamt stehen für die untersuchten 134 Länder jährlich rund 783 Mio.  $t_{\text{atro}}$  Stroh zur energetischen Nutzung zur Verfügung, wobei die größten Strohmengen beim Anbau von Mais, Zuckerrohr, Reis und Weizen anfallen. Für die untersuchten 134 Länder ergibt sich ein technisches Brennstoffpotenzial von 13.317 PJ/a, wobei China mit ca. 2.570 PJ/a das mit Abstand größte Potenzial aufweist, gefolgt von Indien, den USA und Brasilien.

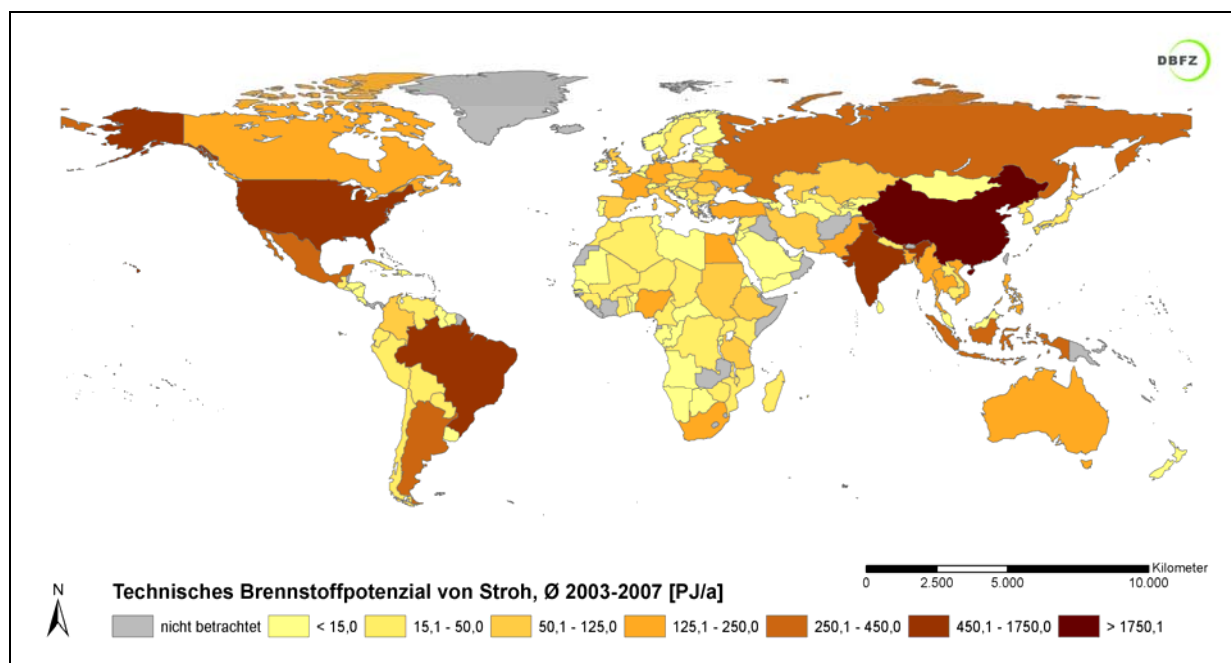


Abb. 27: Technisches Brennstoffpotenzial von Stroh, Ø 2003 - 2007 (Quelle: DBFZ)

Derzeit wird Stroh nur in geringen Mengen energetisch genutzt und wenn, dann vorwiegend in Form der thermischen Verwertung. Prinzipiell ist auch eine Nutzung in Biogasanlagen möglich. Zukünftig könnte Stroh als Rohstoff für Biokraftstoffe der 2. Generation dienen (z. B. Cellulose-



Bioethanol und synthetische Biokraftstoffe wie BtL und Biogas-SNG). Die Produktion dieser Kraftstoffe findet bisher weltweit nur in Versuchs- und Pilotanlagen statt /52/, /61/. Wann die Verfahren großtechnisch einsetzbar sind, ist zum heutigen Zeitpunkt nicht abschätzbar.

### 6.3.2 Exkremamente aus der Nutztierhaltung

In der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung fällt eine Menge an Exkrementen als Gülle oder Festmist und Jauche an, die derzeit - zur Rückführung der darin enthaltenen Nährstoffe - vorwiegend direkt als Wirtschaftsdünger auf landwirtschaftliche Nutzflächen ausgebracht werden /84/. Getrocknete Tierexkremamente wie z. B. Dung spielen jedoch bereits heute als Festbrennstoff weltweit und insbesondere in Asien eine bedeutende Rolle. Gülle und Mist enthalten einen hohen Anteil an Biomasse, der durch Vergärung energetisch genutzt werden kann, wobei die Nährstoffe anschließend weiterhin als Wirtschaftsdünger (Gärrest) zur Verfügung stehen.

Allerdings können aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht alle Exkremamente für die Biogaserzeugung genutzt werden, etwa bei Weidehaltung oder bei kleinen Beständen. Daher gingen in die Berechnungen nur Rinder, Schweine und Hühner als relevante Tierbestände ein /106/. Grundlage der Berechnungen ist das länderspezifische Fünfjahresmittel (2003 - 2007) der FAO-Tierbestandszahlen /39/. Die FAO-Statistik untergliedert dabei z. B. bei Rindern nicht in Mastrind, Milch- und Mutterkuh oder Kalb. Mit Hilfe von regionsspezifischen Faktoren erfolgte die Umrechnung in Großvieheinheiten (GVE). Da es keine weltweiten Erhebungen zu länderspezifischen Haltungsformen gibt, wurde der Anteil der Stallhaltung regionsbezogen basierend auf einer FAO-Studie zu „landless production“ in der Viehhaltung abgeschätzt /106/. Als weitere Parameter wurden der spezifische Gülleanfall pro GVE und Tierart und der durchschnittliche Biogasertrag der Exkremamente einbezogen. In Abb. 28 sind die Ergebnisse länderspezifisch dargestellt.

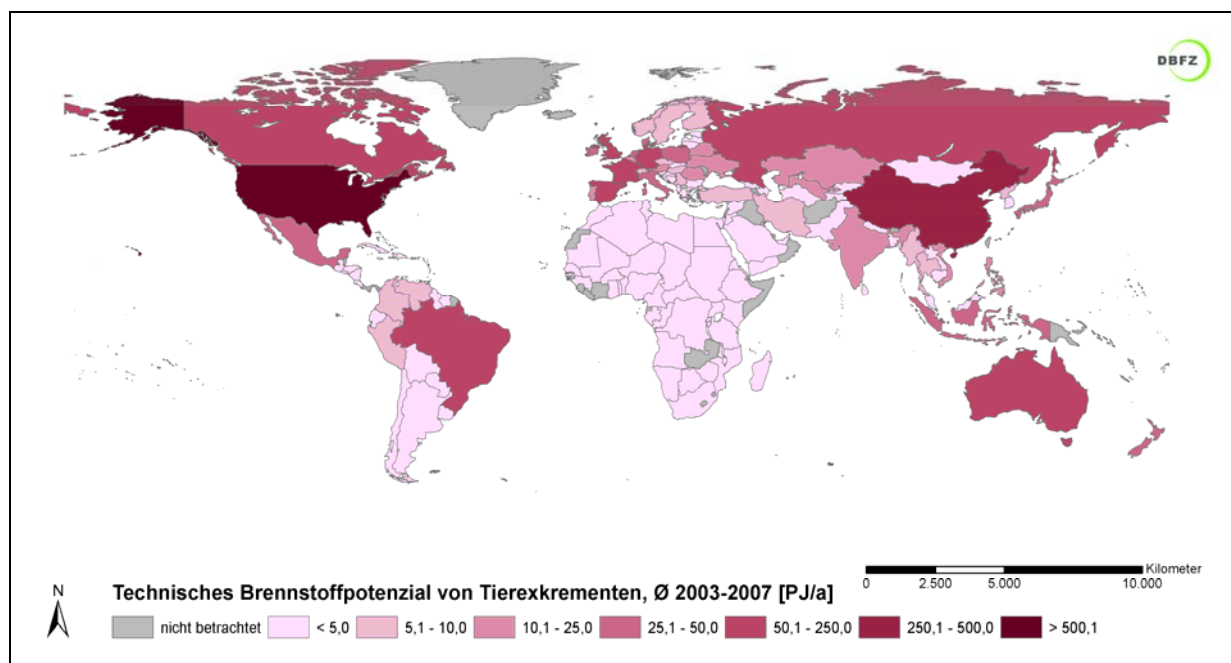


Abb. 28: Technisches Brennstoffpotenzial von Tierexkrementen, Ø 2003 - 2007 (Quelle: DBFZ)

Für die untersuchten 134 Länder ergibt sich ein technisches Brennstoffpotenzial von rund 2.370 PJ/a, wobei die USA (ca. 600 PJ) und China (ca. 400 PJ) die größten Potenziale aufweisen. Weiterhin haben Europa, Australien und Brasilien bedeutende Brennstoffpotenziale. Innerhalb

Europas haben Frankreich, Deutschland, Spanien, Russland und das Vereinigte Königreich (56 – 109 PJ) die größten Brennstoffpotenziale. Während in Europa und Nordamerika die größten Potenziale aus der Rinderhaltung stammen, dominieren in Asien und Südamerika die Potenziale aus der Schweine- und Hühnerhaltung. Ozeanien hat fast ausschließlich Brennstoffpotenziale aus der Rinderhaltung. Afrika hat aufgrund der überwiegenden Freilandhaltung insgesamt ein vernachlässigbares Brennstoffpotenzial von Exkrementen.

Alles in allem zeigte sich, dass die Datenbasis zur weltweiten Viehhaltung sehr heterogen und lückenhaft ist. Das bedingt eine Reihe von Unschärfen, die durch teilweise erhebliche Streubreiten bei Angaben zu Gülleanfall, Biogasertrag usw. noch verstärkt werden. Die Ergebnisse zu den technischen Brennstoffpotenzialen aus Exkrementen der Nutztierhaltung sind daher nur als Näherungswerte zu interpretieren.

Am problematischsten sind dabei die fehlenden regionalisierten Daten zur Art der Bestände (z. B. Untergliederung von Rind in Mastrind, Milchkuh oder Kalb) und zur Halterungsart (Stallhaltung oder Freilandhaltung). Obwohl die FAO-Angaben zur „landless production“ eine Einschätzung der regionsbezogenen Halterungsform ermöglichen, sind sie doch nur ein mehr oder weniger grober Indikator und können durchaus auf Länderebene stark abweichen. Obwohl die Parameter Gülleanfall pro GVE und durchschnittlicher Biogasertrag selbst innerhalb einer Tierart stark variieren können, mussten diese Faktoren pauschal angenommen werden, was die Genauigkeit weiter einschränkt.

Zukünftig werden die Potenziale aus Exkrementen tendenziell zunehmen, da die Viehhaltung aufgrund der steigenden Bevölkerung und zunehmenden Fleisch- und Milchnachfrage voraussichtlich weiter ansteigen wird.

### 6.3.3 Waldrestholz

Die Abschätzung des technischen Brennstoffpotenzials von Waldrestholz erfolgt anhand der Abschätzungen zu den Rohholzproduktionsmengen in Abschn. 6.1, die für die weltweit 46 waldreichsten und/oder wichtigsten Rohholz produzierenden und -konsumierenden Länder durchgeführt wird. Wenngleich diese Auswahl nur ein Drittel der 134 Länder repräsentiert, wird ca. 80 % der globalen Rohholzproduktion und -verbrauch erfasst.

Das technische Brennstoffpotenzial von Waldrestholz berechnet sich aus den einzelnen Fraktionen Ernteverlust bei der Rohholzernte, Anteil des Kronen- und Astderbholzes und Anteil des Reisigs. Daher unterliegen die jeweiligen länderspezifischen Potenziale stark schwankenden Einflussfaktoren wie Baumartenzusammensetzung, Altersklassenverteilung und Zuwachs, welche besonders die Fraktionen Anteil des Kronen- und Astderbholz sowie Anteil des Reisigs bedingen. Als Faustzahl für die gemäßigten Breiten kann aber angenommen werden, dass knapp 30 % des Rohholzeinschlags o. R. das theoretische Brennstoffpotenzial von Waldrestholz eines Landes darstellen. Wiederum davon 50 % stehen als technisches Brennstoffpotenzial zur Verfügung. Diese Faustzahlen können für die sub- und tropischen Gebiete aber nur unter der Annahme angesetzt werden, dass Teile des Brennholzpotenzials dem hier als Waldrestholz klassifizierten zuzuordnen sind.

In Abb. 29 sind die länderspezifischen Ergebnisse zu Waldrestholz für 2005 dargestellt. In den 46 betrachteten Ländern fällt in 2005 insgesamt ein technisches Brennstoffpotenzial von rund 8.050 PJ/a an. Mit ca. 1.370 PJ hat die USA das größte jährliche Potenzial, gefolgt von Indien (ca. 970 PJ) und China (ca. 920 PJ). Die im Teil „globale forstwirtschaftliche Biomassepotenziale“ auch



für 2020 abgeschätzten Rohholzproduktionsmengen ergeben für 2020 ein technisches Brennstoffpotenzial von Waldrestholz von rund 9.380 PJ/a. Insbesondere für Russland verdoppelt sich das Potenzial von ca. 570 PJ/a in 2005 auf 1.110 PJ/a in 2020.

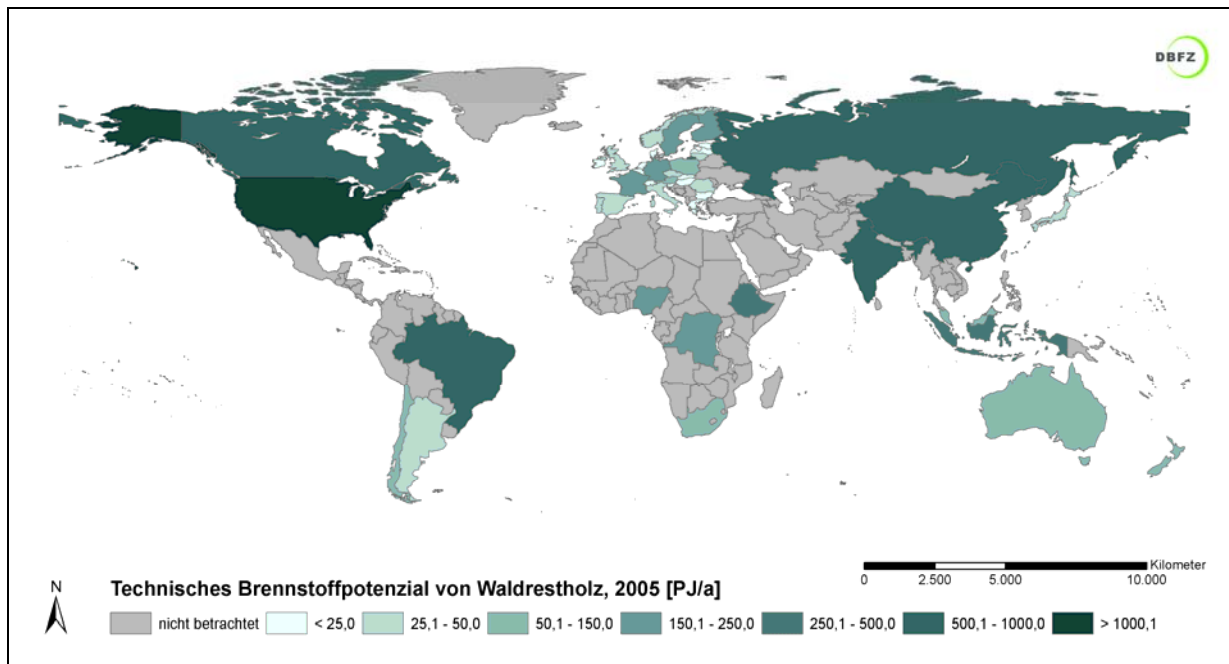


Abb. 29: Technisches Brennstoffpotenzial von Waldrestholz 2005 (Quelle: DBFZ)

Da die 46 Länder ca. 80 % der globalen Rohholzproduktion und des Rohholzverbrauches umfassen, ergibt sich global für 2005 ein Potenzial von etwa 10.730 PJ/a und für 2020 von ca. 12.490 PJ/a.

#### 6.3.4 Siedlungsabfall

Als Siedlungsabfall wird, ausgehend von der Definition des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), aller Abfall bezeichnet, der von den Gemeinden und/oder der lokalen Verwaltung gesammelt wird. Er beinhaltet üblicherweise den Abfall aus Haushalten und von öffentlichen Grünflächen sowie hausmüllähnliche Gewerbeabfälle /23/. Die Anteile des Siedlungsmülls, die sich energetisch nutzen lassen, sind in erster Linie Nahrungsmittelabfälle (bzw. „Bioabfall“) und gebrauchtes Holz.

Grundlage der Berechnungen sind die Bevölkerungsstatistiken der FAO /40/ und Daten zu Abfallaufkommen und -zusammensetzung des IPCC /23/. Aus den Bevölkerungsstatistiken wurde der Mittelwert der Jahre 2003 bis 2007 gebildet. Die IPCC-Daten für das Jahr 2000 zum durchschnittlichen Pro-Kopf-Aufkommen an Siedlungsabfall je Einwohner und Jahr liegen, wie auch die Angaben zu den Anteilen der energetisch nutzbaren Fraktionen des Abfalls, teils auf nationaler und teils auf Ebene der Subregion vor. Mittels dieser Daten wird das Aufkommen an Bioabfall und gebrauchtem Holz je Land berechnet und ein Erschließungsfaktor von 75 % angenommen /110/. Anschließend erfolgt über den Biogaserttrag bzw. den unteren Heizwert die Ermittlung der technischen Brennstoffpotenziale.

Abb. 30 zeigt die länderspezifischen Ergebnisse. Für die betrachteten 134 Länder ergibt sich insgesamt ein technisches Brennstoffpotenzial von Siedlungsabfall von etwa 2.820 PJ/a (Bioabfall ca. 1.160 PJ/a, gebrauchtes Holz ca. 1.660 PJ/a)

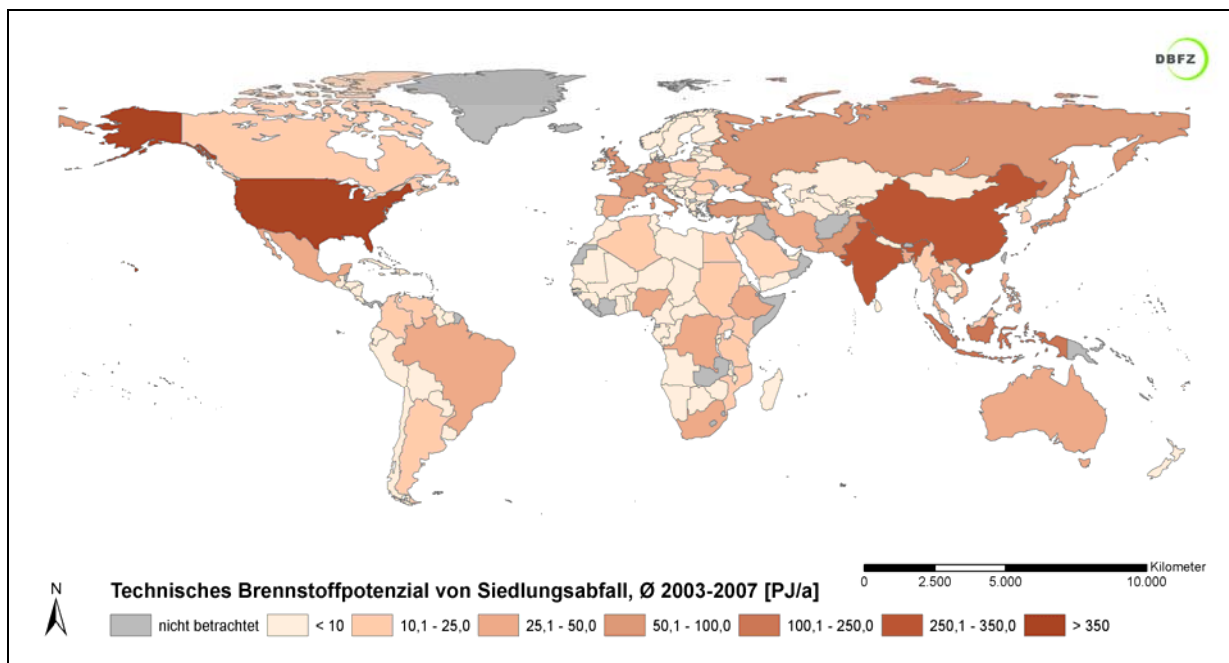


Abb. 30: Technisches Brennstoffpotenzial von Siedlungsabfall, Ø 2003 - 2007 (Quelle: DBFZ)

Wie in Abb. 30 dargestellt, sind die größten technischen Brennstoffpotenziale sowohl für Bioabfall als auch für gebrauchtes Holz in den USA, in China und in Indien zu erwarten. Die USA stehen, aufgrund ihrer sehr hohen Abfallerzeugungsrate von 1,14 t/EW\*a /23/, mit 445 PJ/a an erster Stelle. Innerhalb Europas fallen in Deutschland, Russland, Frankreich, Italien, Spanien und im Vereinigten Königreich die größten Brennstoffpotenziale an (48 – 86 PJ/a). Die größten Potenziale an Siedlungsabfall sind also zum einen in den bevölkerungsreichsten Ländern und Ländergruppen der Welt zu finden, zum anderen aber auch in den besonders industrialisierten Ländern.

Da Siedlungsmüllanfall und -zusammensetzung nicht homogen sind und sich regional, aber auch saisonal unterscheiden, sind die erhobenen Daten relativ ungenau /23/, /84/. Auch sind die Werte des IPCC nicht für jedes Land erhoben, sondern es wurde teilweise von bestimmten Beispielländern auf ganze Ländergruppen geschlossen. Aus diesen Gründen sind die berechneten Werte mit gewissen Ungenauigkeiten behaftet. Sie können aber als Anhaltspunkte für die regionale Verteilung der Potenziale dienen.

Ein großes Hindernis für die energetische Nutzung des Siedlungsabfalls ist, dass er zurzeit nur selten getrennt gesammelt wird und daher Bioabfälle und gebrauchtes Holz meist mit dem Restmüll vermengt sind. Eine Trennung ist bislang nur in (Mittel-)Europa weiter verbreitet /62/. In großen Teilen der Welt ist die Deponierung von biologisch abbaubarem Abfall gängige Praxis, während sie in der EU nur noch eingeschränkt möglich ist. Gerade in Ländern mit hohen Bevölkerungsdichten sind Deponien aufgrund ihres hohen Platzbedarfs und ihrer Emissionen häufig problematisch, so dass die energetische Nutzung des Siedlungsabfalls auch in dieser Hinsicht Vorteile bietet /7/. Bei der thermischen Verwertung des gebrauchten Holzes ist zu beachten, dass je nach Art und Grad der Behandlung (Lackierung, Holzschutzmittel, PCB etc.) schädliche Gase mit erheblichen Umweltauswirkungen entstehen können.

### 6.3.5 Industrierestholz

Industrierestholz ist der Überbegriff für unterschiedliche Holzreste, die in verschiedenen Zweigen der Holzbe- und -verarbeitenden Industrie anfallen. Zur Berechnung des technischen Brennstoffpotenzials von Industrierestholz wird der Durchschnitt der Jahre 2003 bis 2007 der FAO-Daten zu „miscellaneous wood residues“ genutzt. Diese Mengenangaben umfassen verschiedene Restholzarten aus der Industrie, zum Beispiel Reststoffe aus Sägewerken sowie Bretter, Kanten, Randabfälle, Furnierreste, Sägemehl, Rinden und sonstige Reststoffe aus Tischlereien und ähnlichen Betrieben /37/.

Problematisch ist hierbei, dass die FAO-Daten nicht für alle Länder verfügbar sind. So sind von den in diesem Projekt betrachteten 134 Ländern nur 64 in der FAO-Statistik zu „wood residues“ enthalten. Da aufgrund verschiedener Restriktionen nur ein bestimmter Anteil der Gesamtmenge gesammelt werden kann, wird ein Erschließungsfaktor von 75 % angenommen /58/, /109/, /132/.

Die Ergebnisse für die betrachteten 64 Länder sind in Abb. 31 graphisch dargestellt. Es wird deutlich, dass die Datenlage für Afrika, große Teile von Asien sowie Mittel- und Südamerika unzureichend ist. Für die 64 Länder, wo Daten vorliegen, ergibt sich insgesamt ein technisches Brennstoffpotenzial von etwa 700 PJ/a. China stellt mit jährlich 101 PJ das mit Abstand größte technische Brennstoffpotenzial aus Industrierestholz. Auch die beiden ostasiatischen Staaten Japan und Südkorea weisen vergleichsweise große Potenziale von bis zu 54 PJ im Jahr auf. Kanada steht mit rund 60 PJ/a an zweiter Stelle der Länder mit den größten Brennstoffpotenzialen. Innerhalb Europas, dessen Datenreihen fast vollständig verfügbar sind, fallen die größten Mengen industriellen Restholzes in Frankreich, Russland und Finnland an (48 – 53 PJ/a, vgl. Abb. 31).

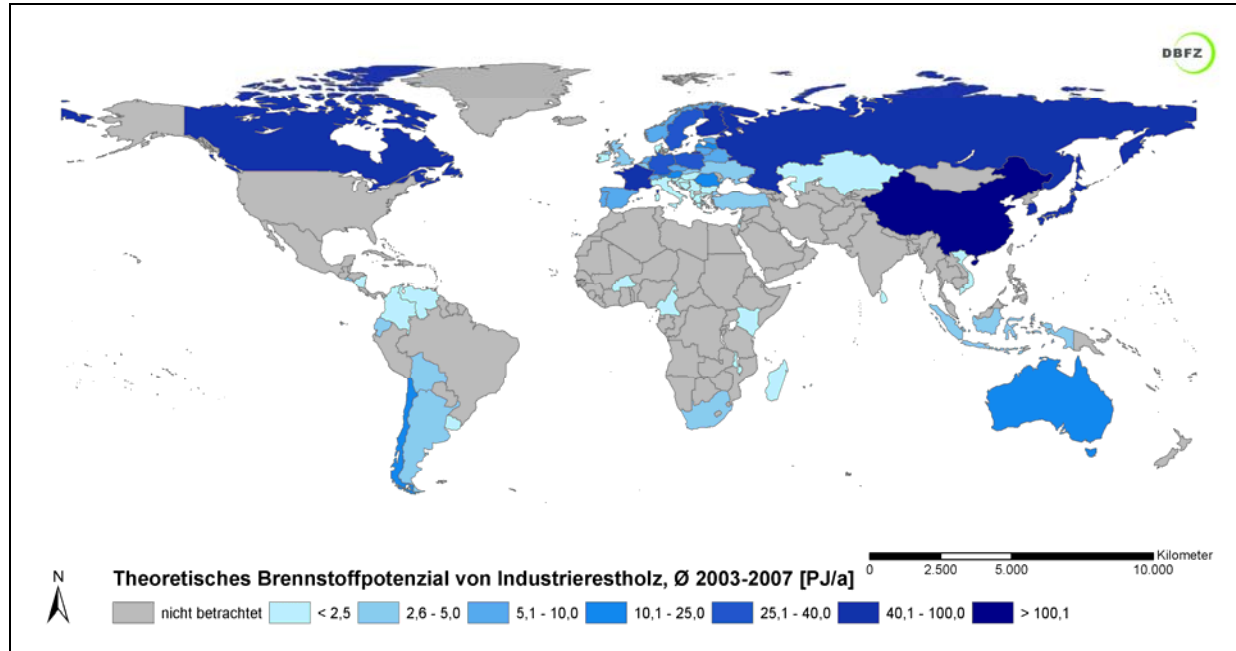


Abb. 31: Technisches Brennstoffpotenzial von Industrierestholz für 64 Länder, Ø 2003 - 2007 (Quelle: DBFZ).

In den hier analysierten FAO-Daten werden sehr unterschiedliche Holzfraktionen zusammengefasst. Daher können keine produkt- oder industriespezifischen Reststoffverhältnisse angewendet und auch keine detaillierten Abschätzungen über die stoffliche Nutzung vorgenommen werden. Die auf den FAO-Daten basierenden Berechnungen sind somit nur als grobe Richtwerte anzusehen.

Aufgrund der Unvollständigkeit der Daten kann keine vollständige Einschätzung des technischen Brennstoffpotenzials für alle 134 Länder vorgenommen werden.

Auch die zukünftige Entwicklung der Potenziale ist schwer abschätzbar, da die Produktion von Holzprodukten und damit der Reststoffanfall starken, kaum vorhersehbaren Schwankungen unterworfen ist. Zudem ist beim Industrierestholz zu beachten, dass es zu großen Teilen bereits stofflich verwertet wird. So geben Kaltschmitt et al. (2009) an, dass etwa zwei Drittel des in Deutschland anfallenden Industrierestholzes stofflich und nur ein Drittel energetisch genutzt werden /62/. Eine länderspezifische Abschätzung der stofflichen Nutzung konnte im Rahmen des Projektes nicht geleistet werden.

### 6.3.6 Produktionsspezifische Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle

In Industrie und Gewerbe fallen erhebliche Mengen an festen, pastösen und flüssigen produktionspezifischen Abfällen an. Es gibt jedoch keine weltweiten Erhebungen zum Anfall und zur Nutzung dieser Reststoffe. Selbst in Deutschland liegen diese Daten nur vereinzelt für bestimmte Fraktionen vor, oft in Form von Einzelfallbetrachtungen. Über Produkt-Reststoff-Verhältnisse kann das theoretische Brennstoffpotenzial bestimmter industrieller Substrate abgeschätzt werden, jedoch ohne Berücksichtigung von Nutzungskonkurrenzen. Das Aufkommen an produktionspezifischen organischen Abfällen ist vielfach durch hohe Nährstoff- und Wassergehalte charakterisiert. Daher wird ein Großteil dieser organischen Stoffe wie z. B. Presskuchen aus der Pflanzenölproduktion als Futtermittel verwertet und steht der energetischen Nutzung nicht bzw. nur sehr eingeschränkt zur Verfügung /62/. In diesem Projekt werden die folgenden Produktionsabfälle exemplarisch untersucht: Bagasse, der faserige Rückstand aus der Zuckerrohrverarbeitung, Reststoffe aus der Palmölproduktion und Kokosnussverarbeitung.

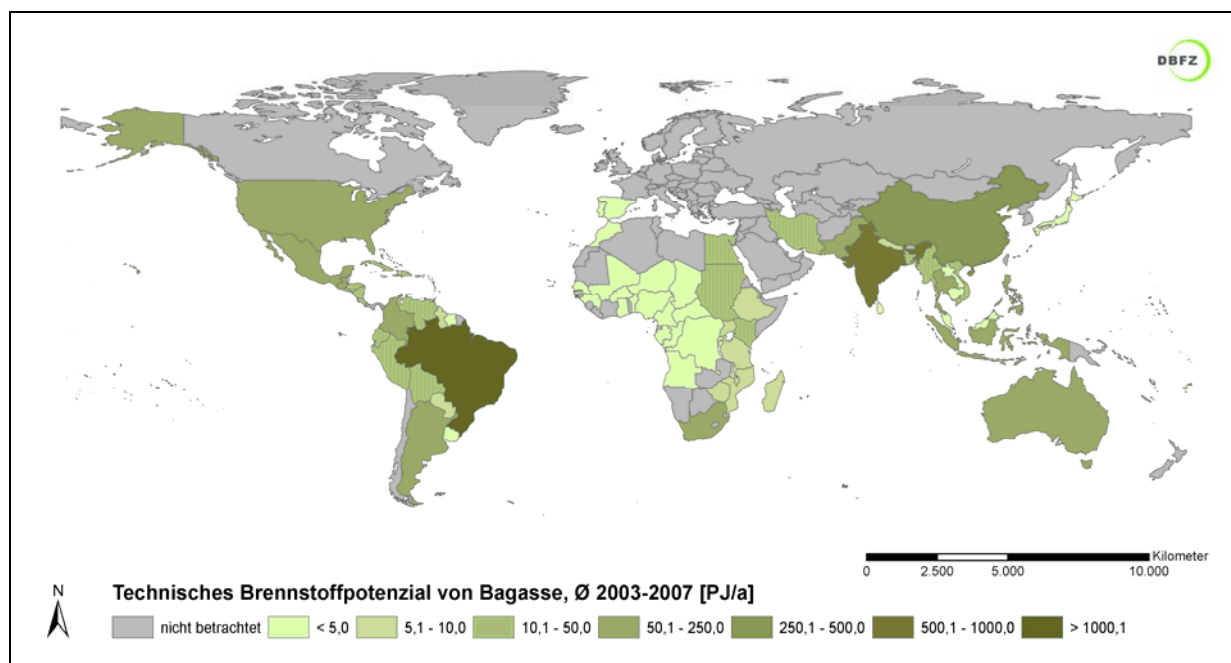


Abb. 32: Theoretische Brennstoffpotenziale von Bagasse, Ø 2003 - 2007 (Quelle: DBFZ)

In Abb. 32 sind die länderspezifischen Ergebnisse für Bagasse dargestellt. Ein relevanter Anbau von Zuckerrohr findet nur in 73 der 134 untersuchten Länder statt. Für diese Länder ergeben sich ein jährliches theoretisches Rohstoffpotenzial von insgesamt rund 210 Mio.  $t_{\text{atro}}$  Bagasse und ein

theoretisches Brennstoffpotenzial von ca. 3.650 PJ. Das mit Abstand größte theoretische Brennstoffpotenzial weist Brasilien mit ca. 1.190 PJ/a auf, gefolgt von Indien (ca. 730 PJ/a) und China (ca. 250 PJ/a). Derzeit wird Bagasse zur energetischen Selbstversorgung der Zuckerindustrie im Verarbeitungsprozess verbrannt oder meist in Ankopplung an die Zucker- und Ethanolfabriken zur Erzeugung von Strom und Wärme eingesetzt und in das jeweilige Versorgungsnetz eingespeist.

Palmölfrüchte werden nur in 33 der untersuchten 134 Länder produziert. Für die Rückstände aus der Palmölproduktion (Fasern und Schalen der Palmölfrüchte) ergibt sich ein jährliches theoretisches Brennstoffpotenzial von insgesamt 1.050 PJ, wobei bereits 82 % jeweils zur Hälfte aus Malaysia (ca. 450 PJ) und Indonesien (ca. 420 PJ) stammen. Auch die Reststoffe aus der Palmölproduktion werden bereits teilweise in mühleneigenen Heizkraftwerken zur Strom- und Dampferzeugung genutzt /93/.

Kokosnüsse werden laut der FAO-Statistik nur in 44 der 134 Länder produziert. Aus den Rückständen der Kokosnussverarbeitung (Hüllen und Schalen) ergibt sich ein theoretisches Brennstoffpotenzial von etwa 410 PJ/a. Der Großteil der Kokosnuss-Reststoffe fällt in Indonesien (ca. 130 PJ/a), den Philippinen (ca. 110 PJ/a) und Indien (ca. 75 PJ/a) an. Die Reststoffe der Kokosnussverarbeitung bleiben bisher teilweise als Dünger auf den Feldern, dienen als Futtermittel oder Brennstoff. Auch zahlreiche stoffliche Nutzungen wie Türmatten oder Säcke aus Kokosfasern existieren /3/, /124/.

### 6.3.7 Fazit

Die Untersuchungen zu den globalen Reststoffpotenzialen zeigen, dass die weltweite Datenlage insgesamt sehr lückenhaft und heterogen ist. Es existieren keine länderübergreifenden weltweiten Statistiken zum Reststoffaufkommen. Das Reststoffaufkommen musste daher über Produkt-Reststoff-Verhältnisse aus den FAO-Daten zu Produktionsmengen von z. B. verschiedenen Anbauarten und Rundholz, aus Viehhaltungsdaten oder einwohnerspezifischen Anfallsraten ermittelt werden. Die in Tab. 13 zusammengefassten technischen Brennstoffpotenziale stellen eine mehr oder weniger grobe Annäherung dar.

*Tab. 13: Ergebnisse derzeitiges globales technisches Brennstoffpotenzial, aufgeschlüsselt nach den verschiedenen Reststofffraktionen (\* Ergebnis in Form des theoretischen Brennstoffpotenzials; Quelle: DBFZ)*

Reststofffraktion		Betrachtete Länder	Ergebnis technisches Brennstoffpotenzial [PJ/a]
Stroh		Alle	13.317
Siedlungsabfall - Bioabfall		Alle	1.164
Siedlungsabfall – gebrauchtes Holz		Alle	1.660
Exkrementen aus der Nutztierhaltung		Alle	2.369
Waldrestholz		46 Länder (global)	8.047 (10.729)
Industrierestholz		64 Länder	698
Produktionsspezifische organische Abfälle	Bagasse	Alle	3.647*
	Palmöl	Alle	1.049*
	Kokosnuss	Alle	409*



Im Fall von Industrierestholz konnten aufgrund lückenhafter Daten nur 64 Länder analysiert werden. Die Ermittlung des Waldrestholzes basiert auf den Abschätzungen zu den Rohholzproduktionsmengen (vgl. Abschn. 6.2). Obwohl diese nur für ein Drittel der 134 Länder vorlagen, repräsentieren die untersuchten 46 Länder etwa 80 % der globalen Rohholzproduktion und des Rohholzverbrauchs. Für diese Länder ergibt sich ein technisches Brennstoffpotenzial von Waldrestholz von ca. 8.050 PJ/a. Auf die Welt hochgerechnet, ergäbe sich ein derzeitiges Potenzial von etwa 10.730 PJ/a. Für die produktionsspezifischen organischen Abfälle wurde aufgrund der fehlenden Daten zur stofflichen Nutzung nur das theoretische Brennstoffpotenzial ermittelt.

Die Gegenüberstellung der einzelnen Reststofffraktionen in Tab. 13 zeigt, dass große Potenziale insbesondere für die energetische Nutzung von Stroh und Waldrestholz existieren. Aus allen in diesem Projekt untersuchten Reststofffraktionen ergibt sich ein derzeitiges globales technisches Brennstoffpotenzial von rund 30 EJ. Im Vergleich dazu schätzt der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) das technische Potenzial aus biogenen Abfall- und Reststoffen auf etwa 80 EJ pro Jahr, wobei das nachhaltig nutzbare Potenzial bei ca. 50 EJ angesetzt wird /130/. Auch der WBGU stellt fest, dass die wissenschaftliche Basis für die Abschätzung des nachhaltigen globalen Potenzials der Abfall- und Reststoffe nur sehr schmal ist und der ermittelte Wert von ca. 50 EJ als sehr unsicher anzusehen ist.

Aufgrund der bestehenden unbefriedigenden Datenbasis wurde, außer für Waldrestholz, auf die Abschätzung der Potenziale in 2020 verzichtet. Die Berechnungen zum Waldrestholz basieren auf den Daten zur Rohholzproduktion (siehe Abschn. 6.2) und konnten daher bis 2020 abgeschätzt werden (Anstieg auf ca. 9.370 PJ/a für die 46 Länder bzw. 12.490 PJ/a global). Für die restlichen Reststoffe kann aufgrund des weltweiten Bevölkerungswachstums davon ausgegangen werden, dass das technische Brennstoffpotenzial bis 2020 tendenziell weiter zunimmt.

Die energetische Nutzung von Reststoffen wird derzeit immer stärker forciert, da im Vergleich zur Nutzung von Energiepflanzen kein zusätzlicher Flächenverbrauch stattfindet und daher kaum Konkurrenzen mit bestehender Landnutzung entstehen. Die Treibhausgasemissionen aus Landnutzungsänderungen und Anbau entfallen weitestgehend, so dass zudem von hohen Treibhausgas-einsparungen ausgegangen wird /130/. Reststoffe können sehr heterogene Eigenschaften aufweisen. In der Regel zeichnen sie sich durch eine geringe Energiedichte aus und werden eher lokal eingesetzt. Ihnen wird daher als Importbiomassen für die IEKP-Ziele keine nennenswerte Rolle zukommen.

Trotz aller Unzulänglichkeiten zeigen die in diesem Projekt durchgeführten Analysen die Haupteinflussfaktoren auf das Reststoffpotenzial auf und ermöglichen innerhalb der einzelnen Fraktionen eine räumliche Auflösung der Potenziale. Besonders hohe Reststoffpotenziale weisen China, die USA, Indien und Brasilien auf.

## 6.4 Importbiomassen für Deutschland

(DBFZ)

In den Abschnitten 6.1 bis 6.3 wurden die technischen Brennstoffpotenziale von verschiedenen agrarischen und forstwirtschaftlichen Biomassen sowie Reststoffen berechnet und potenzielle Schwerpunktregionen identifiziert. Der direkte Vergleich dieser Ergebnisse ist eingeschränkt möglich. Die höchsten Potenziale für das Jahr 2020 wurden für die forstwirtschaftlichen Biomassen (inklusive KUP und Plantagen auf freiwerdenden Ackerflächen) berechnet. Das globale technische Brennstoffpotenzial von Energieholz beträgt im Szenario „Business as Usual“ rund 43 EJ/a, im

„Bioenergie“-Szenario rund 57 EJ/a und 36 EJ/a im Szenario „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen“. Die derzeitigen technischen Brennstoffpotenziale für die betrachteten Reststofffraktionen liegen mit insgesamt rund 30 EJ in einer ähnlichen Größenordnung. Tendenziell werden die Reststoffströme aufgrund der steigenden Bevölkerung und des erhöhten Konsums bis 2020 weiter ansteigen. Signifikant hohe technische Brennstoffpotenziale von landwirtschaftlichen Biomassen sind bei Beachtung des Vorrangs der Nahrungsmittelproduktion im Jahr 2020 nur noch für das „Bioenergie“-Szenario in Höhe von 16 EJ zu erwarten.

Im Rahmen des Projektes sollen zudem die Möglichkeiten zur Erreichung der IEKP-Ziele durch den Import nachhaltig erzeugter Biomasse eingeordnet werden. Internationaler Handel kann durch den direkten Transport von Biomassen oder den Transport von Bioenergieträgern stattfinden. Die Transportwürdigkeit von Biomassen hängt vor allem von Substrateigenschaften wie dem Heizwert, der Transportdichte und der Lagerfähigkeit ab. Darüber hinaus müssen weitere ökonomische, infrastrukturelle und politischen Rahmenbedingungen für den internationalen Handel erfüllt sein, die im Rahmen dieses Projektes jedoch nicht im globalen Maßstab analysiert werden konnten. Stattdessen wurde die Frage der Transportwürdigkeit anhand von Substrateigenschaften und heutigen Handelströmen für verschiedene Biomassen oder Bioenergieträger abgeleitet (siehe Tab. 14).

Tab. 14: Verschiedene Biomassefraktionen und ihre Berücksichtigung als Importbiomassen im Rahmen dieses Projektes (Quelle: DBFZ)

Biomasse	Internationale Transportwürdigkeit	Import als	In diesem Projekt ...
Reststoffe	nicht gegeben	kein signifikanter Import	nicht betrachtet
Holzartige Biomassen (Forst)	gegeben	Stammholz, Scheitholz, Pellets	im Folgenden kurz umrissen
Zuckerrübe, Grünlandaufwuchs, Silomais	nicht gegeben	Biomethan	EU-weite Einspeisung ins Erdgasnetz
Getreide (z. B. Weizen, Reis)	gegeben	Rohstoff oder Bioethanol	betrachtet als Bioethanol
Zuckerrohr	gegeben	Bioethanol	betrachtet als Bioethanol
Ölhaltige Pflanzen (Raps, Soja)	gegeben	Rohstoff oder Pflanzenöl/Biodiesel	betrachtet als Biodiesel
Ölhaltige Pflanzen (Ölpalme)	gegeben	Pflanzenöl/Biodiesel	betrachtet als Biodiesel

Bezüglich des Transportes von Biomassen oder Bioenergieträgern kommt immer wieder die Frage der energetischen Bilanz beim Zurücklegen weiter Distanzen auf. Hierbei wird deutlich, dass der Energieverbrauch des Transportes vergleichsweise gering ausfällt und sehr große Distanzen zurückgelegt werden können bis z. B. der Energiegehalt der Ladung aufgebraucht ist (z. B. LKW mit 25 t KUP (inkl. Dieselvorkette) ca. 11.000 km). In Bezug auf den Biomassetransport greifen also eher wirtschaftliche Restriktionen als energetische Aspekte.

Die Ergebnisse der regionalen Biomassepotenzialberechnungen für Deutschland zeigen, dass die IEKP-Ziele im Strom- und Wärmebereich bereits mit einheimischer Biomasse erreicht werden können. Es besteht jedoch ein Bedarf an flüssigen bzw. gasförmigen Biokraftstoffen im mobilen Sektor



(siehe Abschn. 5.1). Daher konzentriert sich die folgende Analyse auf Importpotenziale von ausgewählten transportwürdigen bzw. leistungsfähigen Biokraftstoffen (siehe Tab. 14).

In Tab. 15 sind die ermittelten weltweiten Mengen der flüssigen und gasförmigen Biokraftstoffe für die verschiedenen Szenarien für die zur Erfüllung der IEKP-Ziele relevanten Zeitpunkte 2015 bis 2020 dargestellt. Es ist dabei zu beachten, dass es sich hierbei um die Mengen handelt, die aus den Biomassen von freiwerdenden Non-Food-Flächen hergestellt werden könnten. Im Vergleich: Die bereits in 2008 weltweit produzierte Menge an Bioethanol und Biodiesel betrug 52,4 Mio. t bzw. 12,9 Mio. t /41/.

Tab. 15: Biokraftstoffmengen für die Szenarien „BAU“, „B“ und „B&U“ für 2015 und 2020, aufgeschlüsselt nach den drei betrachteten Kraftstoffarten (Quelle: DBFZ)

	Bioethanol (Mio. t)		Biodiesel (Mio. t)		Biomethan (Mrd. m <sup>3</sup> )	
	2015	2020	2015	2020	2015	2020
Szenario „BAU“	57,4	0	7,4	0	5,2	1,2
Szenario „B“	175,1	187,5	24,1	30,7	10,6	6,6
Szenario „B&U“	62,8	2,7	3,1	0,2	7,3	1,2

Analog zu den Ergebnissen der technischen Brennstoffpotenziale in Abschn. 6.1.2 zeigt sich, dass 2015 noch in allen drei Szenarien hohe Potenziale für Energiepflanzen auf Non-Food-Flächen vorhanden sind. Die größten Kraftstoffmengen könnten aufgrund der Flächenverfügbarkeit und der Auswahl an vorteilhaften Biomassen (sogenannte Energiefruchtfolge, siehe Abschn. 6.1) im „Bioenergie“-Szenario produziert werden. Nach 2015 nehmen die Kraftstoffmengen im Szenario „Business as usual“ (BAU) und „Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen (B&U)“ aufgrund der global erhöhten Nachfrage an Nahrungsmitteln und damit benötigten Anbauflächen tendenziell so stark ab, dass ab 2020 keine signifikanten Mengen an zusätzlichen Biokraftstoffen (erzeugt aus Agrarbiomassen von Non-Food-Flächen) in diesen Szenarien zu erwarten wären. Signifikante Mengen an flüssigen bzw. gasförmigen Energieträgern könnten ab 2020 nur im „Bioenergie“-Szenario erzeugt werden. Abb. 33 vergleicht noch einmal alle drei Szenarien und zeigt aus welcher Rohstoffbasis die Biokraftstoffe weltweit stammen.

2015 dominiert in allen Szenarien das Bioethanolpotenzial, welches aus Getreide stammt. Im „Bioenergie“-Szenario gibt es zudem noch hohe Potenziale aus Zuckerrohr und Ölpalmen. In 2020 bestehen die fast vernachlässigbaren Kraftstoffpotenziale in den Szenarien „BAU“ und „B“ entweder aus Grünlandaufwüchsen (BAU) oder aus Getreide und Grünlandaufwüchsen (B). Im „Bioenergie“-Szenario steigt das Biokraftstoffpotenzial bis 2020 noch weiter an, wobei Getreide, Zuckerrohr und Ölpalmen die dominierenden Fruchtarten bleiben.

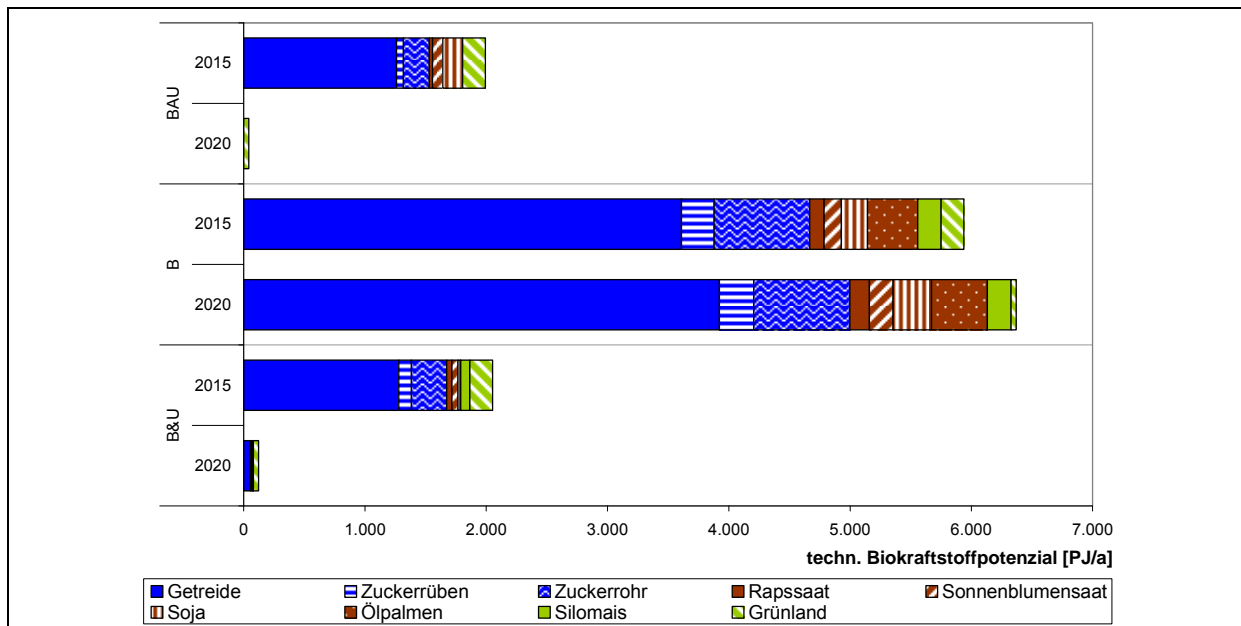


Abb. 33: Technisches Biokraftstoffpotenzial in den Szenarien „BAU“, „B“ und „B&U“ für 2015 und 2020, aufgeschlüsselt nach der Rohstoffbasis (Quelle: DBFZ)

Um die potenziellen Lieferantenländer für den Import von Biokraftstoffen nach Deutschland zu identifizieren, sind die länderspezifischen technischen Biokraftstoffpotenziale für das Szenario „Bioenergie“ in 2020 in Abb. 34 dargestellt.

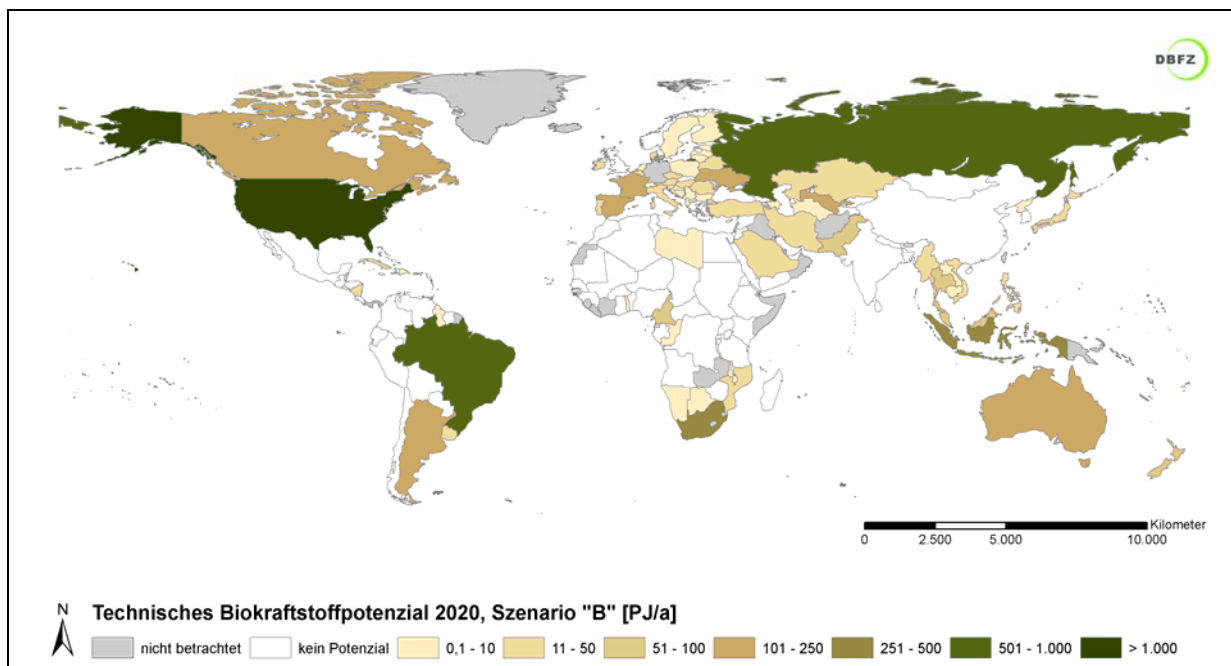


Abb. 34: Technisches Biokraftstoffpotenzial für das Szenario „B“ in 2020 (Quelle: DBFZ)

In diesem Szenario zählen die USA (ca. 1.660 PJ/a), Brasilien (ca. 885 PJ/a), Russland (ca. 820 PJ/a) und Indonesien (ca. 390 PJ/a) zu den größten potenziellen Biokraftstofflieferanten. In der EU-27 hat Frankreich das größte Potenzial (ca. 190 PJ/a). Bei der Einordnung der Ergebnisse ist zu beachten, dass neben Deutschland auch die Europäische Union und viele andere Länder Biokraftstoffziele definiert haben und dafür ebenfalls ggf. Importbiomassen benötigen.

Ebenso wie landwirtschaftliche Anbaubiomassen wird auch Rohholz international gehandelt, jedoch in sehr viel geringerem Umfang. Schwerpunkte des internationalen Handels mit Rohholz sind Nordamerika, Europa und Südostasien. Die größten Rohholzexporteure sind Russland, Kanada und die USA. Hauptimporteure dieses Rohholzes sind die EU, Japan und China. Während ein weltweiter Handel mit Energieholz in Form von Scheitholz oder Waldhackschnitzeln bisher kaum stattfindet, hat sich in den letzten Jahren ein weltweiter Handel mit Holzpellets etabliert. In Kanada und den USA sind große Produktionskapazitäten aufgebaut worden, um Pellets hauptsächlich in die EU zu exportieren. Aber auch innerhalb der EU findet Pellethandel statt. Die größten Pelletmärkte sind derzeit Schweden, Dänemark, die Niederlande und Deutschland. Aufgrund ihrer technischen Eigenschaften sind Pellets ein optimaler Brennstoff für die Wärme und/oder Stromerzeugung. Die Konversion zu Kraftstoff der 2. Generation ist zwar durchaus denkbar, jedoch kann derzeit nicht abgeschätzt werden, ob diese Konversionstechnologie bis zum Jahr 2020 im großen Maßstab zur Verfügung stehen wird. Es ist eher unwahrscheinlich, dass die IEKP-Ziele im Bereich Kraftstoff durch den Import von Pellets erreicht werden können.

Die Herstellung von flüssiger Biomasse, insbesondere von Palmöl, erfolgte in der Vergangenheit teilweise nicht nachhaltig und ging zum Teil mit erheblichen Umweltzerstörungen (Abholzung von Regenwäldern, Verlust der Artenvielfalt etc.) einher. Daher ist im europäischen Kontext seit 2009 der Import von flüssigen Bioenergieträgern an die Anforderungen einer nachhaltigen Produktion gebunden /30/. Diese Anforderungen sind anhand von Nachhaltigkeitskriterien zu THG-Einsparungen, Anbauflächen und Anbaumethoden in der EU-Richtlinie zur Förderung der Erneuerbaren Energien für flüssige Bioenergieträger festgelegt /30/. Die Einhaltung dieser Kriterien ist maßgeblich für die Bewertung der Erreichung nationaler Ziele und für die Vergütung. Zur Einschätzung der Höhe der Biokraftstoffpotenziale müsste daher bewertet werden, inwieweit die Kriterien auf bestimmte Bioenergieträger zutreffen. Im Bereich der THG-Einsparungen müssten zunächst 35 % THG-Emissionen im Vergleich zum fossilen Energieträger eingespart werden /30/. Eine pauschale Aussage, ob beispielsweise zuckerrohrbasierter Ethanol diese Anforderung erfüllen würde, ist allerdings nicht möglich. THG-Emissionen bzw. -einsparungen sind immer von dem hinterlegten Anbau- und Konversionspfad abhängig. Generell lässt sich feststellen, dass die Haupteinflussbereiche für THG-Emissionen bzw. -Einsparungspotenziale im Anbau der Biomassen und deren Konversion zu Biokraftstoffen liegen. Der Transport spielt eine vergleichsweise untergeordnete Rolle.

## 6.5 Fernerkundung von Biomasseressourcen

(DLR)

### 6.5.1 Hintergrund und Zielstellungen

Die Satellitenfernerkundung hat sich in den vergangenen Jahren zu einem erfolgreichen Werkzeug entwickelt, um Geo-Information auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen bereitzustellen. Satellitendaten liefern heute Informationen in einer räumlichen Auflösung von Meter (z. B. IKONOS) bis Kilometer (z. B. MERIS oder MODIS) und in einer zeitlichen Auflösung von täglich bis etwa monatlich. Nach einem bisher eher experimentellen Stadium, in dem nur für kleine Gebiete und nur für kurze Zeitperioden Satellitendaten genutzt wurden, wird diese Technologie zunehmend im operationellen Betrieb eingesetzt. Ein operationeller Betrieb wird langfristig die regelmäßige und qualitätsgeprüfte Bereitstellung von Geodaten und -informationen gewährleisten. Damit werden zukünftig Möglichkeiten geschaffen, die ein regelmäßiges Monitoring flächenbezogener Biomasseressourcen unterstützen. Ein gutes Beispiel für den Aufbau und die Implementierung

einer operationellen Bereitstellung von Satellitendaten und -produkten ist die GMES-Initiative (Global Monitoring for Environment and Security) der europäischen Kommission und der europäischen Weltraumbehörde (ESA), mit der ein Netzwerk zur Beobachtung unserer Umwelt geschaffen wird. GMES ist ein wichtiger Bestandteil des Aufbaus einer europäischen Infrastruktur für weltweite räumliche Informationen (INSPIRE), die seit März 2007 implementiert wird.

Zur direkten Ableitung des oberirdischen Biomassepotenzials aus Fernerkundungsdaten von aktiven und passiven optischen Sensoren und von aktiven und passiven Mikrowellensensoren sind zurzeit verschiedene Ansätze bekannt. Eine Zusammenfassung der bislang publizierten Methoden und verwendeten Satellitendaten ist im Ergebnisbericht 2008 /47/ zu finden. Die höchste Korrelation zwischen Fernerkundungsdaten und der Biomasse ( $r^2 = 0,95$ ) ist für forstliche Flächen dokumentiert /45/. Hierbei wurde der mittlere jährliche normalisierte Differenzvegetationsindex (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) aus VEGETATION Daten abgeleitet. Ähnliche Ergebnisse zeigten die Untersuchungen mit dem Radarsystem SIR-C /6/, das experimentell für einen begrenzten Zeitraum auf dem Space Shuttle eingesetzt wurde ( $r^2 = 0,94$ ). Die Literaturübersicht hat gezeigt, dass sich fast alle bisher veröffentlichten Untersuchungen mit der Biomasse von Wäldern beschäftigt haben.

Daneben sind in der Literatur auch Ansätze beschrieben, die Fernerkundungsdaten als Eingangsdaten für mechanistische bzw. dynamische Modelle nutzen /44/, /66/, /88/, /96/, /128/. Aus Fernerkundungsdaten lassen sich globale bzw. lokale Informationen zur Landbedeckung und Landnutzung (LCLU) ableiten, die als Eingangsdaten für Modelle benötigt werden. Weitere Eingangsdaten für die Modelle sind Zeitreihen des Blattflächenindex (engl. leaf area index, LAI), die aus Fernerkundungsdaten abgeleitet werden können. Sie beschreiben die Phänologie der Vegetation. Da die meisten Modelle mit einer Zeitauflösung von 1 bis 10 Tagen betrieben werden, werden die LAI-Zeitreihen in derselben zeitlichen Auflösung generiert.

In dem Arbeitspaket „Fernerkundung“ wird die Eignung des dynamischen Modells „Biosphere Energy Transfer Hydrology (BETHY/DLR)“ zur Quantifizierung des energetisch nutzbaren Kohlenstoffs untersucht, wobei Fernerkundungsdaten als Eingangsdaten zur aktuellen Charakterisierung des Pflanzenwachstums genutzt werden. Entsprechend der Vorarbeiten im Jahr 2008 wird das landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Biomassepotenzial für Deutschland und Österreich mit BETHY/DLR mit einer räumlichen Auflösung von etwa 1 km x 1 km berechnet. Die Integration eines verbesserten „Bottom-Up“-Ansatzes zur Bestimmung des Biomassepotenzials ermöglicht es, aus der berechneten Netto-Primär-Produktion (NPP) direkt ein Strohpotenzial für landwirtschaftliche Flächen bzw. ein Holzpotenzial für Wälder abzuleiten.

Im Endbericht 2008 wurden die Methoden zusammengefasst, die zurzeit angewandt werden, um lokale bis kontinentale Änderungen der Landbedeckung bzw. Landnutzung zu erfassen. Im laufenden Projektjahr 2009 wurde in einer Literaturstudie untersucht, welche Methoden existieren, um mit Hilfe von Fernerkundungsdaten verbrannte Flächen (burnt areas, BA) zu identifizieren und evtl. zu kartieren. Diese Untersuchung war der Frage gewidmet, welche Möglichkeiten die Fernerkundung bietet, die Umwandlung von Wald- in Agrarflächen durch Brandrodung zu erkennen und zu erfassen.

Die Möglichkeiten für ein Monitoring der Verluste an landwirtschaftlichen Flächen durch z. B. Degradation oder Erosion mit Hilfe von Fernerkundung und die Umwandlung von Wald- in Agrarflächen wurde ebenfalls im Rahmen der Literaturrecherche untersucht.

### 6.5.2 Methodik

Neben den Fernerkundungsdaten benötigt BETHY/DLR meteorologische Eingangsdaten, um das Wachstum der Pflanzen in Abhängigkeit von klimatischen Bedingungen modellieren zu können. Die Lufttemperatur in 2 m Höhe, der Taupunkt in 2 m Höhe, der Niederschlag, die Windgeschwindigkeit und die Bewölkung werden als Informationen genauso benötigt wie das Bodenwasser in den vier obersten Schichten. Diese Daten werden vom „European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)“ mit einer zeitlichen Auflösung von bis zu 4 Mal täglich und einer räumlichen Auflösung von  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  in einem rechtwinkligen Koordinatensystem bereitgestellt. Der Bodenwassergehalt wird nur für die Einschwingphase des Modells benötigt. Danach berechnet das Modell den Bodenwassergehalt entsprechend den hydrologischen Randbedingungen selbstständig. Untersuchungen von /131/ haben gezeigt, dass in der Regel eine einjährige Einschwingphase ausreichend ist, um stabile Startbedingungen für das Modell zu erhalten. In der aktuellen Version von BETHY/DLR werden die stabilen Startbedingungen dynamisch bestimmt. Die Informationen zur hohen, mittleren und tiefen Bewölkung werden genutzt, um die Einstrahlung am Boden nach dem Verfahren von /18/ (aus /113/) zu berechnen.

Zur Beschreibung der Phänologie der Vegetation werden Daten wie z. B. der Blattflächenindex benötigt. Der Blattflächenindex ist definiert als das Verhältnis der gesamten kumulierten Blattfläche pro Einheitsfläche. Für landwirtschaftliche Flächen wächst der LAI typischerweise von Null (keine Blätter pro Einheitsfläche bei der Aussaat) bis zu einem Maximum, das vor der Reife erreicht wird, an. Die zeitliche Entwicklung des LAI spiegelt das Wachstum des Bestandes wieder. Aus optischen Fernerkundungsdaten lässt sich der LAI ableiten. Die im Projekt „Pole d'Observation des Surfaces continentales par TELedetection (POSTEL)“ entwickelten, globalen CYCLOPES-Daten wurden als Eingangsdatensatz ausgewählt. Sie stehen als sog. 10-Tageskomposite zur Verfügung.

Auch die Informationen zur Landbedeckung und Landnutzung stehen als „Global Land Cover 2000 (GLC2000)“ in den CYCLOPES-Daten zur Verfügung. Für die Ableitung der GLC2000-Landbedeckungsklassen wurde das „Land Cover Classification System (LCCS)“ der „Food and Agriculture Organization (FAO)“ der Vereinten Nationen verwendet /4//21/. Mit GLC2000 steht eine Klassifikation zur Verfügung, die 22 Landbedeckungsklassen unterscheidet und für das Jahr 2000 repräsentativ ist. Der Boden wurde nach /22/ parametrisiert. Die globalen CYCLOPES- und GLC2000-Daten sind jeweils in Kacheln von  $10^\circ \times 10^\circ$  als Karten in rechtwinkliger Projektion (lat-long-Projektion) mit der Angabe von Breiten- und Längengrad (WGS84-Datum) erhältlich. Damit ist eine vollständige Abdeckung des im Projekt vorgegebenen Untersuchungsgebietes von Deutschland und Österreich möglich.

Das Pflanzenwachstum wird in dynamischen Modellen wie z. B. BETHY/DLR so parametrisiert, dass in einem ersten Schritt die biochemischen Vorgänge der Photosynthese auf Blattebene nach den Ideen von /35/ und /19/ modelliert werden. Dabei wird die Enzymkinetik der Photosynthese von sog. C3- und C4-Pflanzen unterschieden. Dies ist wichtig, da sich die Photosynthese und der weitere Weg der Kohlenstoff-Fixierung bei diesen beiden Pflanzenklassen (C3 oder C4) deutlich unterscheiden. So können C4-Pflanzen (z. B. Hirse, Mais oder Zuckerrohr) bei höheren Lufttemperaturen und größerer Sonneneinstrahlung mehr atmosphärisches Kohlendioxid fixieren als C3-Pflanzen (z. B. Weizen oder Gerste), deren Photosynthese bei solchen Umweltbedingungen gesättigt ist. Durch die besondere Art der Kohlenstofffixierung in C4-Pflanzen sind diese Pflanzen besser an wärmere Klimate angepasst. In einem nächsten Schritt wird in dynamischen Modellen von der Blattebene auf die Bestandebene extrapoliert, wobei sowohl der Aufbau eines Bestandes

als auch die Wechselwirkung zwischen dem Boden, der Atmosphäre und der Vegetation berücksichtigt wird. Hierbei werden insbesondere Energieflüsse und der Wasserkreislauf zwischen Boden, Vegetation und Atmosphäre betrachtet. Durch die Differenzierung der Photosynthese in C3- und C4-Pflanzen liegt dem Modell BETHY/DLR eine andere interne Klassifikation der Vegetation zu Grunde als bei der GLC2000. Diese modellinternen Klassen der Vegetation werden im Folgenden als „Vegetationstypen“ bezeichnet im Gegensatz zu den „Landbedeckungsklassen“ der GLC2000. In BETHY/DLR werden zurzeit 33 verschiedene Vegetationstypen unterschieden. So unterscheidet man in BETHY/DLR C3- von C4-Grasland, während die GLC2000 das Grasland nach seinem Bedeckungsgrad (offen bis geschlossen oder spärlich) unterscheidet. Jedem Vegetationstyp sind im Modell BETHY/DLR Photosyntheseparameter wie z. B. der maximale Elektronentransport oder die maximale Carboxylierungsrate zugeordnet /66/. Diese Werte sind der entsprechenden physiologischen Literatur entnommen und basieren auf Blattmessungen.

Da die Klassen der GLC2000 nicht mit den Vegetationstypen von BETHY/DLR übereinstimmen und z. B. bei der GLC2000-Klasse „kultivierte und bearbeitete Flächen“ keine Unterteilung in angebaute Fruchtarten möglich ist, bedarf es einer Anpassung und Generalisierung der GLC2000-Klassen an die BETHY/DLR-Vegetationstypen. Neben der Charakterisierung in C3- und C4-Pflanzen ist es in BETHY/DLR möglich, für jede Modellzelle zwei Vegetationstypen mit einer entsprechenden Gewichtung zu definieren. Damit ist es z. B. möglich, die GLC2000-Klasse „Mischwald“ als die beiden BETHY/DLR-Vegetationstypen „Laubwald, sommergrün, gemäßigt“ und „Nadelwald, immergrün“ mit den Gewichtungsfaktoren 0,5 zu definieren. Diese Möglichkeit wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung für sechs Klassen der GLC2000 genutzt. Die beiden GLC2000-Klassen „Kultivierte und bearbeitete Flächen (16)“ und „Mosaik: Ackerland / Busch oder Grasland (18)“ stellen bei der Modellierung landwirtschaftlicher Flächen in Deutschland und Österreich eine Besonderheit dar, da sie die mit größtem Interesse behafteten Energiepflanzen und Gräser umfassen. Neben der festen Zuordnung der Gewichtungsfaktoren für die beiden landwirtschaftlichen Klassen werden für die vier Waldklassen das MODIS-Produkt „Vegetation Continuous Fields (MOD44B oder MODIS-CF)“ genutzt. Das MODIS-CF-Produkt enthält die prozentualen Bedeckungsgrade eines Pixels zur Klasse Wald, Nichtwald und offener Boden. Der Bedeckungsgrad für die Klasse Wald wird mit jährlicher Auflösung zur Transformation der GLC2000-Klassen in die BETHY/DLR-Vegetationstypen herangezogen. Die Zuordnung der GLC2000-Klassen zu den BETHY/DLR-Vegetationstypen ist in Tab. 16 dargestellt. Die entsprechenden statischen bzw. dynamischen Gewichtungsfaktoren sind auch angegeben.

*Tab. 16: Zuordnung der GLC2000 zu den Vegetationstypen des Modells BETHY/DLR mit jeweiliger Gewichtung (Quelle: DLR)*

<b>LCC der GLC2000</b>	<b>Vegetationstypen: BETHY/DLR</b>	<b>Gewicht</b>
Kultivierte und bearbeitete Flächen (Kl. 16)	Kulturpflanzen (Typ 15)	100 %
Mosaik: Ackerland/Busch oder Grasland (Kl. 18)	Kulturpflanzen (Typ 15)	50 %
Laubwald, sommergrün, geschlossen (Kl. 2)	Laubwald, sommergrün, gemäßigt (Typ 4)	MODIS-CF
Laubwald, sommergrün, offen (Kl. 3)	Laubwald, sommergrün, gemäßigt (Typ 4)	MODIS-CF
Nadelwald, immergrün (Kl. 4)	Nadelwald, immergrün (Typ 5)	MODIS-CF
Mischwald (Kl. 6)	Laubwald, sommergrün, gemäßigt (Typ 4) Nadelwald, immergrün (Typ 5)	MODIS-CF / 2 MODIS-CF / 2

### 6.5.3 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Modellierung für landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Flächen in Deutschland und Österreich gezeigt. Das Modell BETHY/DLR ist ursprünglich entwickelt worden, um den globalen Kohlenstoffkreislauf zwischen Atmosphäre, Vegetation und Boden zu untersuchen. Daher liefert das Modell als Ergebnis zunächst die von der Vegetation pro Flächeneinheit und Zeiteinheit aus der Atmosphäre aufgenommene Kohlenstoffmenge, die als „Gesamte Primar Produktion (GPP)“ bezeichnet wird. Da jede Pflanze durch die sog. „autotrophe“ Atmung wieder Kohlenstoff in Form von  $\text{CO}_2$  an die Atmosphäre abgibt, wird in der Bilanz weniger Kohlenstoff in Form von Biomasse in der Pflanze gebunden als ursprünglich aufgenommen wurde. Diese Ausgangsgröße des Modells bezeichnet man als „Netto-Primär-Produktion (NPP)“. Mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren kann man die NPP in Biomassepotenziale umrechnen. Die Ergebnisse zeigen die Situation für das Jahr 2000. Neben der Verteilung des Biomassepotenzials landwirtschaftlicher und forstwirtschaftlicher Flächen wird im Folgenden auch die Validierung der Modellergebnisse mit statistischen Daten beschrieben. Für die Validierung der modellierten, landwirtschaftlichen NPP wurden die statistischen Daten wie z. B. die Erträge einzelner Feldfrüchte pro Landkreis herangezogen. Die Methodik zur Umrechnung der landwirtschaftlichen NPP in Erträge wird im Folgenden auch gezeigt. Für die Validierung der modellierten forstwirtschaftlichen NPP wurden die Daten der zweiten Bundeswaldinventur (BWI<sup>2</sup>) herangezogen. Auch hierfür wurde ein „Bottom-Up“-Ansatz entwickelt, um die Ergebnisse der BWI<sup>2</sup>, die in der Regel als Zuwachs des Derbholzes in  $\text{m}^3$  pro Flächeneinheit und Zeiteinheit vorliegen, in NPP umzurechnen.

#### Land- und forstwirtschaftliche Netto-Primär-Produktion

Das Ergebnis der modellierten NPP land- und forstwirtschaftlicher Flächen Deutschlands und Österreichs für das Jahr 2000 ist in Abb. 35 dargestellt. Die räumliche Auflösung der NPP-Karte liegt bei etwa 1 km x 1 km.

Die Farbskala wurde so gewählt, dass niedrige NPP-Werte mit roten, mittlere Werte mit sandfarbenen und hohe Werte mit grünen Farbtönen wiedergegeben werden. Weiße Flächen spiegeln ausmaskierte GLC2000-Klassen wieder, also all jene Pixel, die nicht den land- und forstwirtschaftlichen GLC2000-Klassen 2, 3, 4, 6, 16 oder 18 angehören. Die Ergebnisse der Modellierung zeigen, dass die forstlichen Flächen wie z. B. der Schwarzwald, der Bayerische Wald oder auch der Harz mit einer NPP von bis zu maximal 200 Tonnen Kohlenstoff pro  $\text{km}^2$  und Jahr deutlich weniger Kohlenstoff binden als produktive, landwirtschaftliche Flächen. Landwirtschaftliche Pflanzen können bei guten meteorologischen Bedingungen bis zu 400 Tonnen Kohlenstoff pro  $\text{km}^2$  und Jahr assimilieren. Die höchste NPP wird in Ober- und Niederösterreich erreicht mit etwa 550 Tonnen Kohlenstoff pro  $\text{km}^2$  und Jahr. Die niedrigste NPP findet man an der Grenze von Thüringen und Sachsen-Anhalt und in den österreichischen Alpen. In Abb. 35 ist im Bereich von Thüringen, Sachsen und Sachsen-Anhalt ein schachbrettartiges Muster zu erkennen, das mit der Verteilung der meteorologischen Daten des ECMWF korreliert. Diese Daten werden in einer Auflösung von  $0,5 \times 0,5^\circ$  bereit gestellt, so dass lokale, kleinräumige Wetterereignisse nicht berücksichtigt werden. Eine Analyse hat gezeigt, dass in diesem Gebiet in den Sommermonaten während der Reifungsphase der meisten landwirtschaftlichen Früchte der Niederschlag zweier benachbarter ECMWF-Kacheln um den Faktor 2 differiert.



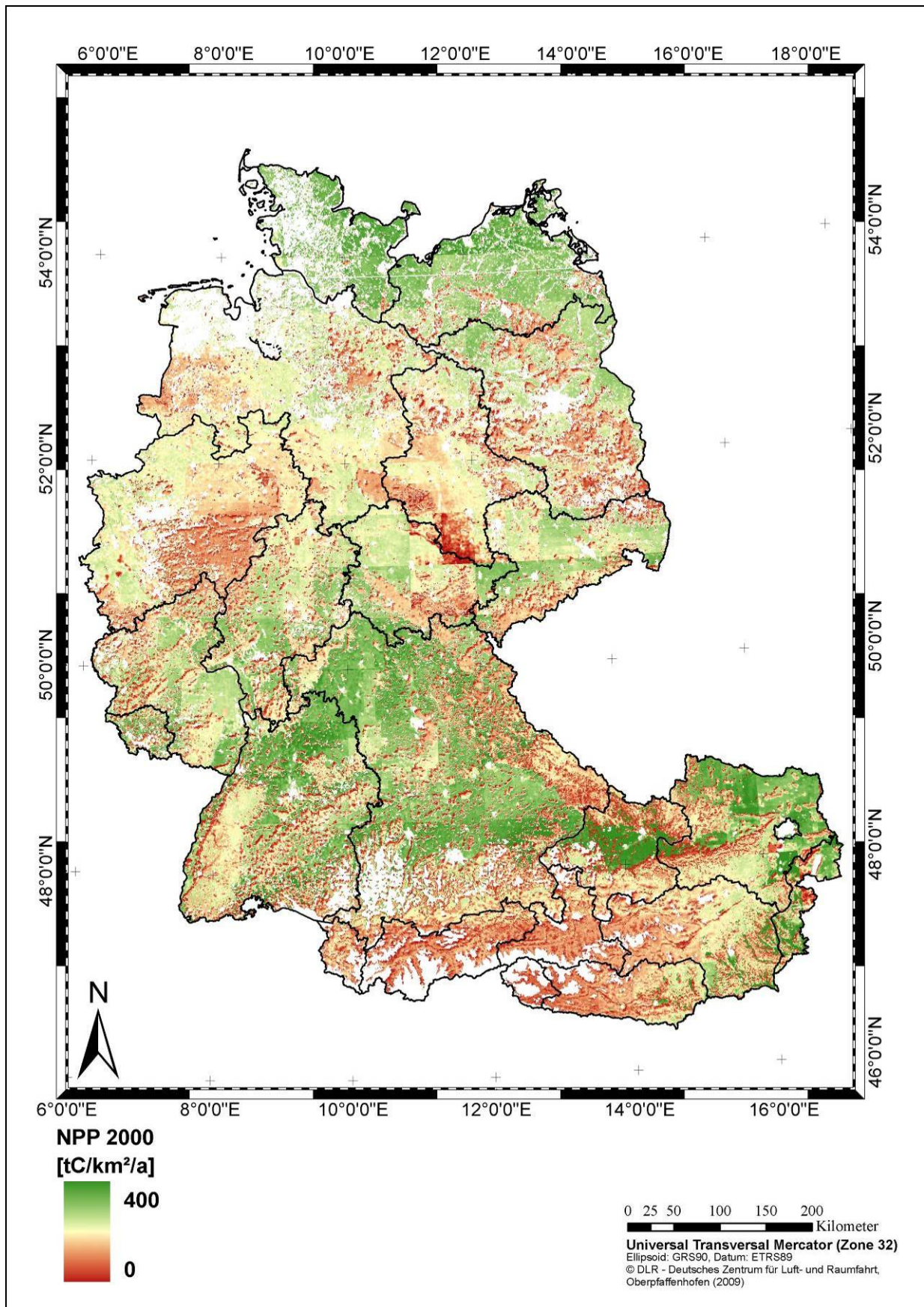


Abb. 35: Jahressumme der modellierten NPP land- und forstwirtschaftlicher Flächen Deutschlands und Österreichs für das Jahr 2000 (Quelle: DLR)

### Validierung der modellierten Netto-Primär-Produktion

Zur Validierung der modellierten NPP land- und forstwirtschaftlicher Flächen wurde eine „Bottom-Up“-Methode entwickelt, die offizielle statistische Ertrags- bzw. Zuwachsdaten von Landes- oder Bundesämtern nutzt, um aus diesen Daten die NPP zu berechnen. Die Informationen zu den landwirtschaftlichen Erträgen stammen für Deutschland vom Statistischen Bundesamt in Wiesbaden und für Österreich von der Bundesanstalt STATISTIK AUSTRIA in Wien. Die agronomischen Ertragsdaten sind für Deutschland und Österreich auf Landkreis- bzw. Bezirksebene (NUTS-3-Ebene) erhältlich und liegen für die Hauptfrüchte jährlich vor. Die Daten zum forstwirtschaftlichen Zuwachs von Derbholz, zur Waldfläche, zur Altersverteilung der Wälder aber auch zu den angebauten Baumarten sind für Deutschland der Bundeswaldinventur 2 (BWI<sup>2</sup>) entnommen. Ziel der BWI<sup>2</sup> ist es, für die alten und neuen Bundesländer erstmalig aktuelle und statistisch abgesicherte Informationen über die Waldverhältnisse in Deutschland zu liefern. Die Ergebnisse der BWI<sup>2</sup> sind für jedes Bundesland erhoben worden (NUTS-1-Ebene) und frei erhältlich. Die Datengrundlage für die BWI<sup>2</sup> stützt sich auf statistische Erhebungen und ist repräsentativ für die Jahre 2001 und 2002.

Für jede in einem Landkreis bzw. Bezirk angebaute Feldfrucht wird in der Statistik ein durchschnittlicher Feldfruchtertrag pro NUTS-3-Ebene ausgewiesen. Durch Berücksichtigung der ausgewiesenen Anbaufläche pro NUTS-3-Ebene kann der gesamte Ertrag jeder Feldfrucht pro NUTS-3-Ebene ermittelt werden. Durch Berücksichtigung des typischen Trockengewichts und des mittleren Kohlenstoffgehalts der geernteten Feldfrüchte kann der Gesamtkohlenstoff für jedes geerntete Produkt pro NUTS-3-Ebene berechnet werden. Da das Ernteprodukt, z. B. der Kornertrag, nur einen Teil der gesamten Pflanze darstellt, müssen zusätzlich Annahmen über das Verhältnis von Korn zu Stroh bzw. Rübe zu Blatt gemacht werden, um den oberirdischen Kohlenstoffgehalt zu schätzen. Typische Korn-Stroh- bzw. Rübe-Blatt-Verhältnisse sind in Tab. 17 zusammengefasst. Sie sind /68/ entnommen. Zusätzlich sind die in der Literatur gefundenen Maximal- und Minimalwerte für die jeweiligen Korn-Stroh/Rübe-Blatt-Verhältnisse angegeben. Um einen Vergleichswert für die modellierte, landwirtschaftliche NPP zu bekommen, ist es notwendig, das Verhältnis von oberirdischer zu unterirdischer Biomasse für jede Feldfrucht zu kennen und zu berücksichtigen.

Tab. 17: Korn-Stroh- bzw. Wurzel/Knolle-Laub-Verhältnisse für ausgewählte Feldfrüchte (Quelle: DLR nach \* /68/, + /72/, # /70/)

Feldfrucht	Korn-Stroh bzw. Rübe-Blatt Verhältnisse		
	Verwendet	Maximum	Minimum
Weizen	1,1	1,1 *	0,9 +
Gerste	1,1	1,1 *	1,0 *
Roggen	1,3	1,6 +	1,0 #
Hafer	1,1	1,2 +	1,0 #
Körnermais	0,8	1,3 +	0,8 *
Raps	2,0	2,0 *	1,7 +
Zuckerrübe	0,7	0,8 +	0,5 #
Kartoffel	0,2	1,0 #	0,2 *

Ein ähnlicher Ansatz wurde bereits von /9/ zur Bestimmung von Kohlenstoffeinträgen in den Boden durch Erntereste wie z. B. Stoppel und Wurzel bei Getreide beschrieben. Hier finden sich Angaben

über das Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse für eine Vielzahl von Feldfrüchten. Konversionsfaktoren für das Korn-Stroh-Verhältnis und das Trockengewicht lassen sich in der Literatur finden wie z. B. in den Berichten des „Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL)“ /72/ oder in /68/, deren Daten in dieser Studie verwendet wurden. Diese Werte sind als Verhältnisse anzusehen und lassen beispielsweise bei Winterweizen darauf schließen, dass ein Kornertrag von 10 Tonnen einen Nebenertrag von 11 Tonnen Stroh mit sich bringen würde.

Für den Vergleich der modellierten NPP landwirtschaftlicher Flächen mit den aus den Ertragsdaten geschätzten NPP ist es notwendig, die modellierten NPP-Werte auf NUTS-3-Ebene zu aggregieren. Dazu wird für jede NUTS-3-Einheit die gesamte NPP aller in der GLC2000 als Klasse 16 (Kultivierte und bearbeitete Flächen) ausgewiesenen Pixel aufsummiert. Zusätzlich wird die modellierte NPP der in der GLC2000 als Klasse 18 (Mosaik: Ackerland / Busch oder Grasland) identifizierten Pixel entsprechend des Gewichtungsfaktors berücksichtigt.

Das Ergebnis der Validierung der modellierten NPP landwirtschaftlicher Kulturen für Deutschland für die beiden Jahre 2000 und 2001 ist in Abb. 36 zu sehen. Mit einem Bestimmtheitsmaß ( $r^2$ ) von etwa 0,67 und einer Steigung von etwa 0,83 zeigt sich, dass die mit BETHY/DLR modellierte NPP auf Landkreisebene gut mit den statistischen Ertragsdaten korreliert. Das Modell unterschätzt mit den gewählten pflanzenphysiologischen Parametern, die neben den meteorologischen Bedingungen und den Bodenverhältnissen das Pflanzenwachstum bestimmen, den tatsächlichen landwirtschaftlichen Ertrag um etwa 17 %.

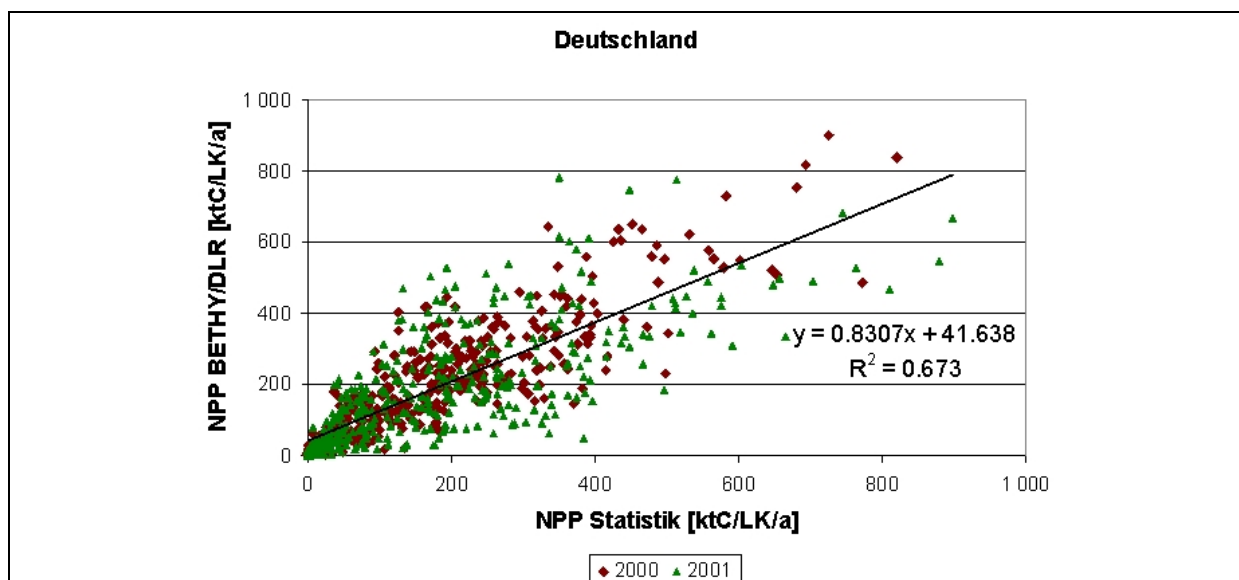


Abb. 36: Validierung der modellierten NPP landwirtschaftlicher Flächen Deutschlands für die Jahre 2000 und 2001 mit der aus statistischen Ertragsdaten geschätzten NPP. Die lineare Korrelation zeigt ein Bestimmtheitsmaß von etwa 0,67 und eine Steigung von etwa 0,83. (Quelle: DLR)

Der „Bottom-Up“-Ansatz zur Validierung der NPP von Wäldern benötigt statistische Daten über den Zuwachs des Vorrats, der als Holzvolumen aller Bäume pro Flächeneinheit und Zeiteinheit [ $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ] gegeben ist. Der Vorrat ist definiert als das gegenwärtig vorhandene Derbholz eines Bestandes oder einer Summe von Beständen, gemessen in Vorratsfestmeter oder Erntefestmeter. Als Derbholz wird die oberirdische Holzmasse bzw. das oberirdische Holzvolumen des Stamms

bezeichnet, das in Brusthöhe einen Durchmesser von mehr als 7 cm aufweist. Bei der Messung des Durchmessers wird die Rinde mitberücksichtigt. Bäume unter 7 cm Brusthöhendurchmesser werden nicht zum Derbholz gezählt ebenso wie das Reisholz und das Laub/Nadeln. Informationen zum Zuwachs des Derbholzes können für die alten Bundesländer der BWI<sup>2</sup> entnommen werden, die als Stichtag den 1. Oktober 2002 hat. Die BWI<sup>2</sup> liefert den Zuwachs des Derbholzes für einzelne Baumarten oder einzelne Gruppen wie „alle Laubbäume“ und in Abhängigkeit des Alters. Es lässt sich in der BWI<sup>2</sup> ablesen, dass z. B. der mittlere Zuwachs des Derbholzes aller Laubbäume in Bayern 10,48 [m<sup>3</sup>\*ha<sup>-1</sup>\*a<sup>-1</sup>] beträgt, während in Rheinland-Pfalz der mittlere Zuwachs nur 9,1 [m<sup>3</sup>\*ha<sup>-1</sup>\*a<sup>-1</sup>] beträgt. Diese Unterschiede sind durch die Altersverteilung der angepflanzten Bäume zu erklären. Daneben kann man der BWI<sup>2</sup> für jedes Bundesland die Fläche der angebauten Bäume entnehmen.

Basierend auf den Informationen der BWI<sup>2</sup> wurde vom DBFZ im Rahmen dieses Projekts für jedes Bundesland unter Berücksichtigung der Baumarten- und Altersverteilung der gesamte forstwirtschaftliche Zuwachs an Derbholz, Reisholz und Laub/Nadeln berechnet und als Zuwachs der oberirdische Biomasse bzw. als Derbholzzuwachs (in Volumenfestmeter pro Flächeneinheit und Zeiteinheit) für die Validierung der modellierten NPP zur Verfügung gestellt (siehe Abschn. 5.1.2).

Um die modellierte NPP mit dem Zuwachs der oberirdischen Biomasse bzw. des Derbholzes zu vergleichen, ist es notwendig, die modellierte jährliche NPP pro Flächeneinheit in Zuwachs an oberirdischer Biomasse pro Flächeneinheit bzw. Derbholz pro Flächeneinheit umzurechnen. Nach /87/ lässt sich der in der lebenden Biomasse jährlich akkumulierte Zuwachs an Kohlenstoff berechnen, wenn neben dem Zuwachs an Derbholz die Dichte des Holzes (getrennt nach Holzdichte des Stamms und der Äste), das Verhältnis von unterirdischer zu oberirdischer Biomasse, der Konversionsfaktor für Kohlenstoff in Trockenmasse und ein sog. Biomasseexpansionsfaktor berücksichtigt wird. Der Biomasseexpansionsfaktor (BEF) beschreibt das Verhältnis von Kronenentwicklung zur Stammentwicklung und ist abhängig von der Baumart und dem Alter der Bäume. /87/ entwickelte in seiner Doktorarbeit einen neuen Ansatz zur Beschreibung der Krone im Verhältnis zum Stamm und führte eine Volumenexpansionsfunktion (VEF), die das Verhältnis von Baumholzvolumen zum Derbholzvolumen beschreibt, ein. Durch intensive Messungen an Laub- und Nadelbäumen verschiedenen Alters konnte die Volumenexpansionsfunktion als eine lineare Regression des Derbholzvolumens parametrisiert werden. Damit hatte /87/ einen einfachen Weg gefunden, den Kohlenstoffzuwachs (und damit die NPP) in Abhängigkeit des Zuwachs an Derbholz zu berechnen.

Die Validierung des modellierten Zuwachses des Derbholzes von Laub- und Nadelbäumen für Deutschland für die beiden Untersuchungsjahre 2000 und 2001 ist in Abb. 37 gezeigt. Man erkennt einen streng linearen Zusammenhang mit einem Bestimmtheitsmaß von etwa 0,94. Die Steigung von etwa 0,54 deutet darauf hin, dass das Modell systematisch den Derbholzzuwachs etwa um den Faktor 2 unterschätzt. Es wird vermutet, dass diese Unterschätzung des Zuwachses von Derbholz durch die gewählten pflanzenphysiologischen Parameter bedingt ist. Da das mittlere Alter des deutschen Walds bei etwa 65 Jahren liegt, hat der mittlere Zuwachs nach Daten der BWI<sup>2</sup> für Nadelbäume mit etwa 19,1 m<sup>3</sup>/ha\*a das Maximum erreicht und auch der mittlere Zuwachs der Laubbäume liegt mit etwa 12,1 m<sup>3</sup>/ha\*a im Maximum. Damit weist der deutsche Wald auf Grund seiner Altersstruktur den maximal möglichen Zuwachs auf. Die modellierten Zuwächse liegen bei etwa der Hälfte der oben gezeigten Werte. Daher wird vermutet, dass BETHY/DLR einen alten Wald modelliert.



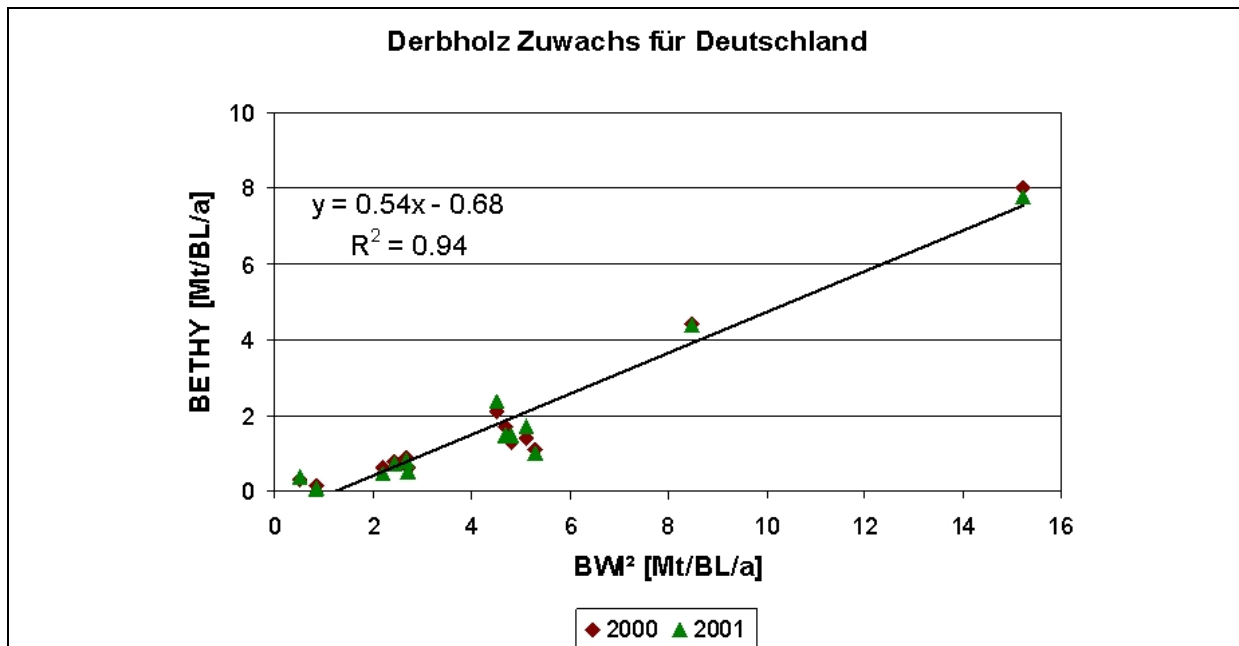


Abb. 37: Validierung der modellierten NPP forstwirtschaftlicher Flächen Deutschlands für die Jahre 2000 und 2001 mit der aus der Bundeswaldinventur 2 geschätzten NPP. Die lineare Korrelation zeigt ein Bestimmtheitsmaß von etwa 0,94 und eine Steigung von etwa 0,5. (Quelle: DLR)

### Land- und forstwirtschaftliche Biomassepotenziale

Die im vorigen Kapitel beschriebene Validierung der Modellergebnisse für land- und forstwirtschaftliche Flächen hat gezeigt, dass ein linearer Zusammenhang zwischen der modellierten NPP und statistisch erhobenen Erträgen bzw. Zuwächsen existiert. Um die modellierte NPP in ein Biomassepotenzial in Form einer theoretisch verfügbaren Energie zu übertragen, wurde im Rahmen dieses Projekts in Zusammenarbeit mit dem DBFZ für jedes Bundesland die Heizwerte für Derbholz von Laub- und Nadelbäumen abgeleitet. Dabei wurden für jedes Bundesland die relative Verteilung der angepflanzten Bäume und deren Altersstruktur berücksichtigt. Die Heizwerte für Laub- und Nadelbäume wurden /60/ entnommen. Abb. 38 zeigt die Verteilung der theoretisch verfügbaren Energie von Derbholz für das Jahr 2000 für Deutschland.

Zur Ableitung der nutzbaren Energie wurde die mit BETHY/DLR modellierte NPP genutzt ohne die durch die Validierung erkannte Unterschätzung zu korrigieren. Außerdem wurde eine nachhaltige Nutzung der forstlichen Biomasse angenommen. Dies bedeutet, dass nur der jährliche Zuwachs zur Energiesubstitution herangezogen wird.

Für die Ableitung des unter nachhaltigen Gesichtspunkten theoretisch verfügbaren Derbholzzuwachses in Energieeinheiten wurde vom DBFZ im Rahmen dieses Projekts, analog zu der Bestimmung des Zuwachses der oberirdischen Biomasse bzw. des Derbholzes, für jedes Bundesland unter Berücksichtigung der Baumarten- und Altersverteilung, für jede Hauptbaumart (Laub-, Nadel-, und Mischwald) ein durchschnittlicher Energieertrag (in Energieeinheit pro Flächeneinheit und Zeiteinheit) berechnet und zur Verfügung gestellt.

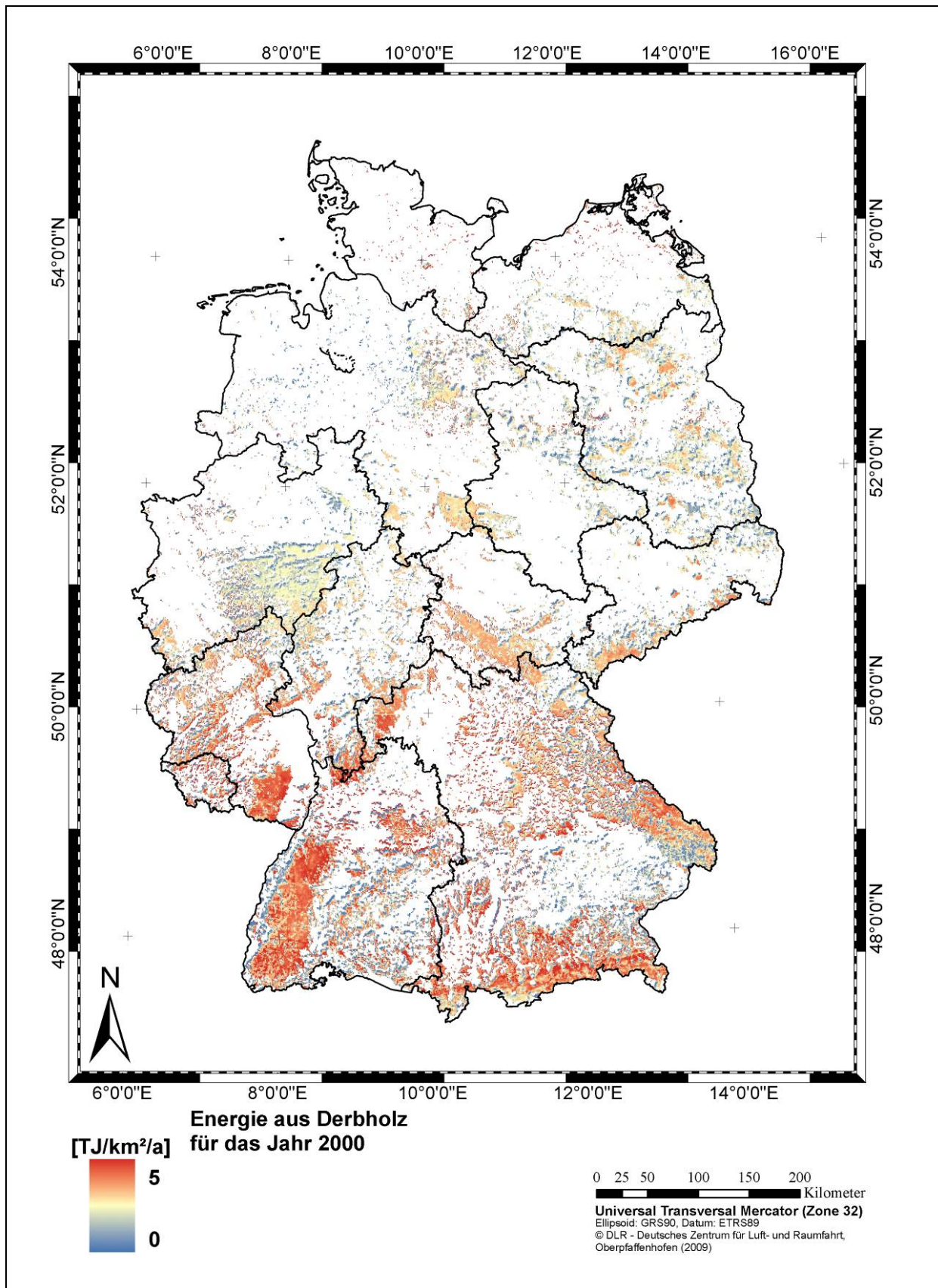


Abb. 38: Nachhaltig theoretisch verfügbares Derbholz in Energieeinheiten forstlicher Flächen für 2000 für Deutschland. Eine Korrektur der Unterschätzung der modellierten Ergebnisse wurde nicht durchgeführt. (Quelle: DLR)

### Änderung der Landbedeckung bzw. Landnutzung durch Feuer

Im Rahmen einer Literaturrecherche wurde untersucht, welche Daten und Algorithmen genutzt werden, um auf globaler Skala die Änderung der Landbedeckung bzw. Landnutzung durch Brände zu erfassen. Die Untersuchung ergab, dass im Wesentlichen vier globale Aktivitäten die Veränderungen der Landoberfläche durch Brände erfassen, das GLOBSCAR /31/, /86/, /108/, das GBA2000 /114/, das GlobCarbon und das „MODIS Burnt Area“ Projekt /95/. In allen Projekten wurde versucht, den Zeitpunkt und den Ort der Brände zu bestimmen sowie die verbrannten Flächen quantitativ zu erfassen. Bis auf das MODIS-Projekt (500 m x 500 m) liegt die räumliche Auflösung der Produkte bei 1 km x 1 km. Derzeit sind noch nicht alle Projekte abgeschlossen. Die bereits verfügbaren Ergebnisse weisen verbrannte Flächen für das Jahr 2000 von  $2 \times 10^6 \text{ km}^2$  (GLOBSCAR) bis zu  $3,5 \times 10^6 \text{ km}^2$  (GBA2000) /10/ bzw.  $3,8 \times 10^6 \text{ km}^2$  (L3JRC) aus. Das L3JRC-Produkt entstammt der Erweiterung des Untersuchungszeitraums und einer Modifizierung der Algorithmen die für das GBA2000-Projekt genutzt wurden /115/. Dazu wurden die Daten des Sensors SPOT-VEGETATION für den Zeitraum 2000 bis 2007 genutzt. Im Gegensatz zum GBA2000-Projekt wurde hier ein regionaler Algorithmus so modifiziert, dass er global angewendet werden konnte.

Am 11. November 2009 wurde die „Climate Change Initiative (CCI)“ der ESA veröffentlicht, die zum Ziel hat, globale Zeitreihen sog. wichtiger Klimavariablen (Essential Climate Variables (ECV)) aus Fernerkundungsdaten zu erstellen. Mit Hilfe der ECVs soll es möglich werden, die Arbeiten zur UN-Klimakonvention (UNFCCC) im Sinne einer systematischen Beobachtung zu unterstützen. Eine ECV, die erarbeitet werden soll, ist die Identifizierung und Vermessung verbrannter Flächen (BA). Mit dieser Größe kann die Zerstörung bzw. Umwandlung von bewaldeten Flächen in agrarische Flächen quantifiziert werden. Die ESA-Initiative zum Klimawandel ist als dreistufiges Programm mit einer Laufzeit von 6 Jahren ausgelegt und soll die oben beschriebenen europäischen Aktivitäten und internationalen Erfahrungen zu einem konsistenten „Burnt Area“ Produkt zusammenfassen. Mit diesem Datensatz wird es in der Zukunft möglich sein, den Verlust forstwirtschaftlicher Fläche in Folge von Brandrodung bzw. Waldbrand global zu quantifizieren und damit die tatsächliche Waldfläche aktuell und besser abschätzen zu können.

### Landdegradation und Erosion

Basierend auf der Literaturstudie kann festgestellt werden, dass die Kartierung von Degradation und Erosion mit Fernerkundungsmethoden im Augenblick noch Stand der aktuellen Forschung ist. Operationelle bzw. globale Anwendungen sind nicht bekannt. Die Ursache dafür liegt in der notwendigen Messtechnik und in der erforderlichen räumlichen Auflösung. Die Degradation landwirtschaftlicher Flächen z. B. durch Wassererosion nach heftigen Niederschlägen ist hauptsächlich in semi-ariden Gebieten mit spärlicher Vegetation zu beobachten. Die am Satelliten empfangene Reflektion eines Pixels wird bestimmt durch den Anteil der Vegetation und den des Bodens, so dass keine eindeutige spektrale Signatur sondern eine spektrale Mischsignatur gemessen wird. Um die Anteile zu trennen, werden sog. Entmischungsverfahren eingesetzt, die umso bessere Ergebnisse liefern je höher die räumliche Auflösung ist /76/. Zusätzlich wird die Entmischung verbessert, wenn die spektrale Auflösung zunimmt. Daher werden derzeit hyperspektrale Daten genutzt, die in der Regel auf Flugzeug-Messungen basieren und nur lokale Untersuchungen erlauben. /48/ haben mit Landsat-Daten mit 30 m räumlicher Auflösung zeigen können, dass Landdegradation durch spektrale Indikatoren wie Intensität, Farb- und Formindex klassifiziert werden kann. Ebenso zeigten sie, dass Landdegradation im Mittelmeerraum mit Entmischungstechniken kartiert werden kann. Voraussetzung ist aber die Messung lokaler Bodenspektren, die als Refe-



renzspektren genutzt werden. Mit diesen Methoden der Fernerkundung kann das Erosionsrisiko abgeschätzt werden, wenn zusätzlich geomorphometrische Attribute wie Hangneigung und vertikale und horizontale Krümmung des Geländes bekannt sind. Solche Informationen können prinzipiell aus digitalen Geländemodellen abgeleitet werden. Es wird jedoch auch deutlich, dass die globale Berechnung des Erosionsrisikos mit einer räumlichen Auflösung von etwa 1 km x 1 km wenig aussagekräftig ist.

#### 6.5.4 Gesamtbewertung und Schlussfolgerungen

Die gezeigten Ergebnisse zur Ableitung des Biomassepotenzials land- und forstwirtschaftlicher Flächen in einer räumlichen Auflösung von etwa 1 km x 1 km machen deutlich, dass die Nutzung von Fernerkundungsdaten als Eingangsdaten für komplexe Pflanzenwachstumsmodelle zu quantitativen Karten der nutzbaren Bioenergie führen. Die Validierung der Modellergebnisse für land- und forstwirtschaftliche Flächen hat gezeigt, dass ein linearer Zusammenhang zwischen der modellierten NPP und statistisch erhobenen Erträgen bzw. Zuwächsen existiert. Die Bestimmtheitsmaße sind teilweise sehr hoch und erreichen ein  $r^2$  bis 0,94. Es hat sich jedoch auch herausgestellt, dass das Modell den Zuwachs an Derbholz etwa um den Faktor 2 unterschätzt. Da das mittlere Alter des deutschen Waldes bei etwa 65 Jahren liegt und hier die maximal möglichen Zuwachsraten erwartet werden können, wird der Grund für die systematische Unterschätzung darin gesehen, dass durch die verwendeten pflanzenphysiologischen Parameter ein zu alter Wald modelliert wurde. Für die landwirtschaftlichen Flächen Deutschlands wurde eine nicht ganz so große Unterschätzung gefunden (17 %), für Österreich sogar eine 1:1 Steigung. Insgesamt kann festgestellt werden, dass durch die Kombination von Fernerkundungsdaten und einem Vegetationsmodell landwirtschaftliche Erträge und der forstliche Zuwachs und damit das theoretische Biomassepotenzial zuverlässig wiedergegeben werden. Durch den Einsatz von Fernerkundungsdaten mit einer räumlichen Auflösung von 1 km x 1 km ist es damit möglich, Biomassepotenziale in derselben räumlichen Auflösung mit hoher Genauigkeit abzuschätzen. Die statistisch erhobenen Biomassepotenziale, die in Europa auf Landkreisebene (NUTS-3-Einheiten) und global in der Regel auf Länderebene verfügbar sind, können mit dem neuen Verfahren hoch aufgelöst dargestellt werden. Damit kann man erwarten, dass Biomassepotenziale mit hoher räumlicher Auflösung auch für die Länder der Welt abschätzbar sind, für die keine statistischen Daten vorliegen. Für eine globale Abschätzung des Biomassepotentials in einer Auflösung von 1 km x 1 km ist mit einem Arbeitsaufwand von etwa 2.000 Arbeitstagen zu rechnen. Dabei wird die derzeit verwendete Konfiguration des Modells und der Datenprozessierung angenommen.

#### 6.5.5 Handlungsempfehlungen

Die Ergebnisse der Modellierung und die Validierung der Ergebnisse mit statistischen Daten hat gezeigt, dass eine höhere räumliche Auflösung der Eingangsdaten, insbesondere der Fernerkundungsdaten, wünschenswert ist. Mit höher räumlich aufgelösten Daten wird es möglich sein, die Klassifikation der Landnutzung zu verbessern, indem auch kleinräumige Strukturen wie z. B. Wälder, deren Fläche unter 1 km<sup>2</sup> liegen, erfasst und erkannt werden. In den Bundesländern Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern sind solch kleinräumige Strukturen vermehrt zu finden. Mit den bisherigen Fernerkundungsdaten sind sie jedoch als landwirtschaftliche Flächen klassifiziert. Daneben kann erwartet werden, dass mit der höheren räumlichen Auflösung auch mehr Klassen erfasst werden und z. B. die Trennung der Klasse „Nadelwald“ in die Klassen Fichte und Kiefer möglich wird. Es wäre sinnvoll, wenn auch die Klasse „landwirtschaftliche Flächen“ in einzelne Getreidearten wie Mais, Weizen oder Zuckerrübe unterteilt werden könnten. Mit einer höheren, räumlichen Auflösung ist auch zu erwarten, dass die Zeitreihen des LAI ver-

bessert werden, indem die Mischpixelproblematik verringert wird. Bei einer Auflösung von 1 km x 1 km ist davon auszugehen, dass fast jeder Pixel in Deutschland einen Mischpixel darstellt. Dies bedeutet, dass innerhalb eines Pixel die klassifizierte Vegetation nicht homogen verteilt ist, sondern dass mindestens zwei Klassen zur spektralen Signatur beitragen und damit auch zum LAI.

Es wird angeregt, dass die Landklassifikation nicht nur verbessert wird, sondern dass sie jährlich aktualisiert wird. Dies erfordert ein regelmäßiges Monitoring, das flächendeckend und global nur mit Hilfe von Fernerkundungsmethoden effizient durchgeführt werden kann.

Für die Validierung der forstlichen Biomasse wurden die Daten der BWI<sup>2</sup> herangezogen, die nur auf Bundeslandebene zur allgemeinen Nutzung zur Verfügung stehen. Es wird empfohlen, dass in Zukunft Daten zum Zuwachs forstlicher Flächen auch auf NUTS-3-Ebene zur Verfügung stehen (evtl. bei der geplanten Bundeswaldinventur 3, die in den Jahren 2011 und 2012 stattfinden soll).

Die Ergebnisse des Projekts haben gezeigt, dass die Modellierung der NPP forstlicher Flächen systematisch unterschätzt wird. Die Daten der BWI<sup>2</sup> zeigen deutlich, dass der forstliche Zuwachs stark vom Alter der Bäume abhängt, das in der aktuellen Version von BETHY/DLR nicht berücksichtigt wird. Es wird daher empfohlen, die Modellierung der NPP von Bäumen altersabhängig zu formulieren. Damit wird ein weiterer Eingangsdatensatz benötigt, der im Augenblick noch nicht als Karte zur Verfügung steht. Die Entwicklung dieses Datensatzes wird empfohlen.

Mit der Verabschiedung des nationalen Biomasseplans durch das Bundeskabinett am 29. April 2009 wurde festgelegt, dass die zukünftige Nutzung von Bioenergie und insbesondere der Anbau der dazu notwendigen Pflanzen effizient und nachhaltig erfolgen müssen. Insbesondere wurde entschieden, dass heimische oder importierte Bioenergieprodukte nicht in Konflikt mit der Ernährungssicherheit und dem Schutze der Umwelt geraten dürfen. Um diese Anforderungen zu überprüfen, wurde ein Zertifizierungssystem gefordert und bereits beschlossen. Es wird daher empfohlen, das Zertifizierungssystem mit Hilfe von Fernerkundungsverfahren zu unterstützen. Dazu werden operationelle Verfahren im Rahmen der ESA CCI entwickelt und in der nahen Zukunft zur Verfügung stehen.

## 7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Nach dem Integrierten Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung (IEKP) soll der Anteil der Energiebereitstellung aus Biomasse bis 2020 deutlich erhöht werden. Um den damit verbundenen Endenergiebedarf zu decken, müssen etwa 1,1 – 1,5 EJ/a biogene Brennstoffe eingesetzt werden. Die regionale und globale Verteilung der Biomassepotenziale weist zum einen auf ein erhebliches Potenzial hin, zeigt aber auch, dass für die Erreichung der IEKP-Ziele in einigen Feldern Diskussions- und Steuerungsbedarf besteht:

Aus den **stoffstrombasierten Potenzialberechnungen** ergibt sich **für Deutschland** ein technisches Brennstoffpotenzial für 2020 von ca. 1,5 bis 1,8 EJ/a. Damit ist die Rohstoffbasis für die Deckung der IEKP-Ziele grundsätzlich gegeben. Unter den getroffenen Annahmen ist in allen drei untersuchten Szenarien (Business as usual, Bioenergie, Bioenergie mit erhöhten Umwelt- und Naturschutzrestriktionen) eine Übererfüllung der IEKP-Ziele für Strom und Wärme mit einheimischer Biomasse zu verzeichnen (in 2020 ca. 16 – 20 %iger Anteil Biomasse am gesamten Stromverbrauch und ca. 22 – 26 %iger Anteil an gesamter Wärmeversorgung), während das Kraftstoffziel von 12 % höchstens zu zwei Dritteln erfüllt werden kann. Begründet liegt dies in der Szenarienannahme zum Anbaumix von Energiepflanzen, wodurch die Bereitstellung von Rohstoffen für die Biokraftstoffproduktion (gegenwärtig maßgeblich Raps, Getreide und Zuckerrübe) höchstens auf 1,7 Mio. ha Ackerflächen erfolgt (entspricht etwa der Hälfte der potenziellen Anbauflächen für Energiepflanzen in Deutschland). Werden die verfügbaren Potenziale weitgehend genutzt, ist für Deutschland in etwa eine Verdoppelung des heute vorhandenen Bioenergieanlagenparks sowie dessen Erweiterung um innovative Technologien (SNG, BtL etc.) möglich. Auch in der Umsetzung kommen regionale Anknüpfungspunkte eher für die Strom- und Wärmebereitstellung aus Biomasse zum tragen, während die Biokraftstoffbereitstellung sowohl in der Rohstoffversorgung als auch in der Produktdistribution überregional erfolgt.

Der im Rahmen von IEKP vorgesehene Ausbau der Bioenergienutzung hat damit wesentliche Effekte in der Fläche wie auch durch den Bezug von Biokraftstoffen auf internationale Märkte:

Die Umsetzung der IEKP-Ziele mit Hilfe von einheimischer Biomasse kann auf der regionalen Ebene Konflikte hervorrufen, wenn die Erfordernisse der Bioenergiebereitstellung anderen gesellschaftlichen, ökonomischen und ökologischen Zielen entgegenstehen. Die Untersuchung der **räumlichen Wechselwirkungen** am Beispiel der Planungsregion Westsachsen zeigt, dass aus der energetischen Biomassennutzung sowohl negative als auch positive Umweltauswirkungen einerseits sowie Flächenkonkurrenzen aber auch räumliche Synergien andererseits resultieren. Die Ausprägung der räumlichen Wechselwirkungen wird dabei maßgeblich von den lokalen Gegebenheiten des jeweiligen Naturraums in den einzelnen regionalen Teilräumen sowie von den technologischen Anforderungen der Bioenergiebereitstellung bestimmt. Die Definition von Gunst-, Restriktions- und Ausschlussräumen sowohl für bestimmte Fruchtarten bzw. Anbausysteme als auch Gunsträume für Anlagen erweist sich für die Regionalplanung als ein geeignetes Mittel, um die Bioenergiebereitstellung räumlich gezielt zu steuern. Einzelne regionalplanerische Fachbeiträge können diese Informationen bspw. für die Bereiche Naturschutz und Landschaftspflege, Raumnutzungen und technische Infrastruktur abbilden und in Form eines Biomasseentwicklungskonzeptes bündeln, welches wiederum Bestandteil eines regionalen Energiekonzeptes sein kann.

Die Stärken eines solchen Biomasseentwicklungskonzeptes liegen weniger in seiner Steuerungswirkung, die bei einem nicht behördenverbindlichen, informellen Instrument eher gering einzu-

schätzen sind, als vielmehr in der regionalspezifischen Datenaufbereitung und -verfügbarkeit und der flexiblen und handhabbaren Grundlage für die Regionalplanung zur Bewertung und Entscheidung von raumbedeutsamen Maßnahmen und Vorhaben, auf der ein gesamträumlicher Abwägungsprozess basiert.

Die Analyse des Regionalplans Westsachsens zeigt, dass obwohl keine gesonderten textlichen oder zeichnerischen Aussagen zur Bioenergiebereitstellung getroffen werden, der Regionalplan zu wesentlichen Teilen des identifizierten Steuerungsbedarfs Aussagen trifft. Dies umfasst nicht nur Aspekte der räumlichen Steuerung von Bioenergieanlagen, sondern auch jene, welche Einfluss auf die landwirtschaftliche Nutzung in den einzelnen Teilräumen nehmen. Dennoch stößt der stark formalisierte Regionalplan an zwei Grenzen. Zum einen ist er zu statisch, als dass mit ihm kurzfristig auf „neue“ Entwicklungen (Technologien, Anbausysteme, Marktentwicklungen etc.) reagiert werden könnte. Zum anderen ist er, um seine Lesbarkeit und somit seine Handhabbarkeit zu gewährleisten, in der Zahl seiner Inhalte beschränkt.

Da das IEKP-Ziel im Bereich Biokraftstoffe voraussichtlich nur eingeschränkt mit Biomasse aus Deutschland umgesetzt werden wird, wird zukünftig die Bedeutung des **Imports von Biomassen und/oder von Bioenergieträgern** zunehmen. Entsprechend sind die künftig global zu erwartenden Biomassepotenziale wie folgt einzuordnen:

- Für **biogene Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle (kurz Reststoffe)** ergibt sich ein globales Potenzial in der Größenordnung von etwa 30 EJ/a, wobei die Fraktionen Stroh und Waldrestholz die größten Potenziale aufweisen (ca. 13 und 10 EJ/a). Aufgrund des weltweiten Bevölkerungswachstums wird das Reststoffaufkommen tendenziell im Untersuchungszeitraum bis 2020 weiter zunehmen, allerdings wird der Import von Reststoffen bzw. reststoffbürtigen Bioenergieträgern infolge ihrer geringen Energiedichten und teilweise ungünstigen Substrateigenschaften nur eine untergeordnete Rolle spielen. Im Regelfall ist die Vor-Ort-Nutzung aus ökonomischer und ökologischer Sicht sinnvoller.
- Für die **landwirtschaftlichen Biomassen** wird in den verschiedenen Alternativszenarien deutlich, dass die globalen Flächen- und Brennstoffpotenziale im Wesentlichen von der Nahrungsmittelnachfrage einerseits und den Ertragssteigerungen auf begrenzter Ackerfläche andererseits abhängen. Während in den letzten 20 Jahren die Weltagrarmärkte durch strukturelle Überproduktion gekennzeichnet waren, könnte die zukünftige Entwicklung über kurz oder lang zu einer Umkehr hin zu Defizitmärkten führen. Die Kontinente und Teilkontinente entwickeln sich dabei szenarienübergreifend in unterschiedliche Richtungen: während Europa, Nordamerika und Südamerika erhebliche und stabile Flächenpotenziale für die Bioenergiepflanzenproduktion vorhalten können, besteht in Asien und Afrika ein zunehmender Importbedarf an Nahrungsmitteln, der unter der Annahme eines globalen Handelsausgleichs auch eine rechnerische Flächeninanspruchnahme der potenziellen Bioenergieflächen in den anderen Regionen erfordert. Gleichzeitig wird die ggf. zu erwartende Verknappung zu Preiseffekten führen, die Produktionssteigerungen unterstützen. Die Quantifizierung dieser Effekte ist schwierig - nach einem entsprechenden Szenario „Bioenergie“ kann man global ein Flächenpotenzial von 200 Mio. ha/a (Ackerland für Energiepflanzenanbau) erwarten, woraus sich Importpotenziale von flüssigen bzw. gasförmigen Biokraftstoffen für 2020 mit ca. 6,5 EJ/a ableiten. Zusätzlich zu den bereits heute produzierten Biokraftstoffmengen könnten jährlich ca. 187 Mio. t Bioethanol, 31 Mio. t Biodiesel und 6,6 Mrd. m<sup>3</sup> Biomethan bereitgestellt werden (das Dreifache der in 2008 produzierten Menge). Schwerpunktländer der Produktion wären Russland, Brasilien, USA und Indonesien. Die Umsetzung weiterer

Standards des Umwelt- und Naturschutzes (keine direkten Landnutzungsänderungen wie z. B. Grünlandumbruch und Rodung von Primärwäldern, weitere Umwidmung von 2 % Ackerfläche zu Naturschutzzwecken ohne landwirtschaftliche Nutzung) reduziert dieses Potenzial ggf. erheblich.

- Als weiteres Potenzial wird der Energiepflanzenanbau auf **degradierten Flächen** genannt. Für diese werden sehr unterschiedliche Ausdehnungen angegeben (von 6 bis zu 35 Mio. km<sup>2</sup>), und sie zeigen ein sehr breites Spektrum an Bodenqualität und Ertragserwartungen, Vornutzungen etc. Damit ist eine generelle Einordnung dieses Flächenpotenzials nicht möglich. Synergien zwischen Flächenaufwertung und Biomasseproduktion - auch zur Bereitstellung für internationale Märkte - können sehr wohl möglich sein.
- Die Ergebnisse im Bereich der **forstwirtschaftlichen Biomassen** zeigen, dass die weltweiten Waldflächen bis 2020 weiter abnehmen, während die Plantagenflächen weiter zunehmen. Das weltweite Rohholzpotenzial im Jahr 2020 wird in Abhängigkeit vom gewählten Szenario auf zwischen 3,2 bis 4,2 Mrd.  $t_{atro}$  geschätzt. Eine Gegenüberstellung mit dem weltweiten Rohholzverbrauch zeigt, dass auch nach Abzug der stofflichen Nutzung das Rohholzpotenzial im Jahr 2020 insgesamt nicht ausgeschöpft würde und damit zusätzlich für die energetische Nutzung zur Verfügung stände. Nur in einigen afrikanischen, asiatischen und europäischen Ländern läge der Rohholzverbrauch über dem nachhaltig verfügbaren Rohholzpotenzial. Diese Länder müssten, um den für das Jahr 2020 berechneten Rohholzverbrauch decken zu können, entweder mehr Holz importieren oder mehr Rohholz aus heimischen Wäldern nutzen als nachhaltig verfügbar wäre. Kurzfristig würde dies zu einer Absenkung des Holzvorrats führen; mittel- bis langfristig wäre eine Degradation der Wälder die Folge. Große Rohholzpotenziale in Russland, Nordamerika und Brasilien sollten auch nicht drüber hinwegtäuschen, dass deren Mobilisierung eine große Herausforderung (ökonomisch und ökologisch) darstellen würde. Je nach Szenario ergibt sich ein globales technisches Brennstoffpotenzial im Jahr 2020 zwischen 36 bis 57 EJ/a. Grundsätzlich stellen diese Brennstoffe einen aussichtsreichen Rohstoff für künftige Biokraftstoffe wie BtL oder SNG dar; wegen der noch zu erwartenden Entwicklungs- und Markteinführungszeiträume würde sich bis 2020 jedoch nur ein geringes Importpotenzial für Kraftstoffe der zweiten Generation ergeben.

Vor dem Hintergrund global knapper werdender Flächen erhält die Forderung eines nachhaltigen und effizienten Umgangs mit den vorhandenen Flächen einen höheren Stellenwert. Mit der Entwicklung von Nachhaltigkeitsstandards und Zertifizierungssystemen für Biokraftstoffe werden gegenwärtig u. a. etablierte Ansätze aus der Forstwirtschaft auf den Energiepflanzenanbau übertragen und möglicherweise die Anwendung auf die Nahrungs- und Futtermittelproduktion und die stoffliche Nutzung vorbereitet. Monitoringsysteme zur Früherkennung von Landnutzungsänderungen müssen den Ausbau globaler Biomassemärkte begleiten. Ein solches Flächenscreening im km-Maßstab könnte mit Hilfe von **Fernerkundungsdaten** und deren Verarbeitung in einem Vegetationsmodell (BETHY/DLR) realisiert werden. Nachdem in diesem Projekt in Ländergruppen lineare Zusammenhänge zwischen Fernerkundungsdaten und statistischen Informationen erreicht werden konnten (für forstwirtschaftliche Flächen von bis zu 94 % und für landwirtschaftliche Flächen bis zu 74 %) sollte die Entwicklung eines solchen Werkzeuges in den nächsten drei bis fünf Jahren möglich sein - entsprechende Entwicklungsaktivitäten werden gegenwärtig von Climate Change Initiative der European Space Agency auf den Weg gebracht. Weiterhin kann die Fernerkundung mittelfristig die Datengrundlage zur Abschätzung von land- und forstwirtschaftlichen Biomasseressourcen insbesondere in den Ländern verbessern, wo die statistische Datenlage lückenhaft ist

(z. B. Forstdaten in Afrika und Asien) sowie regionale „hot spots“ der Biomasseressourcen identifizieren.

Die Projektergebnisse machen deutlich, dass die IEKP-Ziele der Bundesregierung bis 2020 hinsichtlich der Nutzung von Bioenergie erreicht und damit nennenswerte Klimagaseinsparungen erwartet werden können, aber auch Wechselwirkungen von globalen und regionalen Effekten induziert werden. Dies umfasst Unsicherheiten bei der Verfügbarkeit künftiger Flächenpotenziale unter dem Postulat der Ernährungssicherung, die Notwendigkeit effizienter Nutzungssysteme sowie die generelle Debatte um die Begrenztheit der Rohstoffe und der damit verbundenen Verteilungsprobleme. Für eine nachhaltige regionale Bioenergiebereitstellung ergibt sich hieraus die Notwendigkeit flexiblerer Systeme, die der Ansatz und die Instrumente von IEKP bisher nur eingeschränkt aufweisen. Dies stellt auch die Raumordnung vor neue Herausforderungen.

## 8 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Die Wirkungen der energetischen Biomassenutzung zeigen damit sowohl globale als auch nationale und regionale Effekte. Entsprechend werden Handlungsempfehlungen auf allen drei Ebenen gesehen.

### **1. Zielsystem der Bioenergienutzung weiterentwickeln**

Die IEKP-Ziele für Deutschland können rein rechnerisch erreicht werden, sind jedoch insbesondere im Hinblick auf die Biokraftstoffnutzung nur eingeschränkt auf dem heimischen Markt erschließbar und regional kaum zu verankern. Gleichzeitig tragen Biokraftstoffe vergleichsweise weniger zum Klimaschutz bei als der Einsatz von Biomasse zur Strom- und Wärmeversorgung. Sie bieten jedoch als das einzige marktverfügbare Substitut von fossilen Kraftstoffen ein hohes Potenzial bei Fragen der Versorgungssicherheit. Insbesondere im Flugverkehr stellen sie die einzige Alternative zur fossilen Energieversorgung dar. Diese Zielkonflikte müssen vor dem Hintergrund knapper werdender Ressourcen und einer zunehmenden Exportabhängigkeit der Energieversorgung auf gesellschaftlicher Ebene diskutiert und abgewogen werden. Klimagasbilanzen können einen solchen Prozess zwar unterstützen jedoch nicht ersetzen, weil Fragen der Versorgungssicherheit mit Nahrungsmitteln und mit Energie ebenfalls grundlegende Paradigmen darstellen. Auf nationaler Ebene könnte z. B. ein runder Tisch „Bioenergie“ Ausgangspunkt für einen solchen gesellschaftspolitischen Diskurs über die IEKP-Ziele sein. In diesem Abwägungs- und Einigungsprozess sollten die IEKP-Ziele weiterentwickelt werden. Um diese sinnvoll umzusetzen, wird weiterhin empfohlen:

### **2. Voraussetzungen für eine umfassende Erschließung der Reststoffpotenziale schaffen**

Die energetische Nutzung von biogenen Reststoffen geht in der Regel mit vergleichsweise günstigen Umweltwirkungen einher. Die Erschließung dieser sehr unterschiedlichen Stoffströme ist jedoch teilweise durch ihren dezentralen Anfall, die heterogenen und teilweise ungünstigen Brennstoffeigenschaften und die teilweise nur eingeschränkt vorhandene Konversionsanlagentechnik erschwert. Hinzu kommt die lückenhafte Datenlage zur Verfügbarkeit. Mit systematischen Informationen, z. B. in sogenannten biomass-supply-curves, und zielgerichteten Förderinstrumenten könnten Voraussetzungen für die verbesserte Erschließung der Reststoffe geschaffen werden. Die Informationen müssen möglichst räumlich aufgelöst vorgelegt werden, damit sie in die regionalen Planungsprozesse einfließen können. Für die Bestimmung der Reststoffpotenziale wäre die Be-



reistellung entsprechender Systematiken hilfreich (z. B. Leitfaden, Handbuch und/oder internetfähiges Kalkulationstool).

### **3. Alle Möglichkeiten einer nachhaltigen Agrarproduktion und Forstwirtschaft unterstützen**

Global wird Biomasse von Agrarflächen mittelfristig vor allem dann zur Verfügung stehen, wenn die Agrarproduktion in weiten Teilen der Welt alle nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktionspotenziale nutzt. Auch wenn die damit verbundenen Anforderungen vor allem in der Agrar- und Forstpolitik Niederschlag finden müssen (und die Bioenergiepolitik auf diese Notwendigkeiten nur verweisen kann), soll hier doch auf die damit verbundenen Handlungsfelder hingewiesen werden: Intensivierung und Systematisierung der Agrarforschung zur Erzielung hoher Ertragsfortschritte, Verhinderung und Vermeidung von Entwaldung, Aufforstung degradierter Flächen, Technologietransfer sowie konsequentes Wasser- und Flächenmanagement zur Etablierung leistungsfähiger Agrarmanagementsysteme, systematische Analyse und Reduzierung landwirtschaftlicher Klimagase, Sicherung von Landrechten und Teilhabe der Bevölkerung vor Ort, Ausrichtung der energetischen Nutzung von land- und forstwirtschaftlichen Biomassen an der erzielbaren Klimagasersparung sind hier als wesentliche Aspekte zu nennen. Die Politik kann auch darauf hinwirken, dass sich mittel- bis langfristig die Ernährungsgewohnheiten ändern. Auf die anstehenden Unsicherheiten kann die Agrarproduktion in Deutschland vor allem dann reagieren, wenn sie zur Ernährungssicherung und zur Sicherung der Energieversorgung beiträgt.

### **4. Angepasste Mechanismen zur Erreichung der IEKP-Ziele**

Bleiben die politischen Rahmenbedingungen im Wesentlichen erhalten, wird der deutsche Biokraftstoffbedarf in signifikantem Umfang auf dem Weltmarkt nachgefragt werden. Dabei handelt es sich um Märkte, die auch ohne die Nachfrage durch den Biokraftstoffsektor bei den sich abzeichnenden Unsicherheiten der globalen Nahrungsmittelversorgung durch kurzfristige und starke Preisschwankungen gekennzeichnet sein können. Durch den IEKP-Ansatz mit definierten Zielen für einzelne Segmente (wie Biokraftstoffe) und die ebenfalls mit einer bestimmten Mengennachfrage einhergehende Biokraftstoffziele der EU könnten etwaige Verknappungsreaktionen weiter angeheizt werden, wenn zudem Biokraftstoffproduzenten diese knappen Nahrungsmittel als Rohstoffe für Biokraftstoffe zusätzlich und unabhängig von der Preissituation nachfragen. Die Folge sind Teller-oder-Tank-Debatten und eine intensiviertere Produktion mit ökologischen Risiken, die ebenfalls potenziell der Biokraftstoffnutzung angelastet werden. Unabhängig davon, dass der Grad des Zusammenhangs kontrovers zu diskutieren ist, sollte nach Ansätzen zur Steuerung gesucht werden, die eine Stabilisierung der Nahrungsmittelversorgung unterstützen. Solche Instrumente müssen möglichst flexibel sein und im europäischen Kontext initiiert werden. Dazu müssen die auf internationalem Level sehr vielschichtig wirkenden Mechanismen identifiziert und verstanden werden und die Effizienz der Marktsteuerung, wie sie in der Vergangenheit mit der Biokraftstoffquote erfolgte, hinterfragt werden. Die Weiterentwicklung etwaiger Instrumente müsste auf jeden Fall eine höhere Flexibilität beinhalten, z. B. eine hohe Rohstoffnachfrage seitens der Biokraftstoffproduktion bei Überangebot an Rohstoffen (niedrigen Agrarpreisen) und geringe Nachfrage bei Knappheit (hohen Agrarpreisen). Für die Weiterentwicklung der Instrumente besteht damit ein erheblicher Forschungsbedarf.



### **5. Nachhaltige Flächenbewirtschaftung konsequenter umsetzen**

Flächen für die landwirtschaftliche Produktion stellen im Vergleich zur heutigen Situation mittelfristig eine knappe Ressource dar. Die energetische Biomassenutzung in Form des Energiepflanzenanbaus erhöht den Flächennutzungsdruck zusätzlich zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Die sich insgesamt abzeichnende Rohstoffverknappung erfordert eine zielgerichtete Ressourcennutzung, sowohl im Hinblick auf die generelle Flächeninanspruchnahme als auch Richtung Bioenergiebereitstellung und Klimagasvermeidung.

Generell könnte ein nachhaltiges Flächenmanagement einen möglichen strategischen Ansatz darstellen. So sollten bspw. Flächen mit einer hohen Bodenwertzahl in urbanen Randzonen oder in Zwischenräumen verdichteter Gebiete von einer Versiegelung ausgenommen werden, um den landwirtschaftlichen Nutzungsdruck nicht weiter zu erhöhen.

Bei der Bioenergiebereitstellung sind mit den Nachhaltigkeitsstandards für Biokraftstoffe erste Ansätze geschaffen worden, die eine klimagaseffiziente und umweltschonende Rohstoffbereitstellung erfordern. Flächen mit hoher Kohlenstoffspeicherung und Artenvielfalt sind künftig von der Energiepflanzenproduktion ausgenommen. Bisher ist nur ein Teilsystem der Landwirtschaft in das System integriert und damit werden Ausweichreaktionen anderer landwirtschaftlicher Produktionsbereiche auf die sensiblen Flächen erwartet. Auf den zertifizierten Flächen können perspektivisch Effizienzsteigerungen bei dem Biomasseanbau erwartet werden.

### **6. Regional verankerte Energiekonzepte als Baustein für die Versorgungssicherheit**

Die globalen Versorgungsunsicherheiten drücken sich in stärker schwankenden Agrarpreisen aus, die auch die Planungssicherheit für Bioenergieanlagen vor Ort in Deutschland beeinflussen. Regional kann diesem Zustand durch Anlagenkonzepte begegnet werden, an denen sowohl Rohstoffproduzenten als auch Energieversorger und/oder Endenergieverbraucher beteiligt sind, so dass auf der Basis langfristiger Vereinbarungen die Kontinuität der Produktion auch bei Agrarpreisschwankungen gesichert und spekulative Mitnahmeeffekte reduziert werden können. Dezentrale Energiekonzepte auf der Basis regional verankerter Bioenergieanlagen können damit einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten. Regional verankerte Konzepte sollten dabei auch urbane Räume beinhalten, weil hier nennenswerte Wärmesenken vorhanden sind. Für die Konzeption und Umsetzung regionaler Energiekonzepte sind entsprechende Ressourcen und Informationen vorzusehen. Hierzu zählen u. a.

- die Operationalisierung nationaler oder internationaler Zielsysteme und Szenarien (u. a. auch IEKP),
- die Verfügbarkeit technisch-konzeptioneller Informationen über Bioenergieanlagen und die Verwendungsmöglichkeiten der erzeugten Bioenergie auch vor dem Hintergrund der sich ändernden Anforderungen an die Energieversorgung,
- räumlich aufgelöste Informationen über regionale Wärmeversorgungsstrukturen und Wärmesenken und
- die Implementierung klimaschutzspezifischer Bewertungsparameter in regionale Bewertungsinstrumente (z. B. Beitrag zum Klimaschutz als eine regionale Umweltauswirkung bei der Umweltprüfung).

Die Form der Umsetzung kann unterschiedlich erfolgen, wobei eine enge Verknüpfung mit dem Regionalplan Vor- und Nachteile haben kann (siehe 7. Handlungsempfehlung).

### **7. Stärkere Steuerungswirkung durch die Regionalplanung**

Zur Umsetzung der flächenspezifischen Anforderungen der Bioenergiebereitstellung sollte die formelle Regionalplanung durch informelle Planungsansätze ergänzt werden. Teilkonzepte regionaler Energiekonzepte können, auch kurzfristig eingesetzt, eine geeignete Bewertungs- und Entscheidungsgrundlage bieten, um die Biomassenutzung für energetische Zwecke raumverträglich zu gestalten. Ein partizipativ angelegter Planungsprozess kann zugleich das Handeln der Regionalplanung gesellschaftlich und politisch stärker legitimieren. Ziel sollte es schließlich sein, relevante informelle Aussagen zukünftig, im Rahmen der Fortschreibung des Regionalplans, unter Abwägung bestehender Ziele und Grundsätze, zu integrieren. Der zum Teil mangelnden Datenlage könnte mit der Institutionalisierung einer Agrarfachplanung sowie einer Energiefachplanung begegnet werden. Sie könnten die für die Umsetzung des beschriebenen Planungsprozesses relevanten Informationen bereitstellen. Dies würde jedoch mittelfristig den Aufgabenbereich der Regionalplanung einengen und somit ihre Kompetenz insgesamt schwächen. Insofern sind politische Entscheidungen über die Bereitstellung von grundlegenden, z. T. aber nicht verfügbaren Daten zur landwirtschaftlichen Nutzung sowie energetischen Entwicklung für die zukünftige Rolle der Regionalplanung in Deutschland maßgeblich.

### **8. Internationale Kooperationen stärken**

Parallel zu einer Stärkung einer nachhaltigen Landnutzung auf regionaler Ebene, sollten eben diese Ansätze auch in internationalen Kooperationen bilateral vorangebracht werden. Hier bestehen durch die Erneuerbare-Energien-Direktive und die Biostrom-Nachhaltigkeitsverordnung prinzipiell gute Voraussetzungen an die angeknüpft werden kann (Forderung nach klimagaseffizienter Rohstoffbereitstellung). Dabei bestehen Chancen auf verschiedenen Ebenen:

- Die zunehmend globalen Märkte für Biomasse und Bioenergieträger sind gegenwärtig noch von einer Reihe technischer und organisatorischer Hemmnisse geprägt. Internationale Standards für die Qualität von Bioenergieträgern aber auch Fragen von Transport und Logistik wie z. B. die technischen Anforderungen zur Einspeisung von Biomethan ins Erdgasnetz unterstützen die Entwicklung dieser Märkte und erleichtern auch und gerade den kleineren Akteuren den Marktzugang.
- Die Produktion von Bioenergieträgern für den potenziellen Import nach Deutschland oder Europa bietet - wenn eine sinnvolle Koppelung mit dem Ausbau der Infrastruktur und Energieversorgung vor Ort gelingt - die Chance der Entwicklung insbesondere ländlicher Räume in Schwellen- und Entwicklungsländern (Technologie- und Wissenstransfer). Ob und wie eine gemeinsame Energiebereitstellung für den lokalen und internationalen Markt erfolgreich realisiert werden kann, bedarf Erfahrungen in ausgewählten Modellprojekten wirtschaftlicher Zusammenarbeit.
- Ein vielversprechendes Forschungsthema stellt die Nutzung degradierter Flächen dar. Gelingt die nachhaltige Produktion von Energiepflanzen auf degradierten Flächen, ist sie mit der Chance der Aufwertung der Produktivität dieser Standorte verbunden. Jedoch müssen diese Ressourcen für den Anbau von Energiepflanzen sehr umsichtig erschlossen werden,

da hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und sozialen Implikationen der Nutzung dieser Anbausysteme Herausforderung bestehen.

- Durch Förderung internationaler Modellprojekte besteht die Chance, Erkenntnisse zur Bewältigung dieser Herausforderung zu gewinnen und in Ländern mit großem Flächenpotenzial umzusetzen. Generell bieten insbesondere Kooperationen mit Osteuropa gute Chancen, da in dieser Ländergruppe zukünftig große landwirtschaftliche Flächenpotenziale zu erwarten sind und bereits eine geeignete technische Infrastruktur existiert (u. a. Gasnetze zur Biomethaneinspeisung).

### **9. Monitoringsysteme aufbauen**

International, national und regional sind zunehmende Kapazitäten zur Bioenergiebereitstellung zu erwarten. Dabei entscheidet vor allem die Frage, aus welcher Biomasse die Bioenergie bereitgestellt wird, über die Nachhaltigkeit der Nutzung. Ein Monitoring mittels Fernerkundung hilft hier, regionale „hot-spots“ der Biomasseproduktion aufzuzeigen und Landnutzungsänderungen zu ermitteln. Regional könnten Indikatoren helfen, den Umsetzungsstand und das weitere Potenzial der Bioenergienutzung zu beschreiben und damit aus der Vielzahl der regional verfügbaren Informationen zielgerichtete Bewertungsparameter für die regionalen Strategien und Handlungsansätze zu erhalten. Auch wenn vereinzelt bereits Indikatoren benannt werden können, ist eine systematische Herleitung erst auf Basis eines abgestimmten Zielsystems (siehe 1. Handlungsempfehlung) möglich.

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abb. 1:	Darstellung der Teilprojekte und deren Verknüpfung (Quelle: DBFZ) .....	18
Abb. 2:	Darstellung der verschiedenen Ebenen des Nutzungspfades und der entsprechenden Potenzialbegriffe (Quelle: DBFZ) .....	20
Abb. 3	Darstellung der verschiedenen Szenarienansätze für die globalen und deutschlandweiten Betrachtungen sowie für die Beispielregion Westsachsen (Quelle: DBFZ).....	22
Abb. 4:	Technisches Brennstoffpotenzial von landwirtschaftlichen Biomassen (Energiepflanzen und Grünlandaufwuchs) Deutschland 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: DBFZ) .....	29
Abb. 5:	Technische Brennstoffpotenziale von Energiepflanzen 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: DBFZ) .....	30
Abb. 6:	Technisches Brennstoffpotenzial forstwirtschaftliche Biomassen in den Bundesländern, Ø 2002 - 2008 (Quelle: DBFZ) .....	31
Abb. 7:	Technisches Brennstoffpotenzial von Stroh Deutschland 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: DBFZ) .....	32
Abb. 8:	Verteilung des theoretischen und technischen Brennstoffpotenzials von Industrierestholz in den Bundesländern für 2007 (Quelle: DBFZ) .....	34
Abb. 9:	Summe der technischen Brennstoffpotenziale für Deutschland 2007 und in den Szenarien 2020 (Quelle: DBFZ) .....	35
Abb. 10:	Möglicher Anteil von Bioenergie am gesamten Endenergieverbrauch in den Szenarien 2020 (Quelle: DBFZ) .....	36
Abb. 11:	Untersuchungsschritte zur Ermittlung der Steuerungsmöglichkeiten (Quelle: ZALF) .....	38
Abb. 12:	Zielsystem für den Umgang mit der Bioenergiebereitstellung (Quelle: ZALF)45	
Abb. 13:	Empfehlung zur Weiterentwicklung der bestehenden regionalen Planungsansätze (SRU = Sachverständigenrat für Umweltfragen, WBGU = Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, NKGCF = Nationales Komitee für Global Change Forschung, Quelle: ZALF und DBFZ).....	55
Abb. 14:	Beispiele für relevante Indikatoren und standortspezifische Informationen (* landwirtschaftliche Biogasanlage, Δ Biomassevergasung mit Kraft-Wärme-Kopplung, ‡ Biomethan auf Basis von Bio-SNG, Quelle: DBFZ und ZALF) ..	57
Abb. 15:	Ablaufschema - Methodik zur Ermittlung der Flächenpotenziale (Quelle: DBFZ, Uni Hohenheim) .....	60
Abb. 16:	Globales Flächenpotenzial (landwirtschaftlich genutzte Fläche, LF) für Non-Food-Verwendungen, bei Berücksichtigung der Produktivität (Quelle: DBFZ, Universität Hohenheim).....	62

Abb. 17:	Globales Flächenpotenzial (Ackerfläche) für Non-Food-Verwendungen bei globalem Handelsausgleich (Quelle: Universität Hohenheim).....	66
Abb. 18:	Technisches Brennstoffpotenzial von landwirtschaftliche Biomassen 2015, 2020 und 2050, Szenario „BAU“, „B“ und „B&U“ mit Handelsausgleich, aufgeschlüsselt nach den verschiedenen Fruchtarten (Quelle: DBFZ) .....	68
Abb. 19:	Technisches Brennstoffpotenzial von landwirtschaftlichen Biomassen in 2020, Szenario „B“ mit Handelsausgleich (Quelle: DBFZ) .....	69
Abb. 20:	Entwicklung der Wirtschaftswaldfläche in den unterschiedlichen Szenarien im Zeitraum 2005 – 2020 (Quelle: vTI nach /36/) .....	73
Abb. 21:	Entwicklung der Forst- und Kurzumtriebsplantagenfläche in den unterschiedlichen Szenarien im Zeitraum 2005 - 2020 in Mio. ha (Quelle: vTI nach /36/) .....	74
Abb. 22:	Nachhaltig nutzbares globales Rohholzpotezial für die drei Szenarien „BAU“, „B“ und „B&U“ im Jahr 2020 (Quelle: vTI nach /36/) .....	75
Abb. 23	Produktion und Verbrauch von Rohholz der 46 ausgewählten Länder 2005 und 2020 (Quelle: vTI nach /54//55/) .....	77
Abb. 24:	Technisches Energieholzpotezial der 46 ausgewählten Länder in 2020 (Quelle: vTI).....	77
Abb. 25:	Technische Energieholzpoteziale im Szenario „Bioenergie“ der 46 ausgewählten Länder im Jahr 2020 (Quelle: vTI, DBFZ) .....	78
Abb. 26:	Untersuchungsgegenstand globale Reststoffe (Quelle: DBFZ).....	80
Abb. 27:	Technisches Brennstoffpotenzial von Stroh, Ø 2003 - 2007 (Quelle: DBFZ) 81	
Abb. 28:	Technisches Brennstoffpotenzial von Tierexkrementen, Ø 2003 - 2007 (Quelle: DBFZ) .....	82
Abb. 29:	Technisches Brennstoffpotenzial von Waldrestholz 2005 (Quelle: DBFZ) ....	84
Abb. 30:	Technisches Brennstoffpotenzial von Siedlungsabfall, Ø 2003 - 2007 (Quelle: DBFZ) .....	85
Abb. 31:	Technisches Brennstoffpotenzial von Industrierestholz für 64 Länder, Ø 2003 - 2007 (Quelle: DBFZ). .....	86
Abb. 32:	Theoretische Brennstoffpotenziale von Bagasse, Ø 2003 - 2007 (Quelle: DBFZ).....	87
Abb. 33:	Technisches Biokraftstoffpotenzial in den Szenarien „BAU“, „B“ und „B&U“ für 2015 und 2020, aufgeschlüsselt nach der Rohstoffbasis (Quelle: DBFZ) 92	
Abb. 34:	Technisches Biokraftstoffpotenzial für das Szenario „B“ in 2020 (Quelle: DBFZ).....	92
Abb. 35:	Jahressumme der modellierten NPP land- und forstwirtschaftlicher Flächen Deutschlands und Österreichs für das Jahr 2000 (Quelle: DLR).....	98

- 
- Abb. 36: Validierung der modellierten NPP landwirtschaftlicher Flächen Deutschlands für die Jahre 2000 und 2001 mit der aus statistischen Ertragsdaten geschätzten NPP. Die lineare Korrelation zeigt ein Bestimmtheitsmaß von etwa 0,67 und eine Steigung von etwa 0,83. (Quelle: DLR) ..... 100
- Abb. 37: Validierung der modellierten NPP forstwirtschaftlicher Flächen Deutschlands für die Jahre 2000 und 2001 mit der aus der Bundeswaldinventur 2 geschätzten NPP. Die lineare Korrelation zeigt ein Bestimmtheitsmaß von etwa 0,94 und eine Steigung von etwa 0,5. (Quelle: DLR) ..... 102
- Abb. 38: Nachhaltig theoretisch verfügbares Derbholz in Energieeinheiten forstlicher Flächen für 2000 für Deutschland. Eine Korrektur der Unterschätzung der modellierten Ergebnisse wurde nicht durchgeführt.(Quelle: DLR)..... 103

## TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1:	Darstellung der Annahmen in den einzelnen Szenarien für die globalen Betrachtungen (Quelle: Universität Hohenheim, vTI, DBFZ).....	25
Tab. 2:	Verteilung der Fruchtarten auf den Non-Food-Flächen (Quelle: DBFZ).....	28
Tab. 3:	Endenergiebedarf 2020 und Anteil der Energie aus Biomasse (Quelle: DBFZ nach /13/).....	36
Tab. 4:	Anzahl der Bioenergieanlagen, die zur Erzeugung der Energie in den Szenarien 2020 benötigt werden (Quelle: DBFZ).....	37
Tab. 5:	Übersicht der Räume unterschiedlicher UA in der Planungsregion Westsachsen (Quelle: ZALF, abgestimmt im regionalen Expertenworkshop /75/).....	41
Tab. 6:	Übersicht über die Flächenkonkurrenzen beim Biomasseanbau in Westsachsen (Quelle: ZALF, abgestimmt im Regionalen Expertenworkshop /75/).....	42
Tab. 7:	Übersicht über die Flächenkonkurrenzen bezüglich Bioenergieanlagen in Westsachsen (Quelle: ZALF).....	43
Tab. 8:	Globale Anteilsquotienten des nationalen Gesamtpotenzials für Non-Food-Verwendungen (Quelle: Universität Hohenheim).....	63
Tab. 9:	Flächenpotenziale (Ackerfläche) für Non-Food-Verwendungen, Szenario „BAU“ (Quelle: Universität Hohenheim).....	64
Tab. 10:	Flächenpotenziale (Ackerfläche) für Non-Food-Verwendungen (EU-27), Szenario „BAU“ (Quelle: Universität Hohenheim).....	65
Tab. 11:	Technisches Brennstoffpotenzial von landwirtschaftlichen Biomassen 2015, 2020 und 2050, Szenario „BAU“, „B“ und „B&U“ mit Handelsausgleich (Quelle: DBFZ).....	68
Tab. 12:	Liste der walddreichsten Länder und/oder größten Produzenten/Konsumenten von Rohholz (Quelle: vTI).....	76
Tab. 13:	Ergebnisse derzeitiges globales technisches Brennstoffpotenzial, aufgeschlüsselt nach den verschiedenen Reststofffraktionen (* Ergebnis in Form des theoretischen Brennstoffpotenzials; Quelle: DBFZ).....	88
Tab. 14:	Verschiedene Biomassefraktionen und ihre Berücksichtigung als Importbiomassen im Rahmen dieses Projektes (Quelle: DBFZ).....	90
Tab. 15:	Biokraftstoffmengen für die Szenarien „BAU“, „B“ und „B&U“ für 2015 und 2020, aufgeschlüsselt nach den drei betrachteten Kraftstoffarten (Quelle: DBFZ).....	91
Tab. 16:	Zuordnung der GLC2000 zu den Vegetationstypen des Modells BETHY/DLR mit jeweiliger Gewichtung (Quelle: DLR).....	96
Tab. 17:	Korn-Stroh- bzw. Wurzel/Knolle-Laub-Verhältnisse für ausgewählte Feldfrüchte (Quelle: DLR nach * /68/, + /72/, # /70/).....	99



## LITERATUR- UND REFERENZVERZEICHNIS

- /1/ AKADEMIE FÜR RAUMFORSCHUNG UND LANDESPLANUNG (ARL): Wir leben regional. Es ist Zeit für eine gut funktionierende Regionalentwicklung. Positionspapier aus der ARL, Nr. 74, Hannover, 2007
- /2/ BAI, Z.G., DENT, D.L., OLSSON, L., SCHAEPMAN, M.E.: Global assessment of land degradation and improvement 1: identification by remote sensing. Report 2008/01, FAO/ISRIC – Rome/Wageningen, 2008
- /3/ BANZON, J. A.: The coconut as a renewable energy source. Philippine Journal of Coconut Studies, 1980, [www.pcrdf.org/artimages%5Cart%203.doc](http://www.pcrdf.org/artimages%5Cart%203.doc), Zugriff am 20.10.2009
- /4/ BARTHOLOME, E., BELWARD, A.S., ACHARD, F.: GLC 2000 - Global Land Cover mapping for the year 2000. EUR 20524 EN, European Commission, Luxemburg (Research Report), 2002
- /5/ BASTIAN, O., SCHREIBER, K.-F. (HRSG.): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, 1999
- /6/ BERGEN, K.M., DOBSON, M.C.: Integration of remotely sensed radar imagery in modelling and mapping of forest biomass and net primary production. Ecological Modelling, 122, S. 257-274, 1999
- /7/ BHADA, P.: Feasibility Analysis of Waste-To-Energy as a Key Component of Integrated Solid Waste Management in Mumbai, India. M.Sc. Thesis, Columbia University. New York, USA, 2007, [http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Bhada\\_Thesis.pdf](http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Bhada_Thesis.pdf), Zugriff am 09.09.2009
- /8/ BLOTEVOGEL, H.H.: Raum. In: ARL Akademie für Raumforschung und Landesplanung: Handwörterbuch der Raumordnung, Hannover, 2005
- /9/ BOLINDER, M.A. et al.: An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. Agriculture, Ecosystem and Environment, 118, S. 29-42, 2007
- /10/ BOSCHETTI, L., EVA, H.D., BRIVIO, P.A., GRÉGOIRE, J.M.: Lessons to be learned from the comparison of three satellite-derived biomass burning products. Geophysical Research Letters, Vol. 31, L21501, doi:10.1029/2004GL021229, 2004
- /11/ BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMELV), BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU): Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland. Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energieversorgung, 2009
- /12/ BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU): Erneuerbare Energien Gesetz (EEG), Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien, Ausfertigungsdatum 25.10.2008, BGBl. I S. 2074, durch Artikel 5 des Gesetzes vom 28.3.2009, BGBl. I S. 643 geändert, [http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/eeg\\_2009/gesamt.pdf](http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/eeg_2009/gesamt.pdf), Zugriff am 10.08.2009
- /13/ BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU): Leitstudie 2008. Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, 2008
- /14/ BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU): Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien, Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt vom 20. 2. 2009, [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/foerderrichtlinie\\_waerme\\_09.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/foerderrichtlinie_waerme_09.pdf), Zugriff am 03.08.2009

- /15/ BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU): Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG), Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich, Ausfertigungsdatum 7. August 2008, BGBl. I S. 1658), durch Artikel 3 des Gesetzes vom 15. Juli 2009, BGBl. I S. 1804 geändert, [http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/eew\\_rmeg/gesamt.pdf](http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/eew_rmeg/gesamt.pdf), Zugriff am 03.08.2009
- /16/ BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU): Erneuerbare Energien: Innovationen für die Zukunft. [http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/broschüre\\_ee\\_innov\\_zukunft.pdf](http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/broschüre_ee_innov_zukunft.pdf), Zugriff am 03.08.2009
- /17/ BUNDESREGIERUNG: Fortschrittsbericht 2008 zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie. Für ein nachhaltiges Deutschland, 2008
- /18/ BURRIDGE, D.M., GADD, A.J.: The Meteorological Office operational 10-level numerical weather prediction model (December 1997). British Meteorological Office Tech. Notes Nos. 12 and 48. London Road, Bracknell, Berkshire RG12 2SZ, England, 57 pages, 1974
- /19/ COLLATZ, G.J., RIBAS-CARBO, M., BERRY, J.A.: Coupled photosynthesis-stomatal conductance model for leaves of C4 plants. Aust. J. Plant Phys., 19, S. 519-538, 1992
- /20/ DEUTSCHE WILDTIER STIFTUNG (DWS): Bunte Mischung statt monotonem Mais. Projekt unter Leitung der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau sucht nach Alternativen zum Mais bei der Erzeugung von Biogas. Pressemitteilung vom 4. August 2009, Veitshöchheim, 2009
- /21/ DIGREGORIO, A., JANSEN, L.J.M.: Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual for Software Version 1.0., Rome, United Nations Food and Agricultural Organization, S. 194 ff., 2001
- /22/ DUNNE, K.A., WILLMOTT, C.J.: Global distribution of plant-extractable water capacity of soil. International Journal of Climatology 16, S. 841-859, 1996
- /23/ EGGLESTON H.S. et al. (HRSG.): INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5 Waste, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan, 2006
- /24/ EKARDT, F., HEYM, A., SEIDEL, J.: Die Privilegierung der Landwirtschaft im Umweltrecht. In: Zeitschrift für Umweltrecht (ZUR), Heft 4, 19. Jahrgang, S. 169-224, 2008
- /25/ ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA): Annual Energy Outlook 2009, Table A1: World Total Primary Energy Consumption by Region, Reference Case, 1990 - 2030. DOE/EIA-0383(2009), Washington, DC, 2009 <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/energyconsumption.html>, Zugriff am 10.08.2009
- /26/ ERBGUTH, W. Auswirkungen des Umweltrechts auf eine nachhaltige Regionalentwicklung. In: Natur und Recht, Heft 4, S. 211-215, 2005
- /27/ EUROPÄISCHE UNION (EU): Länderkarten der EU 2007. Zugriff am 17.06.2009, [www.eu2007.de/includes/images/Laenderkarten/Deutschlandkarte\\_1.jpg](http://www.eu2007.de/includes/images/Laenderkarten/Deutschlandkarte_1.jpg)
- /28/ EUROPÄISCHE UNION (EU): Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur „Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor“ vom 8.5.2003, [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/biokraftstoffe\\_richtlinie.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/biokraftstoffe_richtlinie.pdf), Zugriff am 16.06.2009
- /29/ EUROPÄISCHE UNION (EU): Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien (ABl. L 312 v. 22.11.2008, S. 3, ber. ABl. L 127 v. 26.5.2009, S. 24)

- /30/ EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT DER EUROPÄISCHEN UNION: Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/44741/>, Zugriff am 10.12.2009
- /31/ EVA, H., LAMBIN, E.F.: Burnt area mapping in Central Africa using ATSR data. *Int. J. Remote Sens.*, 19, S. 3473-3497, 1998
- /32/ FAAIJ, A: Potential Contribution of Bioenergy to the World's Future Energy Demand. International Energy Agency (IEA) Bioenergy, ExCo: 2007: 02. S. 12, 2007, <http://www.ieabioenergy.com/MediaItem.aspx?id=5586>, Zugriff am 10.09.2009
- /33/ FACHAGENTUR FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR): Basisinfo nachwachsende Rohstoffe – Daten und Fakten – Entwicklung der Anbaufläche, <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/service/daten-und-fakten/anbau.html?spalte=3>, Zugriff am 10.09.2009
- /34/ FACHAGENTUR FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) (HRSG.): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. Gülzow, 2008
- /35/ FARQUHAR, G.D., VON CAEMMERER, S., BERRY, J.A.: A biochemical model of photosynthetic assimilation in leaves of C3 species. *Planta*, 149, S. 78-90, 1980
- /36/ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO): State of the World's Forests 2009. Rome, 2009
- /37/ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO): Statistical database (FAOSTAT) - ForesSTAT, Wood Residues. <http://faostat.fao.org/site/626/default.aspx#ancor>, Zugriff am 09.07.2009
- /38/ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO): Statistical database (FAOSTAT) - Agricultural data, Production crops. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>, Zugriff am 08.07.2009
- /39/ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO): Statistical database (FAOSTAT) - Production, Live Animals. <http://faostat.fao.org/site/573/default.aspx#ancor>, Zugriff am 20.10.2009
- /40/ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO): Statistical database (FAOSTAT) - PopSTAT, Annual Time Series. <http://faostat.fao.org/site/550/default.aspx#ancor>, Zugriff am 20.10.2009
- /41/ F. O. LICHT: World Ethanol and Biofuels Report Vol. 7, Nr. 18, 26.05.2009
- /42/ GANSER, K.: Informelle Planung. In: Handwörterbuch der Raumordnung. 4. vollst. überarbeitete Auflage, ARL, Hannover, S. 490, 2005
- /43/ GOBLE, D., JARVIS, C.: Opportunities for using sawmill residues in Australia. Prepared for Forest and Wood Products Australia. Manufacturing & Products, Pro08.2046. Melbourne, Australien, 2007, <http://www.fwpa.com.au/proxy.aspx?s=2&c=2&f=Resources/RD/Reports/PR08.2046%20Opportunities%20for%20using%20Sawmill%20Residues%20in%20Australia%20final%20web.pdf>, Zugriff am 07.07.2009
- /44/ GOETZ, S.J. et al.: Satellite remote sensing of primary production: an improved production efficiency modelling approach. *Ecological Modelling*, 122, S. 239-255, 1999
- /45/ GONZALES-ALONSO, F. et al.: Forest biomass estimation through NDVI composites. The role of remotely sensed data to assess Spanish forests as carbon sinks. *Int. J. Rem. Sensing*, 27 (24), S. 5409-5415, 2006

- /46/ GÜNNEWIG, G et al.: Flächenbedarfe und kulturlandschaftliche Auswirkungen regenerativer Energien am Beispiel der Region Uckermark-Barnim. BBR-Forschungsbericht, Bonn, 2006
- /47/ GÜNTHER, K.P., SCHROEDTER-HOMSCHEIDT, M.: Deriving biomass using remote sensing products. In: Ergebnisbericht 2008 zum Projekt „Globale und regionale räumliche Verteilung von Biomassepotenzialen – Status-Quo und Möglichkeiten der Präzisierung-, Zuwendungsantrag B08-082, BMVBS, S. 265-448, 2008
- /48/ HABOUDANE, D. et al.: Land degradation and erosion risk mapping by fusion of spectrally-based information and digital geomorphometric attributes. *Int. J. Remote Sensing*, 23 (18), S. 3795-3820, 2002
- /49/ HASSUANI, S.J., LEAL, M.R.L.V., MACEDO, I.C.: Biomass power generation – sugar cane bagasse and trash. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, Brazil, 2005
- /50/ HOOGWYJK, M. et al.: Exploration of the ranges of global potential of biomass for energy. *Biomass and Bioenergy* 25, S. 119-133, 2003
- /51/ HÜBNER, C., MÜLLER, K.; MATZDORF, B.: Societal demand for Non-Commodity Outputs within a politic-economic context, Poster, 2009, [http://www.zalf.de/home\\_zalf/download/soz/Poster/poster\\_2009/fb4\\_huebner.pdf](http://www.zalf.de/home_zalf/download/soz/Poster/poster_2009/fb4_huebner.pdf), Zugriff am 12.07.2009
- /52/ INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG GMBH (IFEU): Nachhaltig nutzbares Getreidestroh in Deutschland - Positionspapier. Heidelberg, 2008
- /53/ INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE RAUMENTWICKLUNG (IÖR): Entwicklung eines anwendungsbezogenen Ziel- und Indikatorenkatalogs für Umweltprüfung und Monitoring im Rahmen der Fortschreibung des Regionalplanes der Region Stuttgart. Im Auftrag des Verbands Region Stuttgart. Endbericht Februar 2006, [http://www.region-stuttgart.org/vrsuploads/VRS\\_IOER\\_SUP\\_RPI\\_Endbericht\\_kl.pdf](http://www.region-stuttgart.org/vrsuploads/VRS_IOER_SUP_RPI_Endbericht_kl.pdf), Zugriff am 12.07.2009
- /54/ INTERNATIONAL MONETARY FUND (IMF): World Economic Outlook Database, Schätzungen bis 2014, Stand April 2009
- /55/ INTERNATIONAL PANEL OF CLIMATE CHANGE (IPCC): Socio-Economic Baseline Data. <http://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/baseline>, Zugriff am 11.07.2009
- /56/ INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION (ITTO): Annual Review and Assessment of the World Timber Situation 2007. Yokohama, 2007, <http://www.itto.or.jp/>, Zugriff am 11.07.2009
- /57/ JESSEL, B., TOBIAS, K.: Ökologisch orientierte Planung. Eine Einführung in Theorien, Daten und Methoden. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2002
- /58/ JOHANSEN, T.B., et al.: Renewable Energy: sources for fuels and electricity. Washington D.C., USA, 1993
- /59/ KADAM, K.L., FORREST, L.H., JACOBSON, W.A.: Rice straw as a lignocellulosic resource: collection, processing, transportation and environmental aspects. *Biomass and Bioenergy*, Volume 18, Issue 5, S. 369-389, 2000
- /60/ KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H. (HRSG.): Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001
- /61/ KALTSCHMITT, M., MERTEN, D., FRÖHLICH, N., NILL, M.: Energiegewinnung aus Biomasse. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003 „Welt im Wandel: Energiegewinnung zur Nachhaltigkeit“, Berlin, Heidelberg, 2003
- /62/ KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H., HOFBAUER, H.: Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009

- /63/ KANGAS, K., BAUDIN, A.: Modelling and projections of forest products demand, supply and trade in Europe. Geneva Timber and Forest Discussion Paper 30 (ECE/TIM/DP/30). United Nations, Genf, 2003
- /64/ KNICKEL, K.: Multifunktionale Landwirtschaft: Welche Funktionen sind eigentlich gemeint und was hat die Landwirtschaft tatsächlich zu bieten? In: Schriftenreihe der DLKG, Heft 1: Integrierte Ländliche Entwicklung - wirtschaftlicher und landeskultureller Standortfaktor mit regionalem und lokalem Bezug, S. 16-25, 2004
- /65/ KNOBLICH, T.J., SCHEYTT, O.: Zur Begründung von Cultural Governance. In: Aus Politik und Zeitgeschichte, Politische Steuerung, Heft 08, 2009, <http://www.bpb.de/publikationen/apuz>, Zugriff am 04.09.2009
- /66/ KNORR, W.: Satellite remote sensing and modelling of global CO<sub>2</sub> exchange of land vegetation: A synthesis study. Doctoral thesis, University of Hamburg, 189 pages, 1997
- /67/ KOCH, J., HENDLER R.: Baurecht, Raumordnung- und Landesplanungsrecht. Rechtswissenschaft heute. Borberg Verlag. Stuttgart u. a., 2004
- /68/ KÖHLER, B., KOLBE, H.: Nährstoffgehalte der Fruchtarten im Ökologischen Landbau - Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (9), S. 1-21, 2007
- /69/ KOMPETENZNETZWERK DEZENTRALE ENERGIETECHNOLOGIEN e. V. (DEENET) (HRSG.): Schriftliche Befragung von Erneuerbare-Energie-Regionen in Deutschland - Regionale Ziele, Aktivitäten und Einschätzungen in Bezug auf 100% Erneuerbare Energie in Regionen. Arbeitsmaterialien 100EE Nr.1, Kassel, [http://www.100-ee.de/fileadmin/Redaktion/Downloads/Schriftenreihe/Arbeitsmaterialien\\_100EE\\_Nr1\\_web.pdf](http://www.100-ee.de/fileadmin/Redaktion/Downloads/Schriftenreihe/Arbeitsmaterialien_100EE_Nr1_web.pdf), Zugriff am 17.06.2009
- /70/ KRAUSMANN, F. et al.: Global patterns of socioeconomic biomass flows in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints. Ecological Economics, 65, S. 471-487, 2008
- /71/ KUHN, W.: Neophyten als Energiepflanzen - Chancen und Risiken. Vortrag im Rahmen des 2. Symposium Energiepflanzen, 17./ 18. November 2009, Berlin, 2009
- /72/ KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL): Faustzahlen für die Landwirtschaft, Darmstadt, 2005
- /73/ LEE, Y.H., BÜCKMANN, W., HABER, W.: Bio-Kraftstoff, Nachhaltigkeit, Boden- und Naturschutz. In: NuR Nr. 30, S. 821-831, 2008
- /74/ LEIBLE, L. et al.: Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA 6882, 2003
- /75/ LEIBNIZ-ZENTRUM FÜR AGRARLANDSCHAFTSFORSCHUNG e. V. (ZALF) MÜNCHENBERG, REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSNE (RPV): Dokumentation des Regionalen Experten-Workshops am 26.08.2009 in Leipzig. Müncheberg, 2009 [http://www.bbsr.bund.de/cln\\_016/nn\\_116204/BBSR/DE/Fachthemen/Fachpolitiken/EnergieUmwelt/RegenerativeEnergie/Fachbeitraege/DBFZ/Download\\_\\_Workshop2,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Download\\_Workshop2.pdf](http://www.bbsr.bund.de/cln_016/nn_116204/BBSR/DE/Fachthemen/Fachpolitiken/EnergieUmwelt/RegenerativeEnergie/Fachbeitraege/DBFZ/Download__Workshop2,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Download_Workshop2.pdf), Zugriff am 12.11.2009
- /76/ METTERNICHT, G.I., FERMONT, A.: Estimating erosion surface features by linear mixture modelling. Remote Sensing Environment, 64, S. 254-265, 1998
- /77/ MLADENOVIĆ, R. et al.: Boiler combusting large soya straw bales for heating the greenhouses complex. FME Transactions 36, S. 27-32, 2008
- /78/ MONSTADT, J.: Energiepolitik und Territorialität: Regionalisierung und Europäisierung der Stromversorgung und die räumliche Redimensionierung der Energiepolitik. In Gustedt, Dieter (Hrsg.): Wandel der Stromversorgung und räumliche Politik. ARL Forschungs- und Sitzungsberichte, Band 227, S. 186-216, 2007

- /79/ MORRIS, M., WALDHEIM, L., LINERO, F.A.B., LAMÓNICA, H.M.: Increased power generation from sugar cane biomass – the results of a technical and economic evaluation of the benefits of using advanced gasification technology in a typical Brazilia sugar mill, – in INT. SUGAR JNL., 2002, Vol. 104, Nr. 1242
- /80/ NABUURS, G.J. et al.: Forestry. In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A. (Eds.), Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, S. 541-584, 2007
- /81/ NATURPARK DÜBENER HEIDE: Pflege- und Entwicklungskonzept Teil Sachsen, Teil 1, Leitbild und Ziele. Berlin, Aulendorf, 2006
- /82/ NIEDERMEYER, M., STIENS, G.: Kontrast- und Strategieszenarien im Raumentwicklungskonzept für die Großregion „SaarLorLux+“, Einsatz von Szenarien im Rahmen grenzüberschreitender Raumentwicklung. In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 1/2, Bonn, S. 59-75, 2004
- /83/ NITSCH, J. et al.: Ökologisch optimierte Herausforderungen der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit FKZ 901 41 803, 2004, [http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Oekologisch\\_optimierter\\_Ausbau\\_Summary.pdf](http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Oekologisch_optimierter_Ausbau_Summary.pdf), Zugriff am 29.08.2009
- /84/ ÖKO-INSTITUT & PARTNER: Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, Endbericht F&E-Vorhaben i. A. des BMU. Freiburg, Darmstadt, Berlin, 2004
- /85/ OLDEMAN, L.R., HAKKELING, R.T.A., SOMEBROEK, W.G.: World map on the status of human-induced soil degradation: an explanatory note. ISRIC Wageningen, 41p, 1991
- /86/ PICCOLINI, I.: Development and validation of an adaptive algorithm for burn scar detection using ERS/ATSR-2 data, Ph.D. thesis, Univ. La Sapienza, Rome, 1998
- /87/ PISTORIUS, T.: Die Bedeutung von Kohlenstoffbilanzen im Diskurs über die Einbindung der Forstwirtschaft in die nationale Klimapolitik. Dissertation, Albert-Ludwig-Universität Freiburg, 252 Seiten, 2007
- /88/ POTTER, C.S. et al.: Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data. Global Biogeochemical Cycles, 7, S. 811-841, 1993
- /89/ RAUMORDNUNGSGESETZ (ROG): Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), zuletzt geändert durch Artikel 9 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585)
- /90/ REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN: Karte zur Verwaltungsgliederung Westsachsens. [http://www.rpv-vestsachsen.de/karten/sachsen\\_2008.gif](http://www.rpv-vestsachsen.de/karten/sachsen_2008.gif); Zugriff am 13.04.2009
- /91/ REGIONALER PLANUNGSVERBAND WESTSACHSEN (RPV): Regionalplan Westsachsen, 2008 Beschlossen durch Satzung des Regionalen Planungsverbandes vom 23.05.2008, genehmigt durch das Sächsische Staatsministerium des Innern am 30.06.2008 in Kraft getreten mit der Bekanntmachung nach § 7 Abs. 4 SächsLPIG am 25.07.2008. Teil 2 - Umweltbericht. Leipzig, 2008
- /92/ REINHARDT, G., SCHEURLIN, K. (Bearbeitung): Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien. Endbericht des F+E-Vorhaben FKZ 801 02 160. Heidelberg, Potsdam, 2004
- /93/ RETTENMAIER, N., REINHARDT, G., MÜNCH, J., GÄRTNER, S.: Datenprojekt Nachwachsende Rohstoffe. Endbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens FKZ 01 RN 0401 im Auftrag des BMBF, Heidelberg Karlsruhe, 2007



- /94/ RODE, M., KANNING, H.: Beiträge der räumlichen Planung zur Förderung eines natur- und raumverträglichen Ausbaus des energetischen Biomassepfades. In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 1/2, Bonn, S. 103-110, 2006
- /95/ ROY, D.P., BOSCHETTI, L., JUSTICE, C.O., JU, J.: The Collection 5 MODIS Burned Area Product - Global Evaluation by Comparison with the MODIS Active Fire Product. Remote Sensing of Environment, 112, S. 3690-3707, 2008
- /96/ RUNNING, S.W., HUNT Jr., E.R.: Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, BIOME-BGC, and an application for global-scale models. Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe, edited by J.R. Ehleringer and C.B. Field, Academic Press, San Diego, S. 141-157, 1993
- /97/ SACHVERSTÄNDIGENBEIRAT FÜR UMWELTFRAGEN (SRU): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten. Berlin, 2007
- /98/ SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (LFUG) (HRSG.): Bodenbewertungsinstrument Sachsen. Dresden, 2008
- /99/ SÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (SMUL): Aktionsplan Klima und Energie des Freistaates Sachsen, 2008, [http://www.smul.sachsen.de/smul/download/Aktionsplan\\_Klima\\_und\\_Energie\\_080603.pdf](http://www.smul.sachsen.de/smul/download/Aktionsplan_Klima_und_Energie_080603.pdf), Zugriff am 09.06.09
- /100/ SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM DES INNEREN (SMI) (HRSG.): Landesentwicklungsplan Sachsen. Dresden, 2003
- /101/ SCHELHAAS, M.-J. et al.: Outlook for the development of European forest resources. Geneva Timber and Forst Discussion Papers (ECE/TIM/DP/C), United Nations, Genf, 2003
- /102/ SCHMITZ, P.M., ZEDDIES, J., ARNOLD, K., VETTER, A.: Potenziale der Bioenergie. Arbeiten der DLG/Band 204, DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt, 2008
- /103/ SCHOLLES, F.: Zielsysteme und Entscheidung. Grenzen von Zielsystemen. In: Fürst, D. & Scholles, F.: Handbuch. Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. 3. vollst. überarbeitete Auflage, S. 313-316, 2008
- /104/ SCHÖNLEBER, N.: Entwicklung der Nahrungsmittelnachfrage und der Angebotspotenziale der Landwirtschaft in der Europäischen Union. Dissertation Universität Hohenheim, 2009
- /105/ SCHULZE, C., KÖPPEL, J.: Gebietskulissen für den Energiepflanzenanbau. Steuerungsmöglichkeiten der Planung. Naturschutz u. Landschaftsplanung 39 (9), S. 269-272. Stuttgart, 2007
- /106/ SERÉ, C., STEINFELD, H.: World livestock production systems. Current status, issues and trends. FAO Animal Production And Health Paper. Rom, Italien, 1995
- /107/ SINZ, M.: Region. In: Handwörterbuch der Raumordnung. 4. vollst. überarbeitete Auflage, ARL, Hannover, S. 805-808, 2005
- /108/ SIMON, M. et al.: Burnt area detection at global scale using ATSR-2: The GLOBSCAR products and their qualification. Journal of Geophysical Research, Vol. 109, D14S02, doi:10.1029/2003JD003622, 2004
- /109/ SMEETS, E.M.W., FAAIJ, A.P.C.: Bioenergy potentials from forestry in 2050. An assessment of the drivers that determine the potentials. Climatic Change 81, S. 353-390, 2007
- /110/ SMEETS et al.: A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050. Progress in Energy and Combustion Science 33, 2007
- /111/ STATISTISCHES BUNDESAMT: Daten zur Bevölkerungsentwicklung in Deutschland. <http://www.destatis.de>, Zugriff am 13.05.2009

- /112/ STATISTISCHES JAHRBUCH ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN: verschiedene Jahrgänge (ab 1996)
- /113/ STULL, R.B.: An introduction to boundary layer meteorology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 666 pages, ISBN 90-277-2768-6, 1988
- /114/ TANSEY, K. et al.: A Global Inventory of Burned Areas at 1 Km Resolution for the Year 2000 Derived from Spot Vegetation Data, Climatic Change, 67, S. 345-377, DOI:10.1007/s10584-004-2800-3, 2004
- /115/ TANSEY, K. et al.: A new, global, multi-annual (2000–2007) burnt area product at 1 km resolution. Geophysical Research Letters, Vol. 35, L01401, doi:10.1029/2007GL031567, 2008
- /116/ THRÄN, D. et al.: Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext. Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2006
- /117/ TURNER, J.A. et al.: World Wood Industry Outlook: 2005-2030. Forest Research Bulletin 230. Scion, Rotorua, 2006
- /118/ UCKERT, G. et al.: Grünes Gold im Osten? Flächenansprüche von Biomassepfaden durch klimabedingte Ausbauziele und Handlungsoptionen für die Raumordnung. Endbericht zum Forschungsprojekt des ZALF für Agrarlandschaftsforschung in Zusammenarbeit mit Büro hochC LA im Auftrag des BMVBS und des BBR, 2007, [http://z2.zalf.de/oa/BBR\\_Endbericht\\_Biomasse.pdf](http://z2.zalf.de/oa/BBR_Endbericht_Biomasse.pdf), Zugriff am 06.05.2009
- /119/ UMWELTBUNDESAMT (UBA): Nachhaltige Flächennutzung und nachwachsende Rohstoffe. Optionen einer nachhaltigen Flächennutzung und Ressourcenschutzstrategien unter besonderer Berücksichtigung der nachhaltigen Versorgung mit nachwachsenden Rohstoffen. Texte 34, 2009
- /120/ UMWELTVERTRÄGLICHKEITSGESETZ (UVPG): Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juni 2005 (BGBl. I S. 1757, 2797), zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986) geändert
- /121/ UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (UNECE): Forest Resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand. Geneva Timber and Forest Study Papers, No. 17, (ECE/TIM/SP/17) United Nations, Genf, 2000
- /122/ UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (UNECE): Joint Wood Energy Enquiry 2008. Geneva, 2009, <http://www.unece.org/timber/mis/energy/welcome.htm>, Zugriff am 22.07.2009
- /123/ VERWALTUNGSATLAS SACHSEN 2008: Freistaat Sachsen Planungsregionen. [www.verwaltungsatlas.sachsen.de/bilder/gif/planungsregion.gif](http://www.verwaltungsatlas.sachsen.de/bilder/gif/planungsregion.gif), Zugriff am 23.07.2009
- /124/ VETAYASUPORN, S.: The Feasibility of using coconut residue as a substrate for oyster mushroom cultivation. Biotechnology 6 (4), S. 578-582, 2007
- /125/ VETTER, A.: Energieproduktion und Ressourcenschutz. Jena, 2003, <http://www.til.de/ainfo/pdf/epr0403.pdf>, Zugriff am 12.05.2009
- /126/ VON HAAREN, C. (HRSG.): Landschaftsplanung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (Hohenheim), 2004
- /127/ WASSERHAUSHALTSGESETZ (WHG): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts, in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. August 2002 (BGBl. I S. 3245), zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986) geändert
- /128/ WHITE, M.A., THORNTON, P.E., RUNNING, S.W., NEMANI, R.R.: Parameterization and sensitivity analysis of the BIOME–BGC Terrestrial Ecosystem Model: Net Primary Production Controls. Earth Interactions, 4 (3), S. 1-85, 2000

- 
- /129/ WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (WBGU) (HRSG.): Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden. Jahrgutachten 1994. Bonn: Economica, 1994, [www.wbgu.de](http://www.wbgu.de), Zugriff am 09.07.2009
- /130/ WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (WBGU): Welt im Wandel - Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Berlin, 2009
- /131/ WISSKIRCHEN, K.: Modellierung der regionalen CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch Vegetation. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelm Universität Bonn, 119 Seiten, 2005
- /132/ YAMAMOTO, H., FUJINO, J., YAMAJI, K.: Evaluation of bioenergy potential with a multi-regional global-land-use-and-energy model. Biomass and Bioenergy 21, S. 185-203, 2001
- /133/ ZEDDIES, J.: Rohstoffverfügbarkeit für die Produktion von Biokraftstoffen in Deutschland und in der EU- 25. Forschungsbericht 6/2006, Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, 2006